



## 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): 3**

### **Dergi Sahibi / Owner**

Prof. Dr. Turgay UZUN

Rektör

### **Sorumlu Müdür / Director**

Prof. Dr. Eyyüp TEL

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

### **Baş Editör / Editor in Chief**

Prof. 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. Feridun DEMİR	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	feridundemir@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, SIVAS	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. Esra TELLİ	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	esratelli@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. Jülide ÖNER	Uşak Üniversitesi, UŞAK	julide.oner@usak.edu.tr

Doç. Dr. Behlül SEVİM	Aksaray Üniversitesi, AKSARAY	behluls68@gmail.com
Doç. Dr. Dilek TEKDAL	Mersin Üniversitesi, MERSİN	dilektekdal@mersin.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	hediyekalin@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 Şimal KÜRÜMOĞLU	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, TEKİRDAĞ	skurumoglu@nku.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. Azime ÖZKAN KARABACAK	Bursa Uludağ Üniversitesi, BURSA	azimeozkan@uludag.edu.tr
Doç. Dr. Deniz ŞAHİN	Gazi Üniversitesi, ANKARA	dennoka1k@hotmail.com
Dr. Öğretim Üyesi Fatih ÜNAL BOZDAĞ	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	fatihbozdag@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Tefide KIZILDENİZ	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, NİĞDE	tkizildeniz@ohu.edu.tr

### İstatistik Editörleri /Statistics Editors

Doç. Dr. Şenol ÇELİK	Bingöl Üniversitesi, BİNGÖL	senolcelik@bingol.edu.tr
Doç. 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. Muhammed ORDU	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	muhammedordu@osmaniye.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 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. Özlem KARADAĞOĞLU	Kafkas Üniversitesi, KARS	drozlemkaya@hotmail.com
Doç. Dr. Nehir TOKGÖZ	Sakarya Üniversitesi, SAKARYA	nehirtokgoz@sakarya.edu.tr
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 TÜRKTEN	Ondokuz Mayıs Üniversitesi, SAMSUN	hatice.turkten@omu.edu.tr
Ar. Gör. Esra Zeynep ŞENSOY	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	ezeypensensoy@osmaniye.edu.tr
Öğretim Görevlisi Rabia ACEMİOĞLU	Iğdır Üniversitesi, IĞDIR	rabia.acemioglu@igdir.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 VARİŞ	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**

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

Osmaniye Korkut Ata University, Osmaniye-TÜRKİYE

**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 3 list of referees is given below.  
(2024 yılı, Cilt 7, Sayı 3'deki hakemlerin listesi aşağıda verilmiştir).

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

Hakemler	Kurum
Prof. Dr. Erkan Abdulgaffar AĞAOĞLU	Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, YALOVA
Prof. Dr. Ahmet Ocak AKDEMİR	Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü Analiz Ve Fonksiyonlar Teorisi Anabilim Dalı, AĞRI
Prof. Dr. Hatice Dilek ARSOY	Yakın Doğu Üniversitesi Veteriner Fakültesi Zootekni Ve Hayvan Besleme Bölümü Zootekni Anabilim Dalı, KKTC
Prof. Dr. Hatice ÇITAKOĞLU	Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Anabilim Dalı, KAYSERİ
Prof. Dr. Ömer DEPERLİOĞLU	Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, AFYONKARAHİSAR
Prof. Dr. Banu DİRİ	Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, İSTANBUL
Prof. Dr. Evrim Dereli FİDAN	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Zootekni Ve Hayvan Besleme Bölümü Zootekni Anabilim Dalı, AYDIN
Prof. Dr. Ülker GÜNER	Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Anabilim Dalı, DENİZLİ
Prof. Dr. Özge HANAY	Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, ELAZIĞ
Prof. Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ	Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Elektrik Makinaları Anabilim Dalı, KONYA
Prof. Dr. Semra KURAMA	Eskişehir Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği Bölümü Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği Anabilim Dalı, ESKİŞEHİR
Prof. Dr. Tülay ÖZCAN	Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Gıda Teknolojisi Anabilim Dalı, BURSA
Prof. Dr. Feriştah ÖZÇELİK	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Üretim Ve Servis

	Sistemleri Anabilim Dalı, ESKİŞEHİR
Prof. Dr. Nazlı Baldan PAKDİL	Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, BOLU
Prof. Dr. Özlem TURGAY	Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Gıda Bilimleri Anabilim Dalı, KAHRAMANMARAŞ
Prof. Dr. Rıdvan YAMANOĞLU	Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Üretim Metalurjisi Anabilim Dalı, KOCAELİ
Doç. Dr. Ecem AKAN	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Süt Teknolojisi Bölümü Süt Teknolojisi Anabilim Dalı, AYDIN
Doç. Dr. Ayşenur BUDAK	Gebze Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, KOCAELİ
Doç. Dr. Özgü CAN	Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Bilgisayar Yazılımı Anabilim Dalı, İZMİR
Doç. Dr. Sinem Tunçer ÇAĞLAYAN	Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Tıbbi Hizmetler Ve Teknikler Bölümü Tıbbi Laboratuvar Teknikleri Pr., BİLECİK
Doç. Dr. Şenol ÇELİK	Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü Biyometri Ve Genetik Anabilim Dalı, BİNGÖL
Doç. Dr. Derya DELİKTAŞ	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı, KÜTAHYA
Doç. Dr. Ahmet Şakir DOKUZ	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Bilgisayar Yazılımı Anabilim Dalı, NİĞDE
Doç. Dr. Serdar GENÇ	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü Hayvansal Biyoteknoloji Anabilim Dalı, KIRŞEHİR
Doç. Dr. Özgür GÖLGE	Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Turizm Fakültesi Gastronomi Ve Mutfak Sanatları Bölümü Gastronomi Ve Mutfak Sanatları Anabilim Dalı, ALANYA
Doç. Dr. Yapıncak GÖNCÜ	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği Bölümü Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, ESKİŞEHİR
Doç. Dr. Özlem Ak GÜMÜŞ	Adıyaman Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü Uygulamalı Matematik Anabilim Dalı, ADIYAMAN
Doç. Dr. Aynur Karadağ GÜREL	Uşak Üniversitesi Tıp Fakültesi Temel Tıp Bilimleri Bölümü Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı, UŞAK
Doç. Dr. Mehmet Ali ILGIN	Manisa Celâl Bayar Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, MANİSA
Doç. Dr. Ebru YILMAZ İNCE	Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Bilgisayar Teknolojileri Bölümü Bilgisayar Programcılığı Pr., ISPARTA
Doç. Dr. Selin KALKAN	Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Gıda Bilimi Anabilim Dalı, GİRESUN
Doç. Dr. Tünay KARAN	Yozgat Bozok Üniversitesi Veteriner Fakültesi Zootečni Ve Hayvan Besleme Bölümü Veterinerlik Zootečni Anabilim Dalı, YOZGAT
Doç. Dr. Nazlı Akçamlı KAYA	Bursa Teknik Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri

	Fakültesi Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Üretim Metalurjisi Anabilim Dalı, BURSA
Doç. Dr. Pembe Sabancıgil ÖZDER	Doğu Akdeniz Üniversitesi Fen Ve Edebiyat Fakültesi İstatistik Ve Bilgisayar Bilimleri Bölümü İstatistik Ve Bilgisayar Bilimleri Pr. KKTC
Doç. Dr. Mehmet PINARBAŞI	Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, KIRIKKALE
Doç. Dr. Çağrı SEL	Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, KARABÜK
Doç. Dr. Onur SEVLİ	Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Fakültesi Bilgisayar Ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Bölümü Bilgisayar Ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Anabilim Dalı, BURDUR
Doç. Dr. Ömür TOSUN	Akdeniz Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü Bilişim Teknolojileri Anabilim Dalı, ANTALYA
Doç. Dr. Nagehan Ersoy TUNALI	İstanbul Medeniyet Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Moleküler Biyoloji Ve Genetik Bölümü Moleküler Biyoloji Anabilim Dalı, İSTANBUL
Doç. Dr. Süleyman UZUN	Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, SAKARYA
Doç. Dr. Ebru Senemtaşı ÜNAL	Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Mülkiyet Koruma Ve Güvenlik Bölümü İş Sağlığı Ve Güvenliği Pr., AĞRI
Doç. Dr. Mehmet YARDIMCI	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Veteriner Fakültesi Zootečni Ve Hayvan Besleme Bölümü Veterinerlik Zootečni Anabilim Dalı, TEKİRDAĞ
Doç. Dr. Şule YÜCELBAŞ	Tarsus Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Bilgisayar Donanımı Anabilim Dalı, TARSUS-İÇEL
Doç. Dr. Zarife ZARARSIZ	Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü Analiz Ve Fonksiyonlar Teorisi Anabilim Dalı, NEVŞEHİR
Dr. Öğretim Üyesi Evren ÇAĞLARER	Kırklareli Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, KIRKLARELİ
Dr. Öğretim Üyesi Elif Işık DEMİRARSLAN	Artvin Çoruh Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi İş Sağlığı Ve Güvenliği Bölümü İş Sağlığı Anabilim Dalı, ARTVİN
Dr. Öğretim Üyesi Gülay İlon Telsiz KAYAOĞLU	Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü Analiz Ve Fonksiyonlar Teorisi Anabilim Dalı, İSTANBUL
Dr. Öğretim Üyesi Özgün ONBAŞI	Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme Ve Diyetetik Bölümü Toplu Beslenme Sistemleri Anabilim Dalı, AFYONKARAHİSAR
Dr. Öğretim Üyesi Feyza Altunbey ÖZBAY	Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yazılım Mühendisliği Bölümü Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı, ELAZIĞ
Dr. Öğretim Üyesi Berna RAMANLI	Pamukkale Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Antrenörlük Eğitimi Bölümü Antrenörlük Eğitimi Anabilim Dalı, DENİZLİ
Dr. Öğretim Üyesi Nisan Nur Çakır TEMEL	İstanbul Aydın Üniversitesi Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Ulaştırma Hizmetleri Bölümü Sivil Hava Ulaştırma İşletmeciliği Pr. İSTANBUL



Dr. Öğretim Üyesi Banu Numan UYAL	Bahçeşehir Kıbrıs Üniversitesi İktisadi, İdari Ve Sosyal Bilimler Fakültesi Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, KKTC
Dr. Öğretim Üyesi Gülçin Dinç YALÇIN	Eskişehir Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı, ESKİŞEHİR
Dr. Öğretim Üyesi Şule Azime YENİÇERİ	Siirt Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Gıda İşleme Bölümü Gıda Teknolojisi Pr. SİİRT
Dr. Ar. Gör. Uğur BAYRAKÇI	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Matematik Bölümü Uygulamalı Matematik Anabilim Dalı, OSMANİYE



## 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): 3

### CONTENTS (İçindekiler)

RESEARCH ARTICLES ( ARAŞTIRMA MAKALELERİ)	Sayfalar
<b>Halit ÇETİNER</b> <b>Fake News Detection and Classification with Recurrent Neural Network Based Deep Learning Approaches</b> <i>Tekrarlayan Sinir Ağı Tabanlı Derin Öğrenme Yaklaşımları ile Sahte Haber Tespiti ve Sınıflandırması</i>	973-993
<b>İrem DÜZDAR, Selinay KOLÇAK</b> <b>Karanlık Üretim Faktörlerinin Tesis Planlama Açısından Değerlendirilmesi</b> <i>Lights-Out Manufacturing Factors Evaluationin Terms of Facility Planning</i>	994-1009
<b>Hale BAKIR</b> <b>Fırçasız DC Motor Sürücülü Solar FV-Batarya tabanlı Hibrit Su Pompalama Sisteminin Modellenmesi ve Optimizasyonu</b> <i>Modeling and Optimization of Solar PV-Battery based Hybrid Water Pumping System with BLDC Motor Drive</i>	1010-1020
<b>Gülsüm KOÇAK, Aysel Çağlan GÜNAL, Aylin Sepici DINÇEL</b> <b>Investigation of Acute Toxicity of Cyfluthrin on Zebrafish (<i>Danio rerio</i>)</b> <i>Siflutrinin Zebra Balıkları (<i>Danio rerio</i>)'nda Akut Toksisitesinin Araştırılması</i>	1021-1029
<b>Halit ÇETİNER</b> <b>Skin Lesions Identification and Analysis with Deep Learning Model Using Transfer Learning</b> <i>Transfer Öğrenme Kullanan Derin Öğrenme Modeli ile Cilt Lezyonlarının Tanımlanması ve Analizi</i>	1030-1045
<b>Hatice Rumeysa DELİCE, Fikret KOÇBULUT</b> <b>Bir Çimento Fabrikasında Aydınlatma, Termal Konfor ve Titreşim Maruziyetinin Değerlendirilmesi</b> <i>Evaluation of Lighting, Thermal Comfort and Vibration Exposure in a Cement Factory</i>	1046-1060
<b>Semih DALKILIÇ, Lütfiye KADIOĞLU DALKILIÇ, Lütfü UYGUR, Ömer KAYA</b> <b>Determination of Cell Viability, Apoptotic and Necrotic Activities of <i>Boswellia serrata</i> Extract on Liver Cancer (HepG2) and Breast Cancer (MCF7) Cell Lines</b> <i>Boswellia serrata Ekstraktının Karaciğer Kanseri (HepG2) ve Meme Kanseri (MCF7) Hücre Hatlarında Hücre Canlılığı, Apoptotik ve Nekrotik Aktivitelerinin Belirlenmesi</i>	1061-1073
<b>Vedat ÇEKİCİ</b> <b>Müşteri Şikayet Değerlendirme Süreçlerinde Kullanılacak Optimum Eleman Sayısının Tespiti İçin Simülasyon Optimizasyonu Yaklaşımı</b> <i>Simulation Optimization Approach to Determine the Optimum Number of Staff to Be Used in</i>	1074-1095

<i>Customer Complaint Handling Processes</i>	
<b>Tevfik Denizhan MÜFTÜOĞLU</b> <b>Aydın, Türkiye'deki Müstakil Evler için Beton ve Kiremit Çatıların Yağmur Suyu Toplama Potansiyelinin Değerlendirilmesi</b> <i>Evaluating Rainwater Harvesting Potential of Concrete and Tile Roofings for Detached Houses in Aydın, Turkey</i>	1096-1115
<b>Ayşe ALKAN</b> <b>Öğrencilerin Sınavlardaki Performansının Makine Öğrenmesi Teknikleriyle Tahminlenmesi</b> <i>Predicting Students' Performance in Exams with Machine Learning Techniques</i>	1116-1128
<b>Muhammet Hanifi SELVİ, Yavuzkan PAKSOY</b> <b>Impact of the COVID-19 Pandemic on Racehorse Breeders</b> <i>COVID-19 Pandemisinin Yarış Atı Yetiştiricileri Üzerine Etkisi</i>	1129-1135
<b>Aslı ALBAYRAK KARAOĞLU</b> <b>Effect of Microencapsulated Goat Clarified Butter on Free Fatty Acids and Physicochemical Properties in Cow Butter Production</b> <i>Tereyağ Üretiminde Mikroenkapsüle Keçi Tereyağı Kullanılmasının Serbest Yağ Asitleri ve Fizikokimyasal Özellikler Üzerindeki Etkisi</i>	1136-1152
<b>Tuğçe ORKUN ERKİLİÇ, Bülent BAYRAKTAR, Seda ÇELİKEL TAŞCI, Yıldız ÇAKIR</b> <b>Üniversite Öğrencilerinde Hedonik Açlık Durumları ile Bazı Değişkenler Arasındaki İlişkinin İncelenmesi</b> <i>Examining the Relationship Between Hedonic Hunger States and Some Physiological Parameters in University Students</i>	1153-1161
<b>Seda AKYÜREK SAĞIR, Suna AKKOL</b> <b>Kıl Keçilerinin Vücut Ölçülerini Kullanarak Canlı Ağırlıklarını Tahmin Etmede Kısmi En Küçük Kareler ve Temel Bileşenler Regresyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması</b> <i>Comparison of Partial Least Squares and Principal Component Regression Methods for Estimating Body Weight of Hair Goats Using Body Measurements</i>	1162-1176
<b>Sümeyye ADALI, Melike YALILI KILIÇ</b> <b>Bir Fabrika Binasında Yağmur Suyu Hasadının Teknik ve Ekonomik Analizi</b> <i>Technical and Economic Analysis of Rainwater Harvesting in a Factory Building</i>	1177-1185
<b>Ayşe PEKER DOBIE, Semra AHMETOLAN, Ayşe Hümeysra BİLGE, Ali DEMİRCİ, B. Erkan KAYA</b> <b>2009 A (H1N1) ve COVID-19 Pandemilerinde Nüfus Yoğunluğunun ve Temas Oranının Rolü</b> <i>The Role of Population Density and Contact Rates for 2009 A (H1N1) and Covid-19 Pandemics</i>	1186-1201
<b>Celile Aylın OLUK</b> <b>Depolama Süresinin Farklı Yağ Oranlarındaki Set Tipi Yoğurdun Fizikokimyasal, Duyusal ve Tekstürel Özelliklerine Etkisi</b> <i>Effect of Storage Time on Physicochemical, Sensory and Textural Properties of Set Type Yoghurt with Different Fat Contents</i>	1202-1214
<b>Aslı ALKAN</b> <b>Analysis of Fractional Advection Equation with Improved Homotopy Analysis Method</b> <i>Geliştirilmiş Homotopi Analiz Metodu ile Kesirli Mertebeden Adveksiyon Denkleminin Analizi</i>	1215-1229
<b>Fatma Aydın ÜNAL</b> <b>Alkali Metal Katkılı ZnO Malzemesinin Üretimi ve Karakterizasyonu</b> <i>Production and Characterization of Alkali Metal Doped ZnO Materials</i>	1230-1241
<b>Hacer GÜNER GÖREN, Duygu TOSUN</b> <b>Hazır Giyim Sektöründe Simülasyon ile Üretim Hattı Süreç İyileştirme Çalışması</b> <i>Process Improvement Study of Production Line using Simulation in Garment Industry</i>	1242-1260
<b>Ayşen AKAY</b> <b>The Effect of Manganese and Sulfur Applications on the Rocket (<i>Eruca vesicaria subsp. Sativa</i>) Plant Grown in Lime Soils</b> <i>Kireçli Topraklarda Yetiştirilen Roka (<i>Eruca vesicaria subsp. Sativa</i>) Bitkisine Mangan ve Kükürt</i>	1261-1271

<i>Uygulamalarının Etkisi</i>	
<b>Semra ÇİÇEK</b> <b>Cytotoxic Effects of Eugenol and <math>\alpha</math>-Terpineol on the Rainbow Trout Gonadal Cells</b> <i>Öjenol ve <math>\alpha</math>-Terpineol'ün Gökkuşluğu Alabalığı Gonadal Hücreleri Üzerinde Sitotoksik Etkileri</i>	1272-1280
<b>Benian Pınar AKTEPE, Merve OKUR, Beykan ESGİCİOĞLU, Yeşim AYSAN</b> <b>Farklı Bacillus ve Trichoderma türlerini içeren ticari bir preparat ile domateste Bakteriyel Leke ve Bakteriyel Solgunluk hastalıklarının biyolojik mücadelesi</b> <i>Biological control of Bacterial Spot (Xanthomonas euvesicatoria) and Bacterial Wilt (Clavibacter michiganensis subsp. michiganensis) diseases on tomato with different Bacillus and Trichoderma species</i>	1281-1292
<b>Şenay YEŞİLBAŞ AKMAN, Seval ARAS</b> <b>Tehlikeli Maddelerden Akaryakıtların Kara Yoluyla Taşınması Sürecinde Meydana Gelen Çevresel Riskler: Kayseri Örneği</b> <i>Environmental Risks Occurring in the Process of Transporting Fuel from Hazardous Substances by Land: The Case of Kayseri</i>	1293-1318
<b>Aslı KARA, Burcin OZCELIK</b> <b>Green Synthesis of Chitosan-Coated Silver Nanoparticles (Ch-AgNPs): Harnessing Nature for Sustainable and Safe Nanomaterial Production</b> <i>Kitosan Kaplı Gümüş Nanopartiküllerin (Ch-AgNP'ler) Yeşil Sentezi: Sürdürülebilir ve Güvenli Nanomateryal Üretimi için Doğadan Yararlanım</i>	1319-1341
<b>Lütfullah GÜNDÜZ, Şevket Onur KALKAN, Uğur UZGAN, Ömer SERT</b> <b>Fiziksel Geri Dönüşüm İle Elde Edilmiş Tekstil Tipi Cam Elyaf Boyutu ve Miktarının Çimento Esaslı Harçların Mekanik Dayanımına Etkisi</b> <i>Effect of Physically Recycled Textile Type Glass Fiber Size and Amount on the Mechanical Strength of Cement-Based Mortars</i>	1342-1357
<b>Veli Kemal AYDIN, Mustafa Atakan AKAR, Oğuz BAŞ, Umut KUMLU</b> <b>The Impact of Using Dimpled Surfaces on Ahmed Body on The Flow Characteristics</b> <i>Ahmed Cisminde Çukurlu Yüzeyler Kullanmanın Akış Karakteristiklerine Etkisi</i>	1358-1373
<b>REVIEWS</b>	
<b>Özlem SÖKMEN, Nevin ÇANKAYA</b> <b>2-Akrilamido-2-Metil-1-Propansülfonik Asit (AMPS) İçerikli Hidrojellerin Metal Tutma Davranışlarının İncelenmesi</b> <i>Investigation of Metal Attachment Behavior of 2-Acrylamido-2-Methyl-1-Propanesulfonic Acid (AMPS) Containing Hydrogels</i>	1374-1398
<b>Mubeen ul HASAN, Ayhan CEYHAN</b> <b>Hayvanlarda Önemli Ekonomik Özellikler için Genom Çapında İlişkilendirme Çalışmaları: Derleme</b> <i>Genome-Wide Association Studies for Important Economic Traits in Animals: A Review</i>	1399-1412
<b>Elif ONAN, Hatice ÇOLGEÇEN, Havva KARAHAN, Cengiz TEMİZ</b> <b>Bitkilerdeki Antosiyaninlerin Etkinliği, Stabilitesi ve İn Vitro Üretimi</b> <i>The Activity, Stability and In Vitro Production of Anthocyanins in Plants</i>	1413-1437

## Fake News Detection and Classification with Recurrent Neural Network Based Deep Learning Approaches

Halit ÇETİNER<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Isparta University of Applied Sciences, Vocational School of Technical School, Computer Technology, Isparta

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-7794-2555>

\*Corresponding author: halitcetiner@isparta.edu.tr

### Research Article

#### Article History:

Received: 05.11.2022

Accepted: 06.04.2023

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

Convolutional neural network

Natural language processing

Fake news classification

BiLSTM

GRU

### ABSTRACT

Events happening in the world are transmitted to the end user through the news channel. The information transmitted from the news is generally considered to be accurate. However, there may be errors or lies in the information that circulates on the news channels. At the same time, this news has an impact on serious environments, such as the economy. In social networks where data sharing is increasing, news data is piling up uncontrollably. In these data piles, there is real information as well as different information that is not real commercial, political, or sales-orientated. False information and data expand faster as a result of sharing false information by users. This news directly affects users, causing erroneous transactions, misinformation, or financial loss. For the stated reasons, automatic fake news classification systems are proposed in this article by combining natural language processing with Recurrent Neural Network (RNN) based deep learning methods. The proposed systems were tested on a dataset containing 23.481 fake news and 21.417 real news using general performance metrics. As a result of the test processes, the proposed BiLSTM method provided 99.72% accuracy, while the proposed GRU method accessed 97.50% accuracy.

## Tekrarlayan Sinir Ağı Tabanlı Derin Öğrenme Yaklaşımları ile Sahte Haber Tespiti ve Sınıflandırması

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 05.11.2022

Kabul tarihi: 06.04.2023

Online Yayınlama: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Convolutional neural network

Natural language processing

Sahte haber sınıflandırma

BiLSTM

GRU

### ÖZ

Dünyada olup biten olaylar son kullanıcıya haber mecrası aracılığıyla aktarılmaktadır. Haberlerden aktarılan bilgilerin genellikle doğru olduğu düşünülmektedir. Ancak haber kanallarında dolaşan bilgilerde hata ya da yalan olabilmektedir. Aynı zamanda bu haberlerin ekonomi gibi ciddi ortamlarda etkisi de bulunmaktadır. Veri paylaşımının artış gösterdiği sosyal ağlarda haber verileri kontrolsüz bir şekilde yığılmaktadır. Bu veri yığınları içerisinde gerçek bilgiler olduğu gibi gerçek olmayan ticari, siyasi ya da satış hedefli farklı bilgilerde bulunmaktadır. Gerçek olmayan bilgiler, kullanıcılar tarafından paylaşılması sonucunda sahte bilgi ve veriler daha hızlı bir şekilde genişlemektedir. Bu tür haberler kullanıcıları doğrudan etkileyerek hatalı işlem yapmaya, yanlış bilgi sahibi olmaya veya maddi bir kayba neden olmaktadır. Belirtilen sebeplerden dolayı bu makalede doğal dil işleme Tekrarlayan Sinir Ağı (TSA) tabanlı derin öğrenme yöntemleri ile birleştirilerek otomatik sahte haber sınıflandırma sistemleri önerilmiştir. Önerilen sistemler genel performans metrikleri kullanılarak 23,481 adet sahte haber, 21,417 adet gerçek haber içeren bir veri setinde test edilmiştir. Yapılan test işlemleri sonucunda önerilen BiLSTM yöntemi %99,72 doğruluk oranı sağlarken, önerilen GRU

## 1. Introduction

People use online social networking sites to maintain past or present friendships, meet new people, and build professional relationships. Online social networking sites such as WhatsApp, Twitter, Facebook and Instagram allow users to easily share information over the internet. For the main reasons, such as sharing information on these social networks is easy, fast and cheap, they are becoming more and more popular every day. At the same time, these social networks are the most used basic communication channels (Sahoo and Gupta, 2021). The popularity of online social networks in recent years has led to a rapid proliferation of messages with different social content, such as political news and product sales promotions.

Users who benefit from sharing and news sites, especially social networking sites, are affected by fake news. Some users increase the reputation of fake news by sharing fake news. However, this fake news also misleads other users as it is questionable information. Deliberate spreading of fake news to make people believe. It is difficult to detect false or fake news from deliberately disseminated fake news content. Given the speed with which fake news spreads through sharing, there is a need for approaches to automatically detect fake news.

Due to the increase in the use of the Internet, fake political talk, satire, fake rumours, and misleading content are growing to target online media platforms. It is stated that the political attitudes of citizens watching fake news have changed (Balmas, 2014). Furthermore, it is stated that trust in politicians has been shaken by people exposed to real and fake news. It is reported that the effect of perceiving fake news as real in the formation of this situation is great. It is stated that accounts were created to spread fake news on social networking sites in the political elections of different countries (Sahoo and Gupta, 2021).

Information is also spread on social networking platforms to create mistrust by confusing users. Detecting fake news on social networks is a tedious and laborious task. In such an environment, fake news can spread very quickly. This situation can affect millions of users in the virtual world and change the balance in the real world. Sometimes fake news can contain real evidence, although with false meanings (Feng et al., 2012). So much so, in fact, that since 2016, the creation and dissemination of fake news, with the support of academics and researchers, has been aimed at influencing real life (Horne and Adali, 2017). It is understood that this desired goal has been achieved with the intensive use of the FaceCheck.org and PolitiFact.com websites by users to determine whether the news is fake or false (Sahoo and Gupta, 2021). Fake news detection websites, such as FaceCheck.org and PolitiFact.com, play an important role in the detection of false and fake news on the Internet. However, these systems operate manually. In other words, the news that the system wants to detect if it is a lie is manually searched and checked. For this to work properly, continuously, and quickly, a

sufficient number of experts are needed to detect false and fake news. In general, many profiles in social networking systems spread fake news via social networking platforms by preparing different posts (Sahoo and Gupta, 2019). In this direction, hybrid approaches that use machine learning techniques to detect malicious profiles on the Twitter social networking platform appear to be suggested (Sahoo and Gupta, 2019).

To detect whether fake news is real news or not, it is necessary to obtain the correct features. The fact that a site may have thousands of readers is no guarantee that the site will not have false or fake news stories. In addition, there are many types of fake news such as false statements, false advertisements, satirical news, and conspiracy theories. This type of news can affect people's lives in all ways. At the same time, it has the feature of directly affecting the opinions, interests, and decisions of the public. Among all these effects and difficulties, the detection of fake news on social networking platforms becomes difficult. In general, the detection of malicious content in the form of fake news, which is formed as a result of spreading misleading information by users who use more than one social network to gain a certain financial gain, is becoming increasingly important day by day. Rumors that occur without knowing the effect of fake news can create confusion (Barthel et al., 2016). Due to misleading information, division and racism, activities are seen to increase among people due to increasing polarization (Bakshy et al., 2015). Fake news about an honest, respectable, nationalistic, and successful businessman or politician can suddenly be a blow to that politician's credibility (Sunstein, 2009).

The main contributions of the study on fake news detection, which was developed motivated by these reasons, to the literature are presented below.

- Two different deep learning models, based on Recurrent Neural Networks (RNN), are proposed to make it possible to perform automated fake news detection
- Accuracy rates of 99,72% and 97,50% were achieved using the pretrained Keras embedding layer with the proposed Bidirectional Long Short-Term Memory (BiLSTM) and Gated recurrent units (GRU) models, respectively.
- Although the BiLSTM method holds information in memory for a long time in forward and backward hidden situations, it has been found that its success depends on the dataset.
- The GRU method gave successful results in terms of F1 score, precision, recall and accuracy, similar to the BiLSTM method.

The article consists of 3 sections, not including the introduction. The second section provides information on a recent dataset of real and fake news on which experimental studies have been conducted. In the third section, deep learning models are presented that allow for the automatic classification of a dataset consisting of fake news and real news. In the final section, the results of the study are evaluated and concluded.

## 2. Literature Review

This section examines the automatic fake news detection systems that have been proposed due to the rapid spread of false information and fake news on social networks. Different research methods, including deep neural networks and text-based representations (Karimi et al., 2018), semi-supervised (Guacho et al., 2018), and supervised or unsupervised (Hosseinimotlagh and Papalexakis, 2018) detection, are found to detect and classify false and fake news with the stated effects.

Yang et al. determined that there are those who aim to create commercial and political perceptions by publishing fake news from official or personal social media accounts (Yang et al., 2018). Yang et al. proposed a model that classifies real-world fake news with a Convolutional Neural Network (CNN) based model (Yang et al., 2018). They proposed a model that enables the classification of rapidly spreading fake news with deep learning based on Long Short Term Memory (LSTM) and RNN (Wu and Liu, 2018). Sabeeh et al. performed fake news classification with a CNN-based model (Sabeeh et al., 2020). User comments are seen as the most important signal representing user intentions. In general, fake comments have been determined to be written by illegitimate users (Sabeeh et al., 2020). Sabeeh et al. do opinion mining on user comments to perform reliability analysis of Twitter metadata. Their proposed method uses the information source to extract attributes about a particular event. They also used the SentiWordNet method to assess cognitive clues. They proposed an interpretation system based on objective factors such as sensitivity and reliability score using Bidirectional Gated Recurrent Neural Network. Karimi et al. proposed a system to detect fake news of various degrees to prevent fake news spread through the media from misleading readers (Karimi et al., 2018). They conducted a comprehensive study for the detection of fake news in multi-source data. Hosseinimotlagh and Papalexakis extract the full potential of news content, capturing hidden relationships and contextual relationships between terms (Hosseinimotlagh and Papalexakis, 2018). They create a tensor model from the captured information. They can group field news on real data with an average of 80% accuracy.

Wang et al. report that fake news content is a nightmare for the public and states, as reading news on social media becomes more common today (Wang et al., 2018). They declare that one of the most important issues in social media is how to determine whether a new event is fake or not. For the stated reason, they proposed a neural network from which event-independent features can be derived. This approach consists of three main components. The first component extracts textual and visual features from the texts. The second component learns the discrimination for the detection of fake news with the information from the feature extractor. The third component removes event-specific features and retains the remaining features. Experimental studies were conducted on data collected from the Weibo and Twitter social sharing systems. Reis et al. conducted studies on the detection of news in the field using classical machine learning-based methods. They achieved an 81% accuracy rate with the XGBoost machine learning method (Reis et al., 2019). On the other hand, Özbay and Alatas detected fake news with a two-stage method (Ozbay and Alatas, 2020). The performance of the implemented



system has been tested on three real datasets. Their proposed method consists of two stages. In the first phase, unstructured raw datasets undergo some preprocessing. In the second stage, an experimental study was carried out with 23 artificial intelligence algorithms. Kaur et al. proposed an ensemble algorithm fed by twelve classifiers to classify the fake information obtained from three different feature extraction methods (Kaur et al., 2020). Their proposed algorithm outperformed passive aggressive, logistic regression, and linear svc models. When their proposed algorithm is examined, it is seen that they create a dataset by feeding from new trends, Kaggle and Reuters sources. Preprocesses were applied to the created dataset. In the preprocesses, it is seen that the repeating words and stop words are removed. In another preprocessing step, empty unnecessary values are shown to be removed. After the preprocessing step, the dataset is seen to be used as 67% training data and 33% test data. No cross-validation processes were used in any way. Afterwards, the feature extraction stage was started in order to extract meaningful features from the textual data. At this stage, the feature is extracted with the methods of term frequency, count vectorizer and hashing vectorizer. The classification algorithms are fed with the features obtained from the specified algorithms. Twelve different classifiers such as Adaboost and Support Vector Classifier are used. In the classification phase, it is seen that the classification is done according to the best results from the classifiers with multilevel voting. Through the model formed by combining these processes, real and fake news detection is carried out. Tacchini et al. applied logistic regression to determine whether Facebook posts were fake (Tacchini et al., 2017). They tried to find fake news by analysing the linguistic clues of texts with machine learning (Conroy et al., 2015).

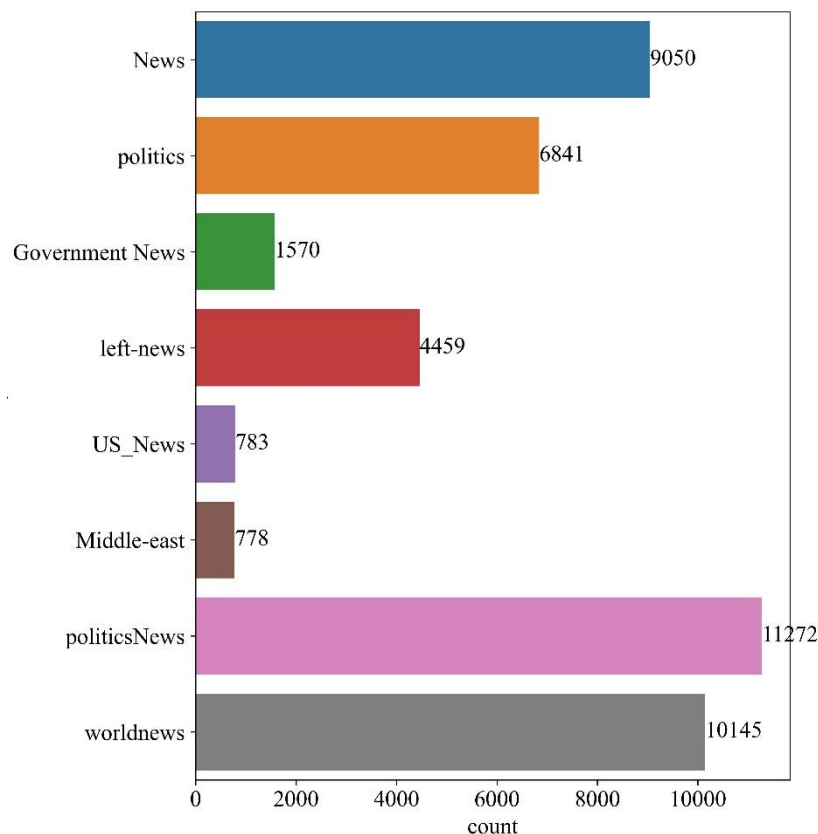
Nasir et al. report that fake news is becoming more common as people do less research and filtering than before (Nasir et al., 2021). They proposed a hybrid deep learning model based on CNN and RNN to prevent the rapid spread of fake news. Classifiers mean that input texts in vector or numeric format should be fed. Every word found in fake news texts is represented by vectors. These word vectors are defined as word embedding (Nasir et al., 2021). The features obtained from the one-dimensional convolution layers are given as input to the RNN-based LSTM algorithms. With the proposed method, they aimed to capture local and sequential features in the input data. Nasir et al. separated the dataset they used in the experimental study as 80% training and 20% testing.

### **3. Material and Methods**

In this section of the study, the deep learning methods proposed to perform an automatic classification of fake news created with political and commercial concerns are explained. At this point, real-world problems prompt researchers to turn to academic research to offer solutions. Political and commercial concerns and events related to fake news have allowed this study to be conducted.

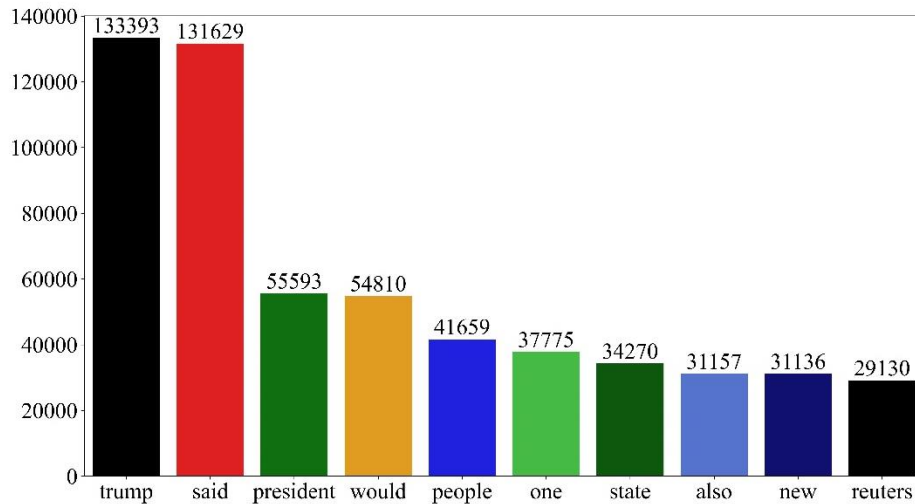
### 3.1. Material

The fake news content used in the article is taken from Kaggle.com (Ahmed et al., 2018a). Actual news was obtained from the Reuters.com news site. The content of each of the news content is longer than 200 characters. The news content consists of English text content. Articles with real news contain more nouns and adjectives. On the other hand, fake news contains more adverbs and verbs. Figure 1 shows the numerical distribution of the topics in the dataset. How many contents from each topic is presented numerically in graphics. The number of unique words after preprocessing is 108.705. The maximum number of words in a preprocessed content is 4.405.



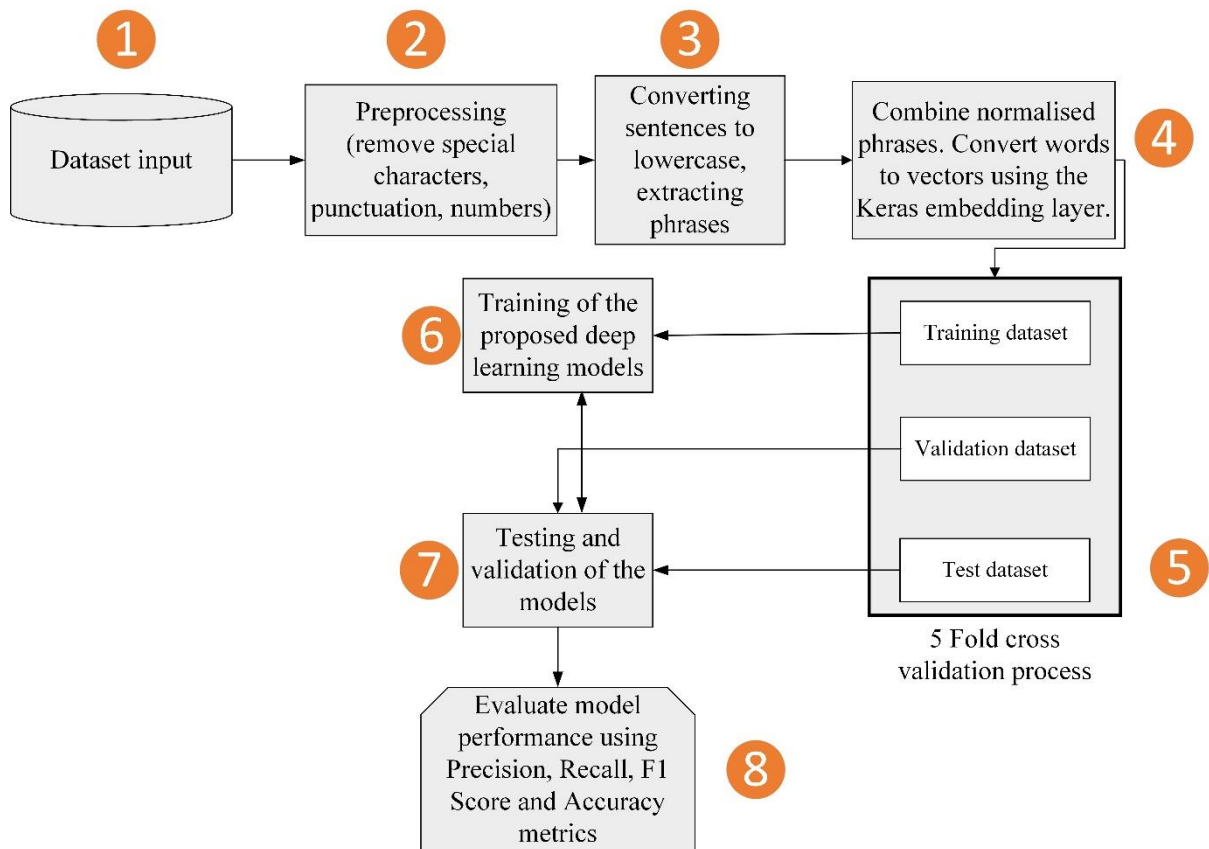
**Figure 1.** Numerical distribution of topics in the dataset

When Figure 1 is examined in general, it can be said that political news is dominant. The dataset, which was created by bringing together news content on different topics, from US news to world news, was used in experimental studies.



**Figure 2.** Words with high word frequency in the dataset

In Figure 2, high-frequency words that are frequently used in the preferred dataset for the experimental study are shown. Frequency values of different words are shown, from 133.393 trump words to 29.130 Reuters words. A publicly available dataset was chosen to carry out a study on the automatic detection of fake news (Ahmed et al., 2017; Ahmed et al., 2018). In the dataset used by the article study, there are 23.481 fake news and 21.417 real news.



**Figure 3.** Flow diagram of proposed models

Figure 3 shows the flow diagrams of the proposed models. In this flow diagram, it is desired to perceive whether a news is real or fake news. When the specified fake and real news output is specified as the dependent variable, all remaining inputs and parameters can be defined as independent variables. The flowchart of proposed models consists of eight steps. The first step represents the dataset used in the article. In the second and third steps, the methods expressed in the preprocessing title are defined. In the fourth step, vector transformation with Keras word embedding is expressed. The fifth step shows the partitioning of the data with the 5 fold cross validation technique. In the sixth and seventh steps, the training and testing processes of each proposed model are defined. In the eighth step, the performance graphs of the proposed models are measured.

### *3.2. Preprocessing*

The dataset is divided into training and test data according to the 5 fold cross validation technique. Later preprocessing methods brought the news in all sections to the same standard. Preprocessing removes the proposed systems from words that have no effect on feature extraction. For this purpose, all texts in the dataset were converted to lowercase letters, and structures such as 'won't' were converted to 'will not' structures. Extra spaces and unwanted words have been removed, especially in all site extensions such as URL. The removal of the stop words that do not make any sense on their own contributed to the normalization of the dataset. The texts have been made ready for digitization by removing the characters that make it difficult to understand the words before and after, such as special symbols and numeric characters.

Almuzaini et al. seem to attempt to find out how text classification is affected by word embedding and stemming strategies (Almuzaini and Azmi, 2020). Both are very important topics in natural language processing. Although the Keras embedding method is used in this article, no experimental study has been conducted on stemming strategies. In further studies, the effect of stemming strategies and word embedding techniques such as Global Vectors for Word Representation (GloVe), Word2Vec, Bert on classification performance can be investigated in detail on different datasets similar to the dataset used in this article.

### *3.3. Keras word embedding*

Word embedding is a method that evaluates the semantic and syntax meanings of a vocabulary. Word embedding, in other words, is a natural language processing learning technique that is formed as a result of matching the phrases in the dataset with real numbers (Gulli and Pal, 2017). In any natural language processing task, text needs to be represented by vectors. In this way, the way to process digitized texts is opened with standard machine learning algorithms and deep learning models.

In this study, Keras library, which is a deep learning library, was used. Keras is an open source library written in Python programming language. With the help of the tokenizer, text\_to\_sequences, and

pad\_sequences functions of the Keras library, the texts are separated. None of the ngram techniques were used. The Keras embedding layer transforms the text inputs defined in the inputs of deep learning models into vectors. It is also a flexible layer trained to embed words that match random weight values. Embedding is a learning paradigm that paves the way for the structure developed within the scope of this article to be used in other models (Li, 2018). In the Keras embedding layers used in the first layers of the proposed models, 10,000 word inputs expressing the maximum number of words were used. The value 32 is given as the output.

### 3.4. GRU

In this article, RNN structures that can control the flow of information without a memory unit in the automatic analysis of fake news content are called GRUs. In this structure, all confidential situations can be used without information control. Although GRU is based on the RNN structure, it is represented with fewer parameters. As a result, it has less processing load. At the same time, it can be processed faster as a result of processing with fewer parameters. Although GRU is stated to have less success in retrospective transactions, it is preferred due to rapid training modelling (Wang et al., 2022). GRU architecture consists of two different gates, the current and reset gates in the GRU structure (Hu et al., 2021). Between recurrent networks, the gate that decides to merge the current network with the memory structure of the previous network is called the reset gate. The other gate determines how long the information in the memory will be retained. If it is necessary to define the two different doors briefly mentioned, the relevant doors are defined by the formula (Equations 1-4).

$$h_t = (1 - z_t) \odot h_{t-1} + z_t \odot \tilde{h}_t \quad (1)$$

$$\text{Update gate } (z_t) = \sigma(W_z x_t + U_z h_{t-1} + b_z) \quad (2)$$

$$\tilde{h}_t = \tanh(W_h x_t + r_t \odot (U_h h_{t-1})) + b_h \quad (3)$$

$$\text{Reset gate } (r_t) = \sigma(W_r x_t + U_r h_{t-1} + b_r) \quad (4)$$

$W$  represents the weight at time  $t$ .  $h_{t-1}$  represents the values of the hidden layer at time  $t - 1$ .  $U$  denotes cell units and  $\sigma$  denotes sigmoid activation function (Hu et al., 2021).  $z_t$  decides how much new information to add to keep the old information. While  $x_t$  shows the inputs to the model,  $r_t$  controls the effect of the parameters at time  $t - 1$  on the current situation.

### 3.5. BiLSTM

CNN methods are successful in extracting local meanings from spatial data while having difficulty in learning sequential data (Liu and Guo, 2019). RNNs, on the other hand, are more successful with sequentially arrayed data. When fake news classification is considered as text classification, RNNs can also be used easily. In recurrent neural networks, the processing time increases as the depth of the input increases. At the same time, these methods have loss functions with variable sensitivities. The presence of different gradient values in model layers based on recurrent neural networks causes

variation in the loss in each layer (Aggarwal, 2018). Problems occur as a result of disappearance and gradient bursts, which are often encountered in recurrent neural (Liu and Guo, 2019). This problem arises during the backpropagation of RNN-based methods. Although such problems are frequently encountered, it gives good results for short-term transactions (Pang et al., 2020).

Although RNN-based methods can remember in short-term transactions, they suffer memory loss in long-term transactions. As a result of research to eliminate memory loss, LSTM (Hochreiter and Schmidhuber, 1997) architecture has been developed to provide long-term recall in memory. The LSTM architecture effectively solves the gradient burst and vanishing gradient problems, which are fundamental in RNN architectures. Effective at extracting meaningful information, including multilabel or large text. LSTM can capture short-term dependencies as well as long-term dependencies.

BiLSTM (Zhang et al., 2019) on the other hand, is an advanced structure that allows the LSTM method to navigate between bidirectional series. It also represents an interconnected structure between forwarding and backward hidden states. The structures of BiLSTM methods combining advanced and hidden layers in text series are encountered (Chen et al., 2017; Niu et al., 2017; Nowak et al., 2017). LSTM solves the disappearing gradient problem by replacing hidden units with memory blocks. Memory blocks store information using the memory cell. Due to this storage feature, LSTM is better than the classical RNN structure in finding and using long-term information series. Memory units in LSTM structures are the units that decide when the network learns and forgets new information.

$$f_t = \sigma(W_f X_t + U_f h_{t-1} + b_f) \quad (5)$$

$$i_t = \sigma(W_i X_t + U_i h_{t-1} + b_i) \quad (6)$$

$$o_t = \sigma(W_o X_t + U_o h_{t-1} + b_o) \quad (7)$$

$$g_t = \tanh(W_g x_t + R_g h_{t-1} + b_g) \quad (8)$$

$h_t$  shows the hidden states.  $h_{t-1}$  shows the hidden state at time  $t - 1$ , that is, the hidden state before the current state.  $x_t$  represents the inputs to the units. Structures  $f_t$ ,  $i_t$ , and  $o_t$  at the  $t$  show gates.  $g_t$  is the state layer at the  $t$ .  $W$ ,  $R$ , and  $b$  represent weight, recurrent weight, and bias values (Equations 5-8).

#### 4. Experimental Results and Discussion

In this article, a classification study was carried out on the dataset with 23.481 fake news and 21.417 real news. For this purpose, preprocessing steps are applied to the raw data and the data is cleaned. These preprocessing steps consist of removing prepositions, such as numeric or special characters. Apart from these, all characters that do not make sense on their own, such as quotation marks, comment lines, and symbols, are cleaned from the raw data. After these processes, the preprocessed data was obtained. Subsequently, the preprocessed data are divided into training, testing, and

validation data. The area up to this step is common to both proposed models. However, draught model drawings were made to explain the next steps for both models separately.

The proposed models were developed using the tensorflow and Keras libraries in a python 3.8 environment on a computer with a NVIDIA GeForce RTX 3060 graphics card. The performances of the proposed models are calculated using accuracy, recall, precision and F1 score metrics (Equations 9-12). In the hyperparameter adjustment of the models, 128 batch size values were used with the Adam optimization method.

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (9)$$

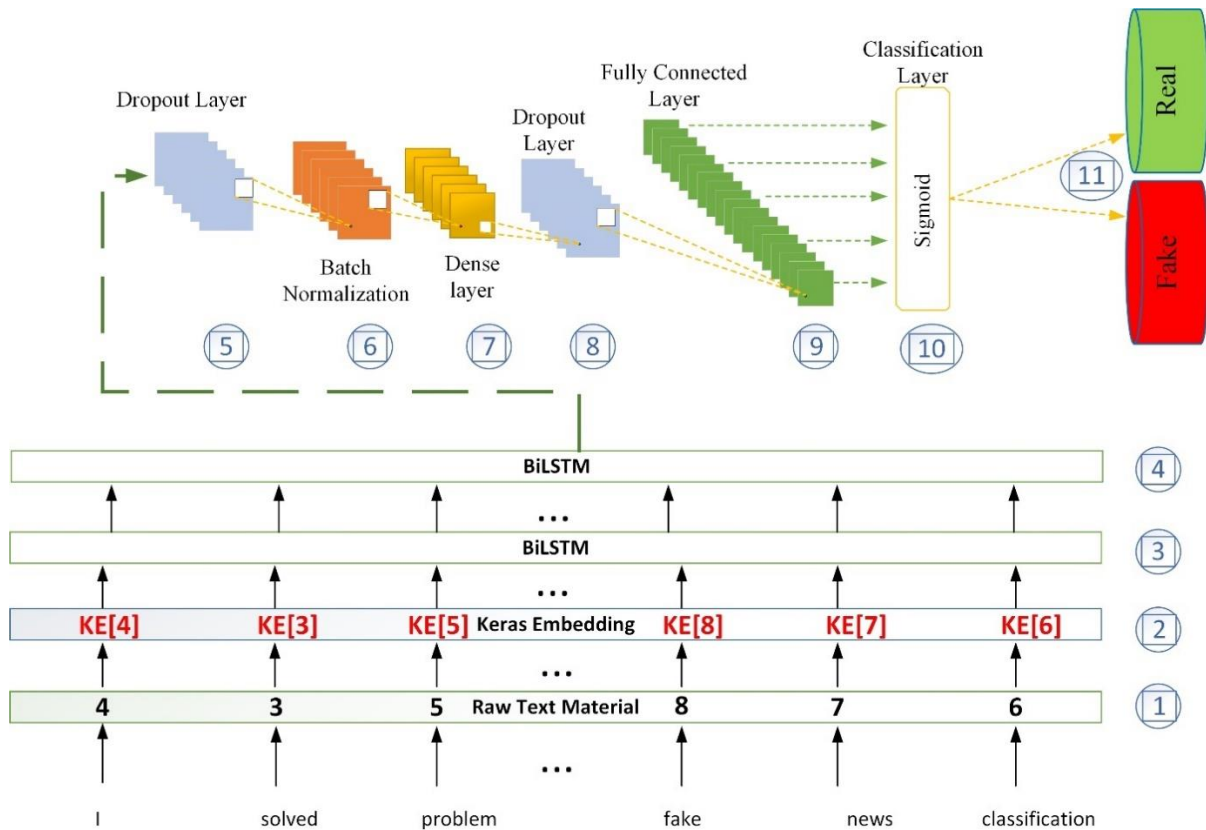
$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (10)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (11)$$

$$F1 = 2x \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (12)$$

The flow diagram of the proposed BiLSTM model is shown in Figure 4. The proposed BiLSTM model consists of 10 layers. The activation functions and the number of neurones used in the layer are explained in 11 steps. The tenth and eleventh steps represent the classification layer. Fake news classification is considered a binary classification (Kishwar and Zafar, 2023). Kishwar and Zafar classified the new dataset they created for the country of Pakistan using the 1D CNN model and the sigmoid activation function (Kishwar and Zafar, 2023). Sigmoid activation is preferred because there is no multiple classification. Both proposed models have an epoch number of 10. The batch size is set to 32. The results of the performance of the experimental study were effective in determining these values. In Figure 4, the data are given as input in the first step. In the second step, the input words are heavily digitized. In the third step, a BiLSTM layer with 256 neurones that can navigate between the previous and next hidden states has been added. In the fourth step, another 128-neurone BiLSTM layer was added, similar to the BiLSTM layer in the third step. In the fifth step, to prevent over-learning of the model, a 0.1 neuron dropout layer was added. In the sixth step, a batch normalization layer was added to normalize the mini steps between the layers.

In the seventh step, a dense layer with 128 neurons was added and the linking process was performed with the previous connections. In the eighth step, a dropout layer was added, which performs a 0,2% drop in neurones, similar to the layer in the fifth step. In the ninth step, a fully connected layer with 64 neurons with ReLU activation function, distant and near sentences from previous layers are connected to a small region. In the tenth step, the classification values are obtained with a classification layer with a sigmoid activation function. In the eleventh step, the estimated class value is determined based on the values obtained.



**Figure 4.** Proposed BiLSTM model

The performance results of the Proposed BiLSTM model according to the 5 fold cross validation technique are given in Table 1. Graphic drawings of the BiLSTM model were made by choosing the model with the lowest accuracy value according to the given performance results. At the same time, detailed analysis of F1 score, recall, precision and accuracy performance measurements were made according to the preferred 5 fold cross validation model.

**Table 1.** Proposed BiLSTM model 5 fold cross validation results

Fold	Accuracy	Loss
Fold 1	0.9917	0.0377
Fold 2	0.9982	0.0078
Fold 3	0.9991	0.0041
Fold 4	0.9997	0.0007
Fold 5	0.1000	1.3283
Average	0.9977	0.0101

The experimental results of the BiLSTM model are presented in Figure 5. When the presented are examined, the training accuracy rate is close to the test accuracy rate. The fact that both curves are close to each other clearly shows that the proposed model is a fundamental study that can contribute to the literature. Detailed versions of the performance results shown in Figure 5 are presented in Table 2. When the presented data are examined, it is observed that the precision, recall, F1 score, and accuracy

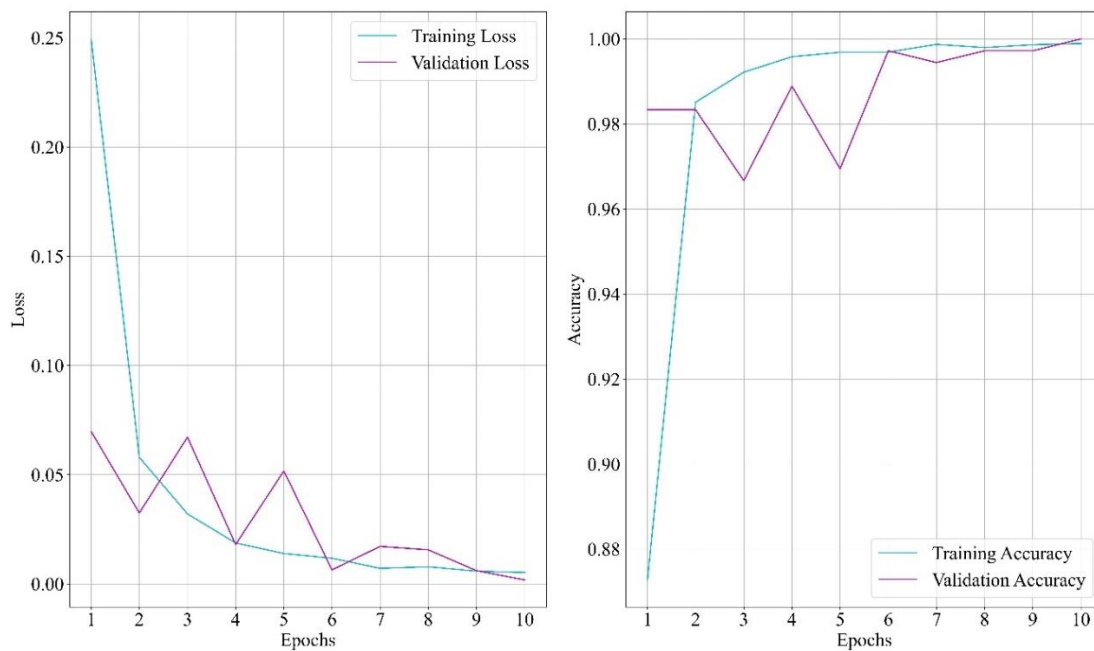


data are compatible with each other. While the training accuracy rate was 0,9989, the test accuracy rate reached 0,9972.

**Table 2.** Performance results of the proposed BiLSTM model according to Fold 1

Model	Precision	Recall	F1 score	Accuracy
BiLSTM model (training)	0.9988	0.9988	0.9988	0.9989
BiLSTM model (test)	1.00	1.0	0.9977	0.9972

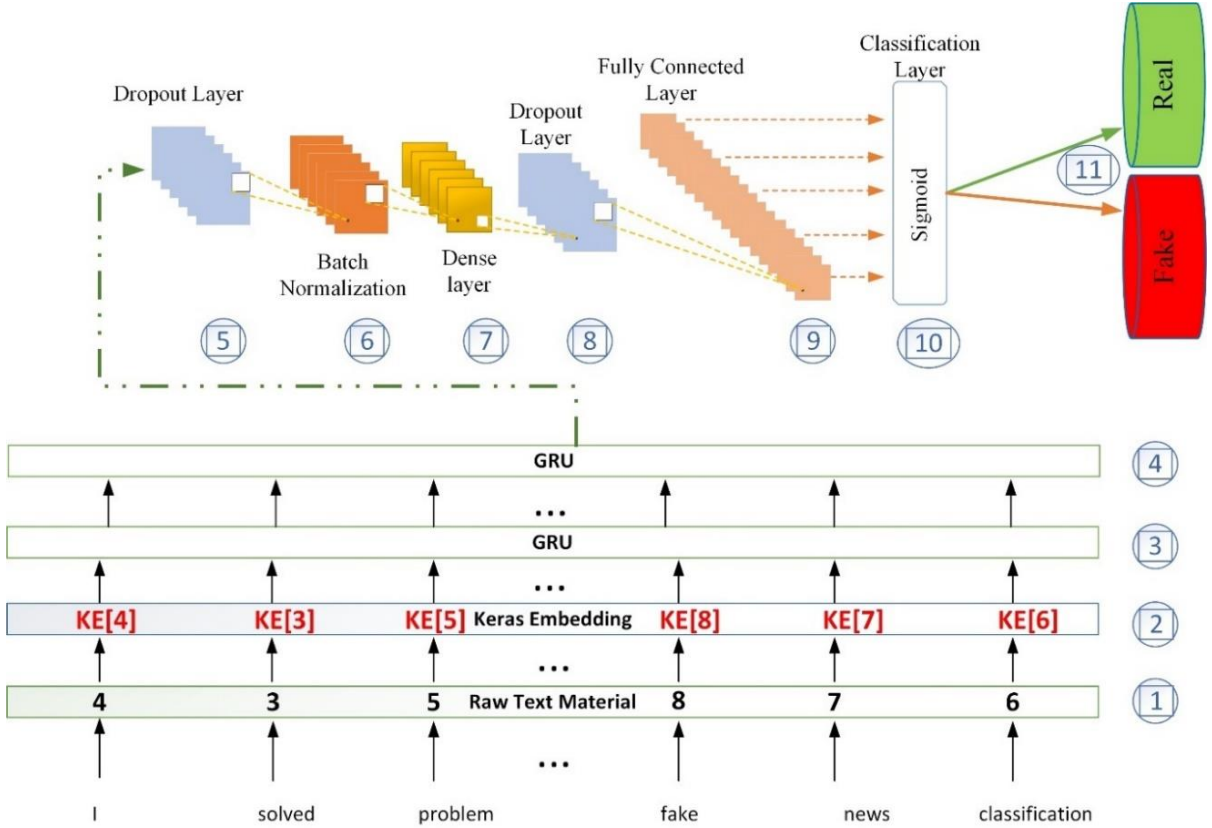
In Figure 5, it is seen that the starting point for the training and testing processes is 0.87 and above. This is possible by making the words weighted with the Keras embedding layer. In Figure 5, while the epoch number of the model is shown on the x axis, the accuracy or loss information is plotted on the y axis. In other words, Adam (Kingma and Ba, 2014) with the y-axis ratio of 0.01 shows the loss and accuracy of the information calculated using the optimization method.



**Figure 5.** Proposed BiLSTM model performance results

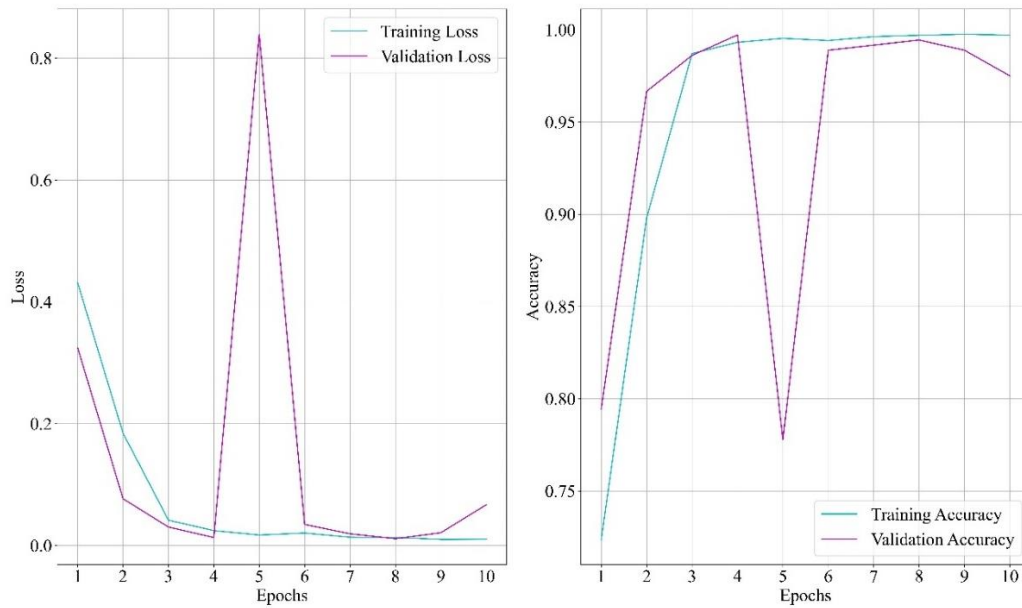
The flow diagram of the proposed GRU model is shown in Figure 6. The proposed GRU model consists of 10 layers. The activation functions and the number of neurones used in the layer are explained in 11 steps. The tenth and eleventh steps represent the classification layer. Sigmoid activation is preferred because there is no multiple classification. In Figure 6, the data are given as input in the first step. In the second step, the input words are predominantly digitised.

In the third step, a GRU layer with 256 neurons that can navigate between the previous and next hidden states has been added. In the fourth step indicated in Figure 6, another layer of GRU with 128 neurons was added, similar to the layer of GRU in the third step. In the fifth step, to prevent overlearning of the model, a 0.1 neuronal dropout layer was added. In the sixth step, a batch normalization layer was added to normalize the mini steps between the layers. In the seventh step in Figure 6, a dense layer with 128 neurones was added and the connection process was performed with the previous connections. In the eighth step, a dropout layer was added, which causes a 0.2% drop in the neurone, similar to the layer in the fifth step. In the ninth step, the far and near sentences from the previous layer are connected to a small region on the fully connection layer with 64 neurons with a ReLU activation function. In the tenth step, the classification values are obtained with a classification layer with a sigmoid activation function.



**Figure 6.** Proposed GRU model

In the eleventh step, the estimated class value was determined based on these values obtained. When both proposed model structures are examined, all layers, except the layers specific to BiLSTM and GRU neurones, are kept the same in the proposed models to make a correct performance comparison.



**Figure 7.** Proposed GRU model performance results

The performance results obtained according to the 5 fold cross validation technique of the proposed GRU model are given in Table 3. On the basis of the performance results given, the model with the lowest accuracy value was preferred, and the graphic drawings of the GRU model were made. At the same time, detailed analysis of F1 score, recall, precision and accuracy performance measurements were made according to the preferred 5 fold cross validation model.

**Table 3.** Proposed GRU model fold results

Fold	Accuracy	Loss
Fold 1	0.9829	0.0752
Fold 2	0.9976	0.0102
Fold 3	0.9994	0.0020
Fold 4	0.9995	0.0024
Fold 5	0.9996	0.0024
Average	0.9958	0.0184

The experimental results of the GRU model, are presented in Figure 7. When the data presented are examined, the training accuracy rate is very close to the test accuracy rate. The fact that the training and test curves are close to each other clearly shows that the proposed model is a fundamental study that can contribute to the literature. Detailed versions of the performance results shown in Figure 7 are presented in Table 4. When the data presented are examined, it is observed that the precision, recall, F1 score, and accuracy data are compatible with each other. Although the training accuracy rate was 0.9971, the test accuracy rate reached 0.9750.

**Table 4.** Performance results of the proposed GRU model according to Fold 1

Model	Precision	Recall	F1 score	Accuracy
GRU model (training)	0.9969	0.9970	0.9967	0.9971
GRU model (test)	0.9940	0.9555	0.9740	0.9750

Although the BiLSTM model is stated to give better results than RNN-based methods in text analysis (Liu and Guo, 2019), this study has shown that this situation varies depending on the dataset and the sequence of the data.

**Table 5.** Comparison results with similar studies in the literature

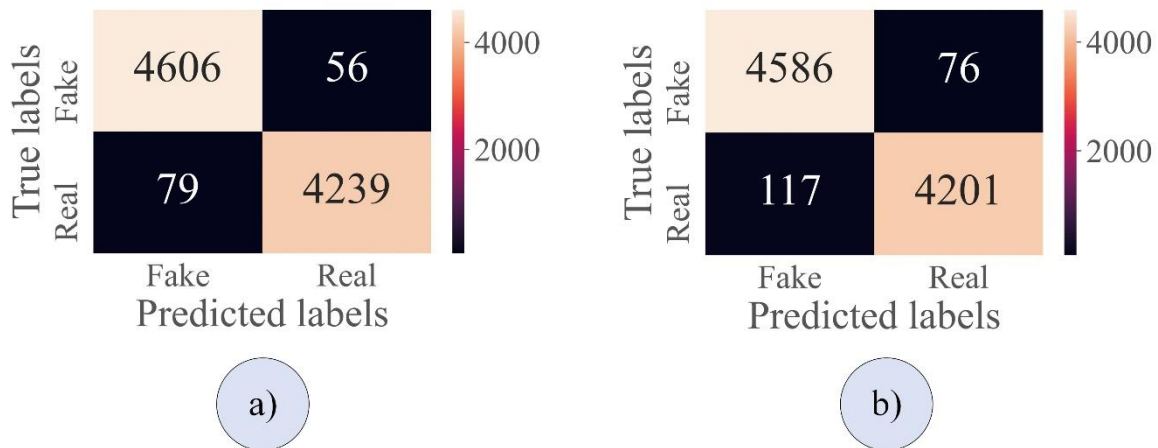
Model	Precision	Recall	F1 score	Accuracy
(Bali et al., 2019)	-	-	0.91	0.88
(Kishwar and Zafar, 2023)'s CNN	0.93	0.93	0.93	0.93
(Kishwar and Zafar, 2023)'s LSTM	0.86	0.85	0.86	0.94
(Ngada and Haskins, 2020)'s DT	0.95	0.95	0.95	0.94
(Ngada and Haskins, 2020)'s KNN	0.96	0.86	0.91	0.91
Proposed GRU model	0.9940	0.9555	0.9740	0.9750
Proposed BiLSTM model	1.00	1.0	0.9977	0.9972

The comparison table made with the articles using the same or similar dataset used in this article is given in Table 5. In the study of (Kishwar and Zafar, 2023), a new dataset was created by collecting fake news content of only Pakistan from different datasets, including the dataset used in this article. Instead of creating a new deep learning model, a dataset is created by collecting data from different data sources. Bali et al. (2019) obtained a better fake news classification result with the Gradient Boosting algorithm than other machine learning algorithms in their study. Ngada and Haskins (2020) used the same dataset used in this article. The classification results obtained with the Decision Tree (DT) and K Nearest Neighbors (KNN) algorithms, which are machine learning algorithms, are presented in Table 5. The differences of the methods proposed within the scope of this article are presented below:

- Instead of dividing the training and test data into fixed values such as 80% and 20% as in the study by (2020), the 5 fold cross validation process was applied. Due to this, a different result is prevented every time the code is run.

- As in Ngada and Haskins (2020) study, new deep learning models have been developed that detect the most distinctive features instead of increasing the cost of the system by using weight values such as pretrained FakeNewsCorpus.
- The datasets used in the Bali et al. (2019) and (Kishwar and Zafar, 2023) studies are different from the dataset we used in this study. With these studies, the common features are ready to extract features from the data by applying preprocessing on each dataset.

When the given results are examined carefully, it is seen that the proposed model has similar competence to the studies in the literature. Experimental studies have been conducted with CNN-based approaches to classify fake news datasets with the same dataset used in this article (Çetiner, 2022). However, the inadequacy of the research and the fact that CNN methods do not have as much success in natural language processing as RNN-based methods necessitated looking at the study from a different perspective. At the same time, the proposed models are divided into training and testing according to cross validation methods. According to similar studies, its success is no longer relative. In addition to the items mentioned, the proposed system, Newsbag Jindal et al. (2020) to analyze and classify fake news datasets.



**Figure 8.** a) confusion matrix of proposed BiLSTM model, b) confusion matrix of proposed GRU model

The results of the confusion matrix of the proposed models that confirm the results given in Table 5 are presented in Figure 8. The proposed BiLSTM model gave more successful results in terms of the confusion matrix than the proposed GRU model.

## 5. Conclusions

Academic research was conducted to prevent the increase in false and fake news due to the prevalence and speed of social sharing systems. As a result of academic research, a study was carried out for automatic classification using a public dataset using deep learning models. To automatically classify fake news, experimental studies were carried out with the proposed BiLSTM and GRU model in a dataset open to researchers with 23.481 fake news and 21.417 real news. The performance values

obtained are satisfactory. The fact that the BiLSTM method keeps the text context in memory for a long time in connection with the backward and forward hidden states makes this method even better. The GRU model provided as much accuracy as the BiLSTM method. The sequence and features of the data are believed to be effective in achieving this. Although the BiLSTM model has been reported to be more successful than the GRU method in the literature, it was found to be more effective in terms of training time and accuracy rate in this study. While the recommended training time for the GRU model is 8.56 minutes, the recommended training time for the BiLSTM model is 25.56 minutes. In this article, the effect of deep learning in terms of speed and performance in the automatic classification of fake news has been observed. It is seen that with the (Ngada and Haskins, 2020)'s DT decision support systems available in the literature, it has achieved a stable result in terms of precision, recall, F1 score, and accuracy values. On the other hand, in the proposed GRU model, the results are not as close to each other as in (Ngada and Haskins, 2020)'s DT study. The disadvantage of the proposed GRU model is that the difference between precision, recall, F1 score and accuracy parameters will be even less, which will increase the flexibility of the model. However, in general, promising results were obtained using the content presented in Table 5 and the word vectors that represent the news. Better results can be obtained by developing a hybrid embedding structure that will be obtained by selecting the best features of more than one embedding layer in terms of meaning and content, instead of Keras-based features representing each news content.

### **Conflict of Interest Statement**

The article author declares that there is no conflict of interest.

### **Contribution Rate Statement Summary of Researchers**

The author declares that he has contributed 100% to the article.

### **References**

- Aggarwal CC. Neural networks and deep learning. Springer 2018; 10: 973–978.
- Ahmed H., Traore I., Saad S. Detecting opinion spams and fake news using text classification. Security and Privacy 2018; 1(1): 15.
- Ahmed H., Traore I., Saad S. Detection of online fake news using n-gram analysis and machine learning techniques. International Conference on Intelligent, Secure, and Dependable Systems in Distributed and Cloud Environments 2017; 10618: 127-138.
- Almuzaini HA., Azmi AM. Impact of stemming and word embedding on deep learning-based arabic text categorization. IEEE Access 2020; 8: 127913–127928.
- Bakshy E., Messing S., Adamic LA. Exposure to ideologically diverse news and opinion on facebook. American Association for the Advancement of Science 2015; 348(6239): 1130–1132.

- Bali APS., Fernandes M., Choubey S., Goel M. Comparative performance of machine learning algorithms for fake news detection. *ICACDS 2019*; 420–430.
- Balmas M. When fake news becomes real: Combined exposure to multiple news sources and political attitudes of inefficacy, alienation, and cynicism. *Communication Research Sage Publications* 2014; 41(3): 430–454.
- Barthel M., Mitchell A., Holcomb J. Many Americans believe fake news is sowing confusion. *Pew Research Center* 2016.
- Çetiner H. Sahte haber verilerinin konvolüsyonel sinir ağı ile sınıflandırılması. *8th International Mardin Artuklu Scientific Researches Conference* 2022.
- Chen T., Xu R., He Y., Wang X. Improving sentiment analysis via sentence type classification using BiLSTM-CRF and CNN. *Expert Systems with Applications* 2017; 72: 221–230.
- Conroy NK., Rubin VL., Chen Y. Automatic deception detection: Methods for finding fake news. *Proceedings of the Association for Information Science and Technology* 2015; 52(1): 1–4.
- Feng S., Banerjee R., Choi Y. Syntactic stylometry for deception detection. *Proceedings of the 50th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics* 2012; 171–175.
- Guacho GB., Abdali S., Shah N., Papalexakis EE. Semi-supervised content-based detection of misinformation via tensor embeddings. *2018 IEEE/ACM International Conference on Advances In Social Networks Analysis and Mining (ASONAM)* 2018; 322–325.
- Gulli A., Pal S. *Deep learning with Keras*. Packt Publishing Ltd 2017.
- Hochreiter S., Schmidhuber J. Long short-term memory. *Neural Computation* 1997; 9(8): 1735–1780.
- Horne B., Adali S. This just in: Fake news packs a lot in title, uses simpler, repetitive content in text body, more similar to satire than real news. *Proceedings of the International AAAI Conference on Web and Social Media* 2017; 759–766.
- Hosseinimotlagh S., Papalexakis EE. Unsupervised content-based identification of fake news articles with tensor decomposition ensembles. *Proceedings of the Workshop on Misinformation and Misbehavior Mining on the Web (MIS2)* 2018.
- Hu L., Wang C., Ye Z., Wang S. Estimating gaseous pollutants from bus emissions: A hybrid model based on GRU and XGBoost. *Science of the Total Environment* 2021; 783: 146870.
- Jindal S., Sood R., Singh R., Vatsa M., Chakraborty T. Newsbag: A multimodal benchmark dataset for fake news detection. *CEUR Workshop Proc.* 2020; 138–145.
- Karimi H., Roy P., Saba-Sadiya S., Tang J. Multi-source multi-class fake news detection. *Proceedings of the 27th International Conference on Computational Linguistics* 2018; 1546–1557.
- Kaur S., Kumar P., Kumaraguru P. Automating fake news detection system using multi-level voting model. *Soft Computing* 2020; 24(12): 9049–9069.
- Kingma D., Ba J. Adam: A method for stochastic optimization. *International Conference on Learning Representations* 2014.
- Kishwar A., Zafar A. Fake news detection on Pakistani news using machine learning and deep

- learning. *Expert Systems with Applications* 2023; 211: 118558.
- Li S. Application of recurrent neural networks in toxic comment classification. UCLA 2018.
- Liu G., Guo J. Bidirectional LSTM with attention mechanism and convolutional layer for text classification. *Neurocomputing* 2019; 337: 325–338.
- Nasir JA., Khan OS., Varlamis I. Fake news detection: A hybrid CNN-RNN based deep learning approach. *International Journal of Information Management Data Insights* 2021; 1(1): 100007.
- Ngada O., Haskins B. Fake news detection using content-based features and machine learning. *IEEE Asia-Pacific Conference on Computer Science and Data Engineering (CSDE)* 2020; 1–6.
- Niu X., Hou Y., Wang P. Bi-directional LSTM with quantum attention mechanism for sentence modeling. *International Conference on Neural Information Processing* 2017; 178–188.
- Nowak J., Taspinar A., Scherer R. LSTM recurrent neural networks for short text and sentiment classification. *International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing* 2017; 553–562.
- Ozbay FA., Alatas B. Fake news detection within online social media using supervised artificial intelligence algorithms. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 2020; 540: 123174.
- Pang Z., Niu F., O'Neill Z. Solar radiation prediction using recurrent neural network and artificial neural network: A case study with comparisons. *Renewable Energy* 2020; 156: 279–289.
- Reis JCS., Correia A., Murai F., Veloso A., Benevenuto F. Supervised learning for fake news detection. *IEEE Intelligent Systems* 2019; 34(2): 76–81.
- Sabeeh V., Zohdy M., Mollah A., Al Bashaireh R. Fake news detection on social media using deep learning and semantic knowledge sources. *International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS)* 2020; 18(2).
- Sahoo SR., Gupta BB. Multiple features based approach for automatic fake news detection on social networks using deep learning. *Applied Soft Computing* 2021; 100: 106983.
- Sahoo SR., Gupta BB. Hybrid approach for detection of malicious profiles in twitter. *Computers & Electrical Engineering* 2019; 76: 65–81.
- Sunstein C. *On rumors how falsehoods spread, why we believe them, what can be done.* Princeton University Press Publisher, 2009.
- Tacchini E., Ballarin G., Della Vedova ML., Moret S., de Alfaro L. Some like it hoax: automated fake news detection in social networks. *arXiv preprint arXiv:1704.07506* 2017.
- Wang J., Zhang Y., Yu LC., Zhang X. Contextual sentiment embeddings via bi-directional GRU language model. *Knowledge-Based Systems* 2022; 235: 107663.
- Wang Y., Ma F., Jin Z., Yuan Y., Xun G., Jha K., Su L., Gao J. Eann: Event adversarial neural networks for multi-modal fake news detection. *Proceedings of the 24th ACM Sigkdd International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining* 2018; 849–857.
- Wu L., Liu H. Tracing fake-news footprints: characterizing social media messages by how they



propagate. Proceedings of the Eleventh ACM International Conference on Web Search and Data Mining 2018; 637–645.

Yang Y., Zheng L., Zhang J., Cui Q., Li Z., Yu PS. TI-CNN: Convolutional neural networks for fake news detection. arXiv preprint arXiv:1806.00749 2018.

Zhang Y., Zhang Z., Miao D., Wang J. Three-way enhanced convolutional neural networks for sentence-level sentiment classification. Information Sciences 2019; 477: 55–64.

## Karanlık Üretim Faktörlerinin Tesis Planlama Açısından Değerlendirilmesi

İrem DÜZDAR<sup>1\*</sup>, Selinay KOLÇAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Düzce

<sup>2</sup>Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Düzce

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-7642-8121>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-4322-1386>

\*Sorumlu yazar: iremduzdar@duzce.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 15.02.2023

Kabul tarihi: 17.07.2023

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Analitik hiyerarşi prosesi

Endüstri 4.0

Karanlık üretim

Tesis planlama

### ÖZ

Karanlık üretim Endüstri 4.0 ile hayatımıza giren bir kavramdır. Karanlık üretim fabrikaların insan gücüne ihtiyaç duymadan üretimin baştan sona makinelerin organize bir şekilde üretimi sağladığı üretim biçimidir. Karanlık üretim diğer üretim şekillerine göre kaliteli, ucuz, hızlı ve daha az israf yapabilecek bir üretimi hedeflemiştir. Şirketlerin bu yeni çağa ayak uydurabilmesi gelişmeleri izlemesi için çok önemlidir. Tesis planlaması karanlık üretimin doğru, en hızlı ve en az maliyet ile gerçekleştirilmesi için dikkat edilmesi gereken konudur. Bu yüzden yapılan bu çalışmada, karanlık üretim yapmak isteyen bir şirketin tesis planlaması için gerekli kriterlerin önceliğinin çok kriterli karar verme yöntemlerinden (ÇKKV) analitik hiyerarşi proses (AHP) yöntemi ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmanın hedefi uygulamadan elde edilen sonuçlarla fabrikaların tesis planlaması için önemli etkiye sahip kriterlerin daha öncelikli incelenmesini sağlamaktır.

## Lights-Out Manufacturing Factors Evaluation in Terms of Facility Planning

### Research Article

#### Article History:

Received: 15.02.2023

Accepted: 17.07.2023

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

Analytical hierarchy process

Industry 4.0

Lights-out manufacturing

Facility planning

### ABSTRACT

Lights-Out Manufacturing is a concept that entered our lives with Industry 4.0. Lights-Out Manufacturing is a form of production in which production is ensured by the organized production of machines from beginning to end without the need for manpower of factories. Lights-Out Manufacturing has aimed at a production that is high quality, cheap, fast and less wasteful compared to other forms of production. It is very important for companies to keep up with this new era for their development. Plant planning is an issue that needs to be considered in order to ensure that production is carried out correctly, as quickly as possible and to minimize costs. So, in this study, it is aimed to determine the priority of the criteria required for facility planning of a company that wants to make dark production, with the analytical hierarchy process (AHP) method, which is one of the multi-criteria decision making methods (MCDM). The aim of this study is to provide a more priority examination of the criteria that have a significant impact on the plant planning of factories with the results obtained from the application.

**To Cite:** Düzdar İ., Kolçak S. Karanlık Üretim Faktörlerinin Tesis Planlama Açısından Değerlendirilmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(3): 994-1009.

## Giriş

Geçmişten günümüze üretim için birçok farklı yöntem bulunmuştur ve üretim birçok farklı şekilde uygulanmıştır. Sanayide gerçekleşen teknolojik, sosyal ve ekonomik gelişmeler endüstri devrimi olarak ifade edilmektedir. Bu gelişmeler bir süre sonra zorunluluk haline gelmiş ve dönemin getirilerine ayak uyduramayan şirketler rekabet ortamından elenmişlerdir (Gökten, 2018). Bu gelişmelerin son hali olan Endüstri 4.0 halen daha gelişmekte olan ve araştırılmaya, öğrenilmeye devam edilen bir konudur. Endüstri 4.0'da üretim “Karanlık Üretim” kavramı ile adlandırılırken, üretimin olduğu yere ise “Karanlık Fabrika” adı verilmektedir (Oğrak ve Şık, 2020).

Tesisler kurulmadan önce amacı belirlenir ve bu amaca göre tesis planlaması yapılır. Bu çalışmada karanlık üretimi gerçekleştirmek için kriterlerin önceliklerinin belirlenmesinde temel alınan nokta tesis planlamasıdır. Karanlık üretim ile tesis planlamasının kriterleri iç içe geçirilerek tesis planlaması yapılabilir. Literatür araştırması yapılarak günümüzde karanlık üretim hakkında çalışmalar mevcut olduğu ancak detaylı anlatım ya da konuyla alakalı örnek alınabileceği çok sayıda detaylı uygulama çalışması bulunmamaktadır. Bu çalışma, konu ile ilgili çalışma yapacakların referans alabileceği kaynak olabilmesi bunun yanı sıra gelişmekte olan dünyanın bu yeni kavramın niteliği eskimeden nasıl bir süreci ve ne gibi getirileri olduğunu öğrenmesini, karanlık üretim uygulanmasında nasıl bir yol izlenmesi gerektiğini göstermeyi amaçlamıştır. Bu çalışmada karanlık üretim fabrikalarının tesis kurulumu planını yaparken kriterlerin belirlenmesi ve hangi kriterlerin önemli olduğu, nasıl bir yol izlenmesi gerektiği hakkında bilgi vermek hedeflenmiştir. Çalışmanın kriterlerinin önem sırasını belirleyebilmek için çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHP (Analitik Hiyerarşi Prosesi) yöntemi kullanılmıştır. AHP yönteminin, henüz yeni ve çok sayıda uygulaması olmayan bir konu olan karanlık üretim ile ilgili olarak ilk pilot çalışma olarak kriter ağırlıklarının önceliklendirilmesi amacı ile kullanılmıştır. AHP, karar verme sürecindeki karmaşıklığı azaltmak ve objektif bir değerlendirme yapmak için yapısal bir yaklaşım sunar (Khatwani ve Kar, 2017). AHP, karar verme sürecini yapılandırır ve analiz eder. Problemdeki kriterler, alt kriterler ve alternatifler arasındaki ilişkiler hiyerarşik bir yapıda gösterilir. Bu, karar verme sürecini daha anlaşılır ve yönetilebilir hale getirir. AHP, ağırlıklandırma ve önceliklendirme yaparak nispeten hassas sonuçlar üretir. Karar vericiler, kriterlerin önem sıralamasını değiştirdikçe veya alternatiflerin değerlendirmesini değiştirdikçe sonuçlar da değişir. Bu şekilde, karar vericilerin tercihlerine bağlı olarak sonuçlar esneklik gösterebilir (Russel ve Taylor III, 2003). Yapılan literatür araştırmasından elde edilen kriterler ülkemizdeki günümüz şartlarına uygun olması ve gerçekçi bir yaklaşım ortaya koymak amacı ile ülkemiz örnekleri üzerinden belirlenmiştir. Özellikle üretimde tesis planlaması aşaması açısından inceleme yapılması amaçlanarak yatırımcı için yol gösterici olması hedeflenmiştir.

## **Endüstri Devrimi**

Endüstri devrimi ilk olarak 18. Yüzyılda ortaya çıkmıştır. Endüstri 1.0 olarak adlandırılan bu ilk devrim sanayileşmenin ilk adımı olan su ve buharın makinelerde kullanılmaya başlamasıyla olmuştur. İnsan ve hayvan gücünü makine devralmıştır (Yıldız, 2018). Elektrik kullanılmaya başlaması ile Endüstri 2.0 devrimi oluşmuştur. Bu dönemde seri üretime geçilmiştir. Bu dönem otomobil teknolojisinde gelişmeyi sağlamıştır (Gökten, 2018). Endüstri 3.0'a geçmemiz ise analog sistemlerin yerine dijital sistemlerin geldiği dönemdir. Yazılım destekli sistemlerin oluşması ile üretim süreci otomasyona geçmiştir (Gökten, 2018 ve Balkan, 2020). Böylece, bu ilk üç devrimin sonunda, üretime mekanizasyon, bilgi teknolojisi ve elektrik gelmiştir (Yıldız, 2018).

## **Endüstri 4.0**

1960'lı yıllarda ürünü satın alma eyleminde olan müşterilerin 2000 yıllarına doğru, talep ve beklenenlerin yön değiştirmesi ile firmaların üretim proseslerinde karmaşık bir duruma girilmiştir. Böylelikle firmalar farklı departmanlar arasında çalışma gereği duyduğu ve internette tüm nesnelere iletişim ve etkileşim içinde olduğu döneme girmiştir, bu döneme Endüstri 4.0 denir (Yıldız, 2018). Bu dönemin, ülkelerin gelişim düzeyini etkileyeceği ve insan işgücünün azalmaya başlayacağı beklenmektedir. (Balkan, 2020).

Endüstri 4.0'ın temelleri Almanya'da görülmüştür ve hemen ardından tüm dünyaya yayılmıştır (Oğrak ve Şık, 2020). Endüstri 4.0 ile nesnelere interneti (IOT), akıllı makineler, bulut teknolojileri, büyük veri, yapay zekâ, veri madenciliği, siber sistemler, otonom robotlar, karanlık fabrikalar gibi kavramlar hayatımıza girmiştir (Gökten, 2018).

Bu yeni süreç üretim ve tüketim ilişkisini tamamen değiştirecek bir yapıdır. Teknolojik gelişme ile birbirine dijital olarak bağlanan akıllı makineler ile iş süreçleri planlanmaya başlanmıştır (Gökten, 2018). Tüketicinin hızlı değişen ihtiyaçlarını karşılamaya ve aynı zamanda birbiriyle iletişim ve koordinasyon içinde olan otomasyon sistemlerini oluşturmuştur (Yıldız, 2018). Endüstri 4.0'a kadar "merkezileşmiş" üretim sistemi bu dönemden sonra "merkezleşmemiş" üretim sistemine dönerek verimliliği arttırmak amaçlanmaktadır (Çakır, 2018). Endüstri 4.0 kavramının benimsenmesi önemli bir konudur çünkü Endüstri 4.0'a ayak uyduramayan şirketler rekabet ortamında ayakta kalamaz (Yıldız, 2018).

## **Karanlık Üretim**

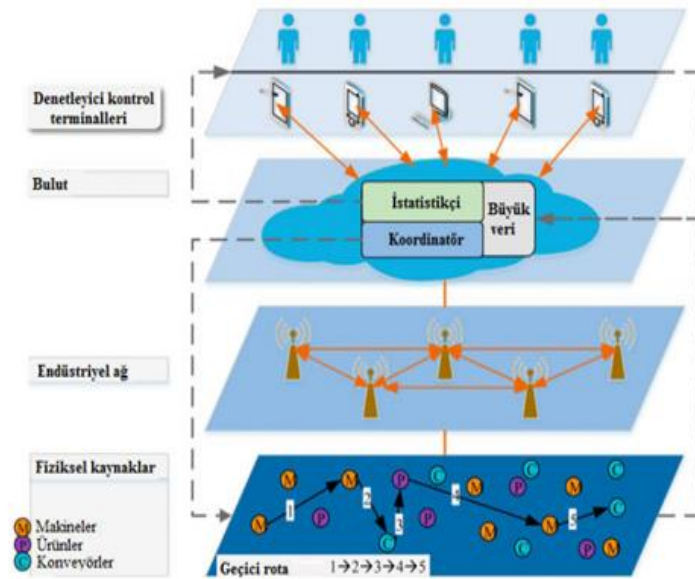
Karanlık üretim kavramı Endüstri 4.0 ile gelişen bir süreçtir. Karanlık üretimde, üretim sürecinde ürünler bir müdahale olmadan üretilip her an ulaşılabilir durumda olmaları beklenmektedir. Karanlık üretim, dijital olarak birbirine bağımlı önem zinciri unsurlarına bağlı şekilde tasarlanan iş modeliyle üretimin gerçekleşmesidir. Karanlık üretim adımları siber fiziksel sistemi ile sağlanması planlanmaktadır. Karanlık üretim otomasyon adımlarını, makineler, internet yardımı ile cihazlar bir bütün şeklinde hem birbirleriyle hem de diğer unsurlarla iletişim kurar, ihtiyaç duydukları üretim ile

ilgili bilgileri bulut sistem içindeki “Büyük Veriden” (Big Data) alan akıllı makine ve sistemleri içerir. Örnek olarak, üretim sürecinin bir adımında kaynak yetmezliği var siber fiziksel sistem bunu tespit edip hemen sipariş verebilir ya da ürünlerin satış hacmiyle ilgili hesaplama yapıp hangi üründe fazla talep varsa onun üretim hacmini artırabilir.

Bu sistemlere ek olarak, ürün tasarımı, planlanması, üretim mühendisliği, üretim, servisler gibi birçok üretim süreci, modüller şeklinde simülasyonu yapılacaktır ve ayrıyeten bu ilerlemeler esnasında birbirine bağlı bir şekilde kontrol edildiği anlamına gelen uçtan uca sistemiyle birbirine bağlı olacağı için merkezileşmemiş sistem tarafından tek yürütülmeyeceği düşünülmektedir (Gökten,2018; Yıldız, 2018). Karanlık üretim, üretim sürecinin artan sorunları işçiler için yönetilebilir duruma getirir ve üretimi aynı zaman da istenebilir, kentsel çevrede yürütülebilir ve maliyetsiz olmasını sağlaması amaçlanmaktadır.

Karanlık üretimin son teknoloji akıllı robotlarla üretim yapılmasının birçok avantajı vardır bunlar insan işinin az olduğu, işlerin çoğundan fazlasını makinelerin yaptığı, iş güvenliğinin sorun olmadığı, üretilen ürünün kalite derecesini yakalaması, kesintisiz ve verimli üretimin olması gibi hedefleri vardır (Yıldız, 2018; Oğrak ve Şık, 2020). Karanlık üretimin bilim kurgu boyutu olarak, yapay zekâ makine öğrenmesinin bir sonraki aşamasıdır. Yani makine öğrenmesi bilgisayarlara anlama yeteneği veren yapay zekâ uygulamasıyken, yapay zekâ makinelerine insan gibi düşünme, öğrenme yeteneği verir. Bu yöntem şu anlık teknolojik ilerlemeler nedeniyle sadece makine öğrenmesine dayalı yapay zekâdan bahsedilir.

Karanlık üretimin oluşan aksaklıklara karşı makine öğrenmesinin gelişmesiyle önüne geçebilir. Örnek verilecek olursa, oluşan bir arızaya dışardan müdahale edilmeden ve anında çözüm bulunabilecek ya da üretim sürekli olarak kalite kontrolü altında ilerleyecek ve bu şekilde üretim kesintiye uğramadan ve bakım, kalite gibi giderler hemen hemen ortadan kalkacak (Gökten, 2018). Şekil 1’de karanlık üretim tesis planlamasına örnek bir çizim gösterilmiştir.



Şekil 1. Endüstri 4.0 karanlık fabrika çerçevesi

### **Karanlık Üretim Etkileri**

Endüstri 4.0 üretiminin ilk örneğinden biri Çin’de kurulu olan ve telefon modellerinin üretiminin yapıldığı bir şirketin genel müdürünün yaptığı bir açıklamasında süreç ile iç içe çalışan işçi sayısının 650’lerden 60’a kadar indirildiği ve firmanın üretkenliğinde %250 artış gözlemlendiğini, ürünlerin hatalı parça oranlarının %25’lerden %5’lere düştüğünü söylemiştir. Karanlık üretim tesisleri ışık kaynağına ihtiyaç duymadan karanlık yerde üretim yapabildikleri için büyük elektrik tasarrufu sağlayan çevreci fabrikalardır. Karanlık üretim iş güvenliği açısından diğer üretim şekillerine göre daha güvenilirdir. Karanlık üretim fabrikalarında insan sağlığını tehlikeye atacak çeşitli üretim aşamaları insan gücü olmadan makineler tarafından gerçekleştirilmektedir (Gökten, 2018; Oğrak ve Şık, 2020).

Karanlık üretime geçiş sürecinde işgücü paradigmaları değişim gösterecektir. Bu süreçte büyük krizlerden sakınmak için iş imkânı olan alanlarda çalışma oranlarını fazlalaştırmak, eğitim, yatırım ve teşviklerle yardım sağlamak önemlidir (Çakır, 2018).

### **Karanlık Üretimin Maliyeti**

Kesintisiz üretime sahip karanlık üretim tesisi kurulumu çok yüksek yatırım maliyetine sahiptir. Karanlık üretim kesintisiz üretim yaptığı için pratik ve teorik kapasite ayırımını ortadan kaldırma ihtimali vardır. Bu sebeple kullanılmayan kapasite etkisi maliyetlemesi kalkabilir. Karanlık üretim de siber fiziksel sistem modellerinin tesis için gerekli maddi ve maddi olmayan yatırımı yapabilecek şirketlerin sayısı azdır. Bu nedenle Endüstri 4.0’ın global seviyede çok sayıda şirketin batabileceği ve sektörler bazında bazı şirketlerin üstünlüğünü koruyacağı düşünülebilir. Bu düşünce ile karanlık üretimin kesintisiz ve doğal bir şekilde tam kapasite üretim yapabilme potansiyelinde olabileceği yüksek ihtimaldir (Gökten, 2018).

### **Karanlık Üretimin Dünyadaki Durumu**

Çin, pazarın en büyüğü olarak görülüyor ve hızla büyüyen ekonomisini gelecek yıllarda da ayakta tutmak istiyor ve bu yüzden sahip olduğu işçi gücüne bakmaksızın bu liderliği elinde tutmak için Endüstri 4.0’ı benimseyip izlemektedir. Gelişmiş ülkelerden farklı olarak Çinliler gelişim sürecinin otomasyon tarafına odaklanmıştır. Amerika’nın Endüstri 4.0 çalışmaları uzun zamandır süregeliyor. Amerika’nın Endüstri 4.0 devrimine yakın ülkelerden biri olmasının sebebi gelişmiş teknolojisi ve inovasyon kültürü. İnovasyon, yazılım geliştirme ve eğitim alanında kanıtlamış olduğu geçmişi Endüstri 4.0 için sağlam temellere sahip olduğunu gösterir. Finlandiya, ülke olarak çok fazla kendinden bahsedilmese de Endüstri 4.0 ile ilgili gelişmeler gösterdiğini söylemek mümkündür. İnovasyon ve teknoloji mali destek ajansının yürüttüğü Ar-Ge programı ve buna ek olarak birbirinden farklı şirketleri birbirine bağlayabilmek için “Fin Endüstriyel İnternet Forumu (FIIF)” vardır. Türkiye’ye bakacak olursak, bunların gerisinde kaldığını söylemek mümkündür. Bu gelişmiş ülkelere yetişebilmesi için teknolojilerin etkin kullanılması gerekmektedir. Türkiye Endüstri 4.0’a

yetişebilmesi ve önder ölkeler içinde olması için, bütün sanayi şirketlerinin dijital teknolojilere erişimin kolaylaştırılması vb. çalışmalar yapılmalıdır (Yıldız, 2018).

### **Karanlık Üretim Avantaj ve Dezavantajları**

Bütün yeni süreçlerde olduğu gibi karanlık üretimde de avantajları ve dezavantajları vardır. Bunlar alt bölümlerde maddeler halinde belirtilmiştir (Lee, 2018).

#### **Avantajları**

- Makineler üretimi 24 saat devam ettirebilir ve enerji maliyetleri azaltılır.
- Fabrikada işlerin çoğundan fazlasını robotlar yapacağı için işçi maliyetleri azalır.
- Ar-Ge ve yönetici grubunun farklı işlerle ilgilenmesine gerek kalmayacağı için kendi işlerinde daha verimli olacaklardır.
- Verimlilik artışından dolayı üreticiler arası rekabet avantajı sağlanacaktır.
- Üretim başlamadan doğru planlamanın yapılması sağlanır.

#### **Dezavantajları**

- Karanlık üretim sisteminin kurulması ve yükseltilmesi maliyetlidir.
- Üretim içindeki makine parçalarının bazıları operatör olmadan yönetilemeyecek kadar karmaşıktır.
- Karanlık üretimin üstesinden gelmesi gereken en büyük engel, birden çok alanda uygulanabilir olmamasıdır.
- Karanlık üretime geçişte bazı makineler bu üretim şekline uyum sağlamakta zorlanabilir.
- Sıcaklık ile ilgili sorunlar makinelerde iletişim hatası olması durumunda sıkışma veya tıkanma meydana gelebilir.

### **Tesis Planlama**

Tesisler, belirli olan amacına göre planlı bir şekilde kurumsal bir yapıyı oluşturur. Planlar, tanımlanan amacı gerçekleştirmek için işlerin hangilerinin yapılacağını, belirlenen bu işlerin nasıl, ne zaman, ne kadar zamanda yapılması gerektiğini ve hangi sırayla yapılacağını gösterir (Yanık, 2021).

Tesis planlama, kurumsal bir yapının ilk düşünce adımlarından görevini sonlandırmaya kadar geçen adımların tamamını içeren faaliyetler topluluğudur. Tesisin asıl hedefi değer üretmektir. Üretilmiş olan değer tesislerin üretim türüne göre ürün ya da hizmet olarak karşımıza çıkar. Tesisler; kâğıt, motor, televizyon vb. ürün üretilen kurum olabileceği gibi; üniversite, hastane, vb. gibi hizmet üreten kurum da olabilir. Var olan özellikleri ile tesis bir dönüştürücü görevi üstlenir. Belirlenmiş girdilerle beslenen tesis, bunları uygun şekilde karışımını yaparak dönüşüme uğratar ve bunun sonucunda da değer üretir. Bir firmanın içeriği, firmanın girdilerinin ve çıktılarının türüne göre farklılıklar gösterir. Firmanın içeriğini tanımlayıcı ana faktör tesisin amacıdır (Yanık,2021).

## Literatür Taraması

Endüstri 4.0 ülkemiz açısından fazla benimsenmemiş yeni bir süreçtir. Karanlık üretim de Endüstri 4.0 ile hayatımıza giren bir kavramdır. Karanlık üretimle ilgili çalışmalar eksik kalsa da bu konu ile ilgili literatür çalışmaları aşağıda yapılmıştır. Bu konuya ek olarak Endüstri 4.0, tesis planlama ve çok kriterli karar verme yöntemleri ile ilgili çalışmalarında literatür çalışmaları yapılmıştır.

Gökten(2018) çalışmasında, Endüstri 4.0 ve karanlık fabrikaların tanımı, etkilerini araştırmış ve sonucunda Endüstri 4.0 ve karanlık fabrikaların ne olduğu faydaları ile nasıl uygulanacağını bulmasını amaçlamıştır. Oğrak ve Şık (2020) çalışmasında, kurulumundan beri büyüme yoluna gitmemiş bir firmada Endüstri 4.0 uygulamasını üretim yöntemleri ile araştırmıştır. Sonucunda daha fazla kar ile daha az hatalı üretimin yapılabildiğini bulmuşlardır. Yıldız (2018) çalışmasında, Endüstri 4.0, akıllı fabrika, nesnelerin interneti, siber fiziksel sistemleri araştırılıp gözlem yapılmış ve Türkiye'nin gelişmiş ülkeleri yakalayabilmesi için gerekenleri belirlemiştir. Balkan (2020) çalışmasında, enerji dağıtımında en iyi faydayı sağlayacak yeri seçmek için ELECTRE ve ikili logit modeli yöntemleri ile araştırmıştır. Sonucunda mesafe sorunu olan alternatifler elenmiştir, dağıtım yapılacak yerlere yakın olması gerektiği, iç ve dış kaynağının ulaşılabilir olduğu mesafede olması gibi sonuçlara varılmıştır. Çakır (2018) çalışmasında, Endüstri 4.0'ın işgücünde ve koşulları üzerinde yaratması muhtemel değişiklikler araştırma ve gözlemlerle incelemiştir. Endüstri 4.0'ın çalışmadaki katkıları bulunmuştur. Ceylan ve Gürsev (2020) çalışmasında, Türkiye bankacılık alanlarında çalışan lider olan bir kurumun telefon uygulamasının farklı yöntemleri içinde bulunan Scrum, Kanban ve Şelale gibi proje yönetimi metotları ile çalışan 4 farklı yazılım geliştirme projesini özellikleri ve başarı kriterleri üzerine araştırma yapılmıştır. ÇKKV yöntemleri arasında yer alan AHP metodu ile kriterlerin ağırlık katsayısı hesaplanmış ve bu belirlenen ağırlıklar TOPSIS yöntemi ile önceliği belirlenmiştir. Ilgın vd.(2021) çalışmasında, Türkiye'de imalat sanayinde Endüstri 4.0'a geçiş sürecini olumsuz etkileyen faktörleri DEMATEL ve analitik ağ süreci yöntemleri ile incelemiştir ve önemli olan fazla kaynak kullanmadan en yüksek verimliliği sağlayabilecek küçük, basit ama kesin çözümler sağlayabilmektir sonucuna varılmıştır. Kiraz vd. (2020) çalışmasında, Endüstri 4.0 ile gelişen firmaların eksikliklerini görüp hemen müdahale edebilmelerini yapısal eşitlik modeli ile incelemiştir. Endüstri 4.0 için önemli kriterler ve bu kriterlerin firma tarafından karşılanabilmeleri için gereken öncelik belirlenmiştir. Özkaya vd. (2018) çalışmasında, firmaları etkileyen faktörlerin belirlenmesi ve bunların etkilerinin anlaşılması DEMATEL yöntemi ile belirlenmiştir. Koçak vd. (2019) çalışmasında, günümüzde kendini hızlı bir şekilde hayatımıza katan ve her an gelişmekte olan nesnelerin internetinin bir firmada başarıyla uygulanabilmesi için en iyi faktörlerin AHP ve DEMATEL yöntemleri ile değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri ve en yaygın kullanılan AHP yöntemi kullanılarak karanlık üretimin tesis planlaması gözünden önceliklendirilecek kriterleri değerlendirilmek amaçlanmıştır.



## Materyal ve Metodoloji

### AHP Yönteminin Tanımı

AHP yöntemi 1970'li yıllarda Thomas L. Saaty ile geliştirilen çok kriterli karar verme ve ölçmede kullanılan bir modeldir. Zorlanmış sorunlarda karşılaşılan karmaşık çözümleri basitleştirir. AHP, önemli kriteri belirlemek için ya da birkaç alternatifi önem sırasına göre belirlemek için karar alan kişiye yardım edebilecek yöntemdir (Ceylan ve Gürsev,2020).

### AHP Uygulama Adımları

Adım-1: Uzmanların eşleştirilmiş karşılaştırmaları.

$$D_k = \begin{bmatrix} b_{11k} & \dots & b_{1nk} \\ \cdot & b_{ijk} & \cdot \\ b_{n1k} & \dots & b_{nnk} \end{bmatrix}$$

$k = 1,2,3,..,K, i = 1,2,\dots, n, j = 1,2,\dots, n$  (1)

Eşitlik 1'de  $k$  uzman sayısını ifade etmektedir.  $D_k$ ,  $k$ . uzman tarafından yapılan eşleştirilmiş karşılaştırma matrisini ifade eder.  $b_{ijk}$ ,  $i$ . kriterin  $k$ . uzmanın bakış açısıyla  $j$ . alternatifin üzerindeki etki derecesini ifade eder (Ceylan ve Gürsev, 2020).

Adım-2: Uzmanlar tarafından yapılan karşılaştırma matrislerinin geometrik ortalamasının hesaplanması.

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & d_{1n} \\ \vdots & d_{ij} & \vdots \\ d_{n1} & \dots & d_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$d_{ij} = \sqrt[k]{\prod_{k=1}^k b_{ij=1} / d_{ij}} \quad \forall i,j$$

(3)

Eşitlik 2'de gösterilen D matrisi uzman görüşlerinin geometrik ortalamasını gösterir.

Adım-3: Normalizasyon

$$r_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}^2} \quad \mathbf{V_{i,j}} \quad (4)$$

Bu adımda,  $r_{ij}$ (i. kriter ve j. Kriterinin) normalleştirilmiş matris girdilerini gösterir.

Adım-4: Ağırlıkların hesaplanması.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n r_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n r_{ij}} \quad (5)$$

Bu adımda,  $w_i$ , i. kriterin ağırlığını gösterir.

Adım-5: Tutarlık oranının hesaplanması.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (6)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (7)$$

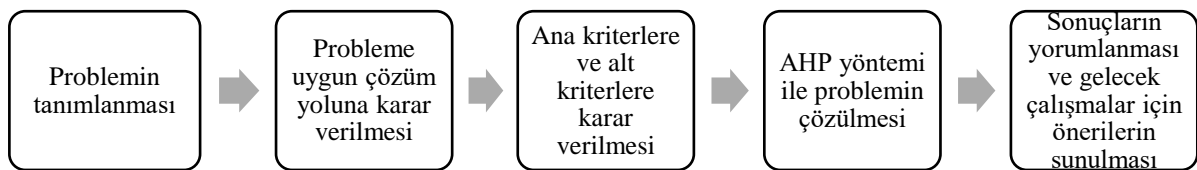
$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{j=1}^n d_{ij} w_j}{w_i} \quad (8)$$

Bu adımda,  $n$  kriter sayısını,  $CR$  ifadesi tutarlık faktörünü,  $CI$  tutarlık endeksini,  $RI$  ise kararlılık faktörünü gösterir (Ceylan ve Gürsev, 2020).

## Bulgular ve Tartışma

### Problemin Tanımlanması

Birçok firma Endüstri 4.0'a ayak uydurmaya çalışmakta ve bunun için adımlar atmakta ve yakın zamanda her ölçekten firmaların bu yeni gelişmelere ayak uydurması beklenmektedir. Bu çalışma karanlık üretime geçiş sürecinde ya da yeni bir kurulum yapmak isteyen firmalara hangi kriterin önceliğe sahip olduğu hakkında bilgi sahibi olunması için hazırlanmıştır. Çalışmanın adımları Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çalışmanın akış şeması

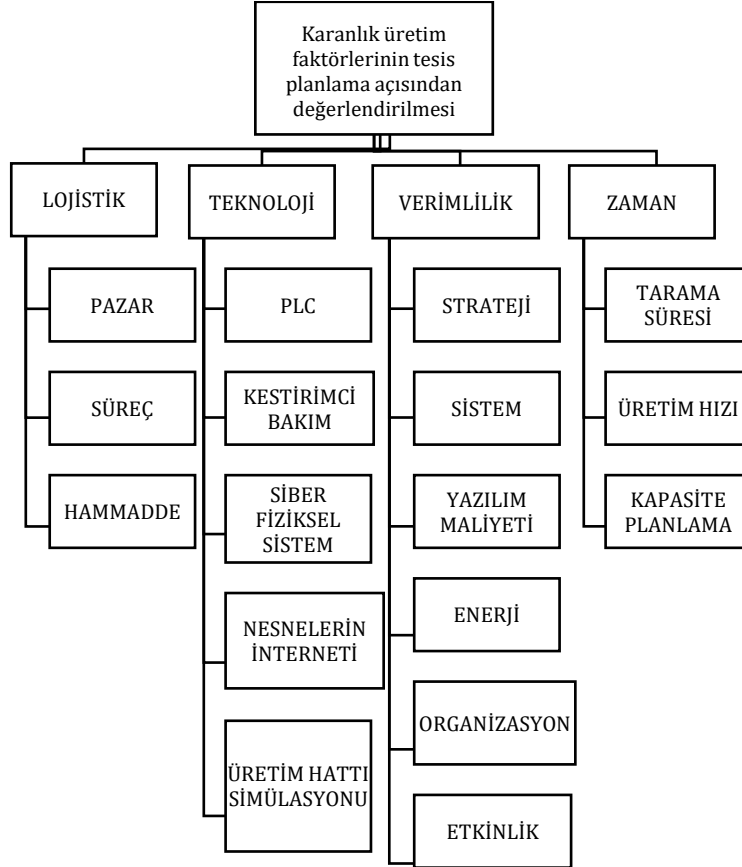
## Kriterlerin Belirlenmesi

Literatür çalışması yapılarak kriterler belirlenmiştir. Yapılan literatür araştırmasında ülkemizdeki günümüz şartlarına uygun olması ve gerçekçi bir yaklaşım ortaya koymak amacı ile ülkemiz örnekleri incelenmiştir. Elde edilen kriterler kendi aralarında 4 ana kriter ve geri kalan 17 kriterler bu 4 ana kriterin alt kriterleri olarak belirlenmiştir. Belirlenen kriterlerin tanımları ve ait olduğu ana başlık Tablo 1’de belirtilmiştir. Kriterlerin hiyerarşik yapısı Şekil 3’te gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Kriterler ve alt kriterler tanımları

ANA KRİTER	ALT KRİTER	AÇIKLAMA
LOJİSTİK (K1)	PAZAR (K11)	Mal ve hizmetin alınıp satılmasının olduğu yer (Aksakal ve Dağdeviren, 2010).
	SÜREÇ (K12)	Ürün için girdi işleminden çıktı işlemine kadar geçen süreye denir (Aksakal ve Dağdeviren, 2010).
	HAMMADDE (K13)	Bir ürün için gereken işlenmemiş maddeye denir (Aksakal ve Dağdeviren, 2010).
	PLC (K21)	Fabrikalardaki imalat hatları veya makinelerin kontrolü gibi işçilerin denetiminde kullanılan özel bilgisayar (Ceylan ve Gürsev, 2020).
TEKNOLOJİ (K2)	KESTİRİMCİ BAKIM (K22)	Malzeme israfı ve zaman harcayan bakım duruşlarına yol açmadan arızaların önüne geçilir (Yıldız, 2018).
	SİBER FİZİKSEL SİSTEM (K23)	Makineler arası bağlantı kurup iletişimin sağlanması, veri erişimine ve işlenmesi servislerinin internet ile kullanımında olduğu birlikte çalışan varlık hesaplayan sistemdir (Yıldız, 2018).
	NESNELERİN İNTERNETİ (K24)	Aygitların adresleme şemaları ile birbiriyle iletişime geçmesine ve çevresindekilerle iş birliği yapmasına izin verir (Yıldız, 2018).
	ÜRETİM HATTI SİMÜLASYONU (K25)	Sistem ya da süreçlerin modelini yapmadır (Yıldız, 2018).
	STRATEJİ (K31)	Firmanın içinde bulunduğu yerin hareketliliğine karşın, kararlılığını koruyarak varlığını sürdürebilmek için seçtiği yolu betimler (Yanık, 2021).
VERİMLİLİK (K3)	SİSTEM (K32)	Bütün birimlerin birbirini etkilediği ve bağlı olduğu, farklı bölümlerden oluşan ve belli bir planla kurulan, amaca yönelik bütüne sistem denir (Yanık, 2021).
	YAZILIM MALİYETİ (K33)	Yapımından ölümüne kadar yapılması gereken tüm harcamaları ifade eder (Yıldız vd., 2018).
	ENERJİ (K34)	Bir sistemin iş yapma kapasitesidir (Gökten, 2018).
	ORGANİZASYON (K35)	İşleri belirlemek, gruplandırmak, sorumluluk ve yetkiyi tanımlamak ve hedeflere ulaşmada insanların birlikte düzen ve verim içinde çalışmasını sağlayabilmek için ilişkiler kurma sürecine denir (Yanık, 2021).
	ETKİNLİK (K36)	Üretim süreci içinde yapılan işler (Yanık, 2021).

	TARAMA SÜRESİ (K41)	Tarama süresi genelde 1024 Byte başına işlem hızı olarak tanımlanır ve 0.1ms – 20ms arasında değişebilmektedir (Yıldız, 2018).
ZAMAN (K4)	ÜRETİM HIZI (K42)	Üretimde bir ürünün yapılması için gereken süre (Yanık, 2021).
	KAPASİTE PLANLAMA (K43)	Firmaların belirli bir süre dilimi için kullanılacak kapasiteyi tespit etmede kullanılır (Yanık, 2021).



Şekil 3. Hiyerarşik yapı

### AHP Yöntemi ile Kriterlerin Değerlendirilmesi

AHP yöntemi kriterlerin önem sıralarını bulmak için kullanılmıştır. Bu kriterlerin önem sırasını belirlemek için bu alanda uzman üç kişi ile kriter ağırlıklarını belirleyebilmek için anket yapılmıştır. Anket içerisinde, her uzman, kriterlerin yer aldığı ikili karşılaştırma matrisini doldürmüştür. İkili karşılaştırma matrislerinde 1-9 aralığında bir puanlama sistemi kullanılmıştır ve uzmanların bu sistemi baz alarak kriterler arasındaki önem derecesine karar vermeleri istenmiştir (Tablo 2) (Ceylan ve Gürsev, 2020).

**Tablo 2.** İkili karşılaştırma ölçeği

Önem Değeri	Belirteç
1	Eşit derece
3	Daha Kuvvetli
5	Kuvvetli Önemli
7	Çok Kuvvetli Önemli
9	Aşırı Derecede
2, 4, 6, 8	Önemli Ara Değerler

Uzman kişilerin kriterler için vermiş olduğu ikili karşılaştırma puanlarının geometrik ortalamaları hesaplanıp ortak bir görüş elde edilmiştir. AHP yöntemi kullanılarak kriterlerin değerleri SuperDecisions programında hesaplanmıştır.

Karanlık üretim tesisinin kurulumunu etkileyen ana ve alt kriterlerin önem sırası gösterilmiştir. İkili karşılaştırma matrisleri için tutarlılık oranı (CR) uygulanır. Tutarlılık oranı için önerilen üst sınır 0,10'dur. Tutarlılık oranı değerinin 0,10'un altında olması karar vericinin yeterli bir tutarlılık sergilediği ve değerlendirmenin devam edilebileceği anlamına gelir. Ama, bu oran 0,10'un üzerinde olması karar vericinin ikili karşılaştırma matrislerinde tutarsız olduğu anlamına gelir (Ceylan ve Gürsev, 2020). Bu çalışmada yapılan ikili karşılaştırma matrisi için hesaplanan CR değeri 0,10 altında çıkmıştır. Bu nedenle elde edilen sonuçların tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Inconsistency: 0.06020		
LOJİSTİK		0.37993
TEKNOLOJİ		0.42646
VERİMLİLİK		0.12354
ZAMAN		0.07006

**Şekil 4.** Ana kriterlerinin önem değerleri

Ana kriterleri kendi aralarında karşılaştırıldığı zaman en önemli kriter teknoloji çıkmıştır. Bu kriteri sırasıyla Lojistik, Verimlilik ve Zaman kriterleri takip etmektedir. Günümüzde teknoloji hızla ilerlemektedir (Şekil 4). Karanlık üretim teknolojik gelişmeler üzerine kurulduğu için en önemli kriterin teknoloji çıkması beklenen bir sonuçtur. Karanlık üretim tesislerinin içinde teknoloji kullanımı gelecek yıllarda çok önemli bir kriter olacaktır.

Inconsistency: 0.07559		
KESTİRİMC~		0.22089
NESNELERİ~		0.15949
PLC		0.25641
SİBER FİZ~		0.31389
ÜRETİM HA~		0.04932

**Şekil 5.** Teknoloji kriterinin alt kriterlerinin önem değerleri

Teknoloji ana kriteri en önemli kriter olduğu için ilk olarak teknolojinin alt kriterlerine bakılmalıdır. Alt kriterlerinden en önemlisi Siber Fiziksel Sistem, bu kriteri sırasıyla PLC, Kestirimci Bakım, Nesnelerin İnterneti, Üretim Hattı Simülasyonu alt kriterleri takip etmektedir (Şekil 5).

Siber fiziksel sistem fabrikalardan başlayarak tüm değer zincirinin eş zamanlı olarak iletişim kurabilmesini sağlamaktadır, bu da karanlık üretim tesisinin içindeki makineler ve diğer dijital aletlerin kolayca iletişimini sağlayacağı için en önemli kriter çıkması beklenebilir bir sonuçtur.

Inconsistency: 0.09040		
HAMMADDE		0.09888
PAZAR		0.53682
SÜREÇ		0.36429

Şekil 6. Lojistik kriterinin alt kriterlerinin önem değerleri

Lojistik ana kriterinin alt kriterlerinin karşılaştırmalardan en önemli kriter Pazar olduğu görülmüştür. Pazar alt kriterini Süreç, Hammadde alt kriterleri sırasıyla takip etmektedir (Şekil 6).

Lojistik ana kriteri için pazar alt kriterinin önemli olması beklenen bir sonuçtur. Çünkü pazara ulaşımın hızlı ve sorunsuz olmalıdır.

Inconsistency: 0.05340		
ENERJİ		0.17735
ETKİNLİK		0.06955
ORGANİZAS-		0.05373
SİSTEM		0.21492
STRATEJİ		0.31878
YAZILIM M-		0.16566

Şekil 7. Verimlilik kriterinin alt kriterlerinin önem değerleri

Verimlilik kriterinin en önemli alt kriteri stratejidir. Stratejiyi sırasıyla Sistem, Enerji, Yazılım, Etkinlik, Organizasyon kriterleri önemli gelmektedir (Şekil 7).

Verimlilik için stratejinin iyi yapılmış olması önemlidir. Çünkü bir şirket ilk önce stratejisini belirlemelidir.

Inconsistency: 0.05156		
KAPASİTE ~		0.25992
TARAMA SÜ-		0.32748
ÜRETİM HI-		0.41260

Şekil 8. Zaman ana kriterinin alt kriterlerinin önem değerleri

Zaman kriterinin alt kriterleri arasında en önemli kriter Üretim Hızı çıkmıştır. Üretim hızını sırasıyla Tarama Süresi, Kapasite Planlama kriterleri takip etmektedir (Şekil 8).

Zaman kriteri için en önemli alt kriterin üretim hızı çıkması tahmin edilebilen bir sonuçtur. Çünkü üretim hızı süresinin hesaplanması herhangi bir durma ya da yavaşlamada üretimin aksamasına olumsuz sonuçlar getirebileceği için önemlidir.

## Sonuç ve Öneriler

Günümüzde firmalar rekabet ortamında yerlerini koruyup, yükselebilmek için Endüstri 4.0 teknolojilerinden yardım almayı hedefleyip; maliyetlerini, üretim hızlarını, kaliteli ürün gibi önemli işlevleri için iyileştirme yapmayı hedeflemektedir. Karanlık üretim de aslında bu firmaların istediği özellikleri taşımaktadır ama firmalar yeni bir süreç olan karanlık üretimin tam olarak ne olduğunu bilemiyorlar. Karanlık üretim insansız bir şekilde üretim yapan üretim şeklidir, şu an tamamen insansız üretim pek mümkün olmasa da ilerleyen yıllarda bununda gerçekleşeceği tahmin etmek zor değil. Herhangi bir firma karanlık üretim sürecini ne kadar hızlı benimseyip, kendi iş süreçlerinde kullanmayı hedef haline getirirlerse, o derecede rekabet ortamında varlıklarını koruyup yükselebilirler. Bu çalışma herhangi bir firmanın karanlık üretim hakkında merak ettiklerini bulabileceğini, tesis planlamasında nelere önem vereceklerini, nasıl bir plan oluşturacaklarını göstermeyi hedeflemiştir. Bu konuyla ilgili yeni bir çalışma yapacak olan kişilerin referans alabileceği bir kaynak olarak görülmesi amaçlanmıştır. Çalışma genel olarak karanlık üretimin detaylı anlatımı ve tesis planlaması için kriterlerin belirlenip önem değerlerini bulmayı içermektedir.

Bu çalışmada karanlık üretim tesisinin kurulumu için konuyla alakalı literatür taraması yapılmıştır. Yapılan literatür araştırmasında günümüz şartlarına uygun olması amacı ile ülkemiz örnekleri incelenmiştir. Bu literatür taramasından elde edilen bilgilerle Teknoloji, Lojistik, Verimlilik Ve Zaman ana kriterleri ve Pazar, Süreç, Hammadde, PLC, Kestirimci Bakım, Siber Fiziksel Sistem, Nesnelerin İnterneti, Üretim Hattı Simülasyonu, Strateji, Sistem, Yazılım Maliyeti, Enerji, Organizasyon, Etkinlik, Tarama Süresi, Üretim Hızı, Kapasite Planlama alt kriterleri olmak üzere 21 kriter belirlenmiştir. Çalışmada ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP yöntemi ile kriterlerin önem değerlerini belirlemek amaçlanarak yöntemi uygulayabilmek için üç uzmanın görüşleri alınmıştır. Sonuç olarak en önemli ana kriter %43 ile Teknoloji kriteri çıkmıştır ve %7 ile en son sırada yer alan zaman kriteridir.

Karanlık üretim tesisi kurulumu yapılırken ilk önce teknoloji üzerine yoğunlaşılması önerilmektedir hatta teknolojinin alt kriterlerinden yardım alınmalı ve alt kriterlerin önem sırasına göre bir yöntem planlanmalıdır. Teknoloji kriterinin alt kriterlerinin önem sırası Siber Fiziksel Sistem, PLC, Kestirimci Bakım, Nesnelerin İnterneti, Üretim Hattı Simülasyonu çıkmıştır. Elde edilen önem sırasını örnek olarak bir plan oluşturulabilir. Bulunan teknoloji kriterinin önemi ve alt kriterleri Yıldız (2018)'de de üzerinde durup detaylı anlatım yapmıştır (Yıldız, 2018). Teknoloji kriterinin üzerine durulduktan sonra %38 ile ikinci önemli kriter olan Lojistik kriterini de bu plana dahil etmek mümkündür. Bu kriterden sonra Verimlilik ve Zaman kriterleri de isteğe bağlı olarak plana dahil edilebilir.

Karanlık üretim sürekli üretim ve karma üretim sistemlerine daha kolay uygulanabilir. Karanlık üretimi bir firmaya uygulamak istediğimizde, fabrikanın üretim şekline, makinelerin yapay zekâ ve siber fiziksel sistemler gibi kavramlara elverişli olup olmadığına ve firmanın karanlık üretim için üretim hattına bakılabilir. Fabrikanın, eksiklikleri belirlendikten sonra önem sırasına düzenlenir. Önem sırasında diyelim ki teknoloji alanında bu fabrikanın alt yapısı yok bunun için gerekli işlemler

başlatılır bunlar yazılım uzmanları ile görüşme yapıp nelerin yapılması gerektiği belirlenip bunun en kısa sürede çözülmesi, alt yapıyı yükseltebilecek bu alanda eğer varsa alım gücünü arttırma gibi şeyler yapılabilir.

Yapılan çalışma Endüstri 4.0 ya da karanlık üretime geçiş yapacak ya da yeni bir kurulum yapacak firmalara örnek teşkil etmesi düşünülmüştür. Firmalar bu çalışmayı kendi yapısına göre tekrardan değerlendirip kendi eksikliklerini belirleyip bunun üzerinden bir süreç oluşturabilirler. Örnek verilecek olursa; bu çalışmada en önemli iki ana kriter Teknoloji ve Lojistikdir. Bu çalışmayı örnek olarak inceleyecek olan herhangi bir firmada teknoloji olarak son teknoloji kullanıldığı için önem verilmesi gereken Lojistik kriteri ve Verimlilik kriteri olabilir.

Bunun yanı sıra gelecekte AHP yönteminden farklı olarak diğer çok kriterli karar verme yöntemleri ele alınarak çalışmanın geliştirilmesi sağlanabilir ve sonuçlar karşılaştırılarak yorumlanabilir. Yapılan bu pilot çalışmanın sonrasında belirlenen kriter ağırlıkları ile diğer ÇKKV yöntemlerinin uygulanması ile daha detaylı sonuçlar çıkarılması ileriki çalışmalarda faydalı olacaktır. Ayrıca ileriki çalışmalarda ülkemiz dışında yapılan çalışmalar da incelenerek hiyerarşik yapı genişletilerek daha yararlı sonuçlar elde edilebilir.

#### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

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

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

#### **Kaynaklar**

- Aksakal E., Dağdeviren M. ANP ve Dematel yöntemleri ile personel seçimi problemine bütünlük bir yaklaşım. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi 2010; 25(4): 905-913.
- Balkan D. Endüstri 4.0 sürecinde Electre yöntemi ile enerji tesis yer seçiminin gerçekleştirilmesi. NÖHÜ Mühendislik Bilim. Dergisi 2020; 9(1): 238-253.
- Ceylan Z., Gürsev S. AHP ve TOPSIS yöntemleri ile bilgi teknolojileri projelerinde scrum-kanban-şelale uygulamaları karşılaştırması. Bilişim Teknolojileri Dergisi 2020; 13(3): 329-339.
- Çakır N. Endüstri 4.0 ve çalışmanın geleceği. Electronic Journal of Vocational Colleges 2018; 8(2): 97-105.
- Gökten P. Karanlıkta üretim: yeniçağda maliyetin kapsamı. Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi 2018; 20(4): 880-897.
- İlgın M.,Urkan B., Kurtul E. Türk imalat sanayinin endüstri 4.0'a geçiş sürecini olumsuz etkileyen faktörlerin kalite evi ve çok kriterli karar verme teknikleri ile analizi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 2021; 21: 591-599.



- Khatwani G, Kar AK. Improving the cosine consistency index for the analytic hierarchy process for solving multi-criteria decision making problems. *Applied Computing and Informatics* 2017; 13(2): 118-129.
- Kiraz A., Canpolat O., Özkurt C., Taşkın H., Sarp E. Endüstri 4.0'ı etkileyen kriterlerin yapısal eşitlik modeli ile incelenmesi ve bir pilot çalışması. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 2020; 35(4): 2183-2196.
- Koçak A., Diyadin A. Sanayi 4.0 geçiş süreçlerinde kritik başarı faktörlerinin dematel yöntemi ile değerlendirilmesi. *Ege Akademik Bakış* 2018; 18(1): 107-120.
- Lee NK. Total automation: the possibility of lights-out manufacturing in the near future. *Missouri S&T's Peer to Peer* 2018; 2(1): 1-12.
- Oğrak Z., Şık A. Plastik üretiminin endüstri 4.0'da örnek vaka uygulaması üzerinden incelenmesi. *Tykh* 2020; 5(8): 35-57.
- Özkaya A., Gür Ş., Eren T. Endüstri 4.0'a geçiş sürecinin analitik ağ süreci ile değerlendirilmesi. *Ticari Bilimler Fakültesi Dergisi* 2019; 3(2): 59.
- Russel III RS., Taylor III V. BW (2003). *Operations Management*, 4. Baskı.
- Saçak R., Gür Ş., Eren T. AHP ve Dematel yöntemleri ile nesnelerin internetinin işletmelerde yapılan uygulamalarının analizi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2019; 8(2): 82-95.
- Uslu B., Gür Ş., Eren T. Endüstri 4.0 uygulaması için stratejik ASS ve Topsis yöntemleri ile değerlendirilmesi. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B- Teorik Bilimler* 2019; 7(1): 13-28.
- Yanık S. Tesis planlama. *Ders Notları*, İstanbul 2021.
- Yıldız A. Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2018; 22(2): 546-556.
- Yıldız A., Ergül E., Gezeğin C., Dirik H. Akıllı depolar için PLC ünitelerinin bulanık Topsis yöntemiyle değerlendirilmesi. *III. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi* 2018.

## Fırçasız DC Motor Sürücülü Solar FV-Batarya tabanlı Hibrit Su Pompalama Sisteminin Modellenmesi ve Optimizasyonu

Hale BAKIR<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Sivas

<sup>1</sup><https://orcid.org/000-0001-5580-0505>

\*Sorumlu yazar: halebakir@cumhuriyet.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 02.12.2022

Kabul tarihi:02.07.2023

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Hibrit su pompa sistemi

SFV-batarya

Fırçasız DC motor

Çift yönlü kontrol

Genetik algoritma

### ÖZ

Bu makale, sürekli ve tam hacimli su dağıtımını elde etmek için solar fotovoltaik (SFV) dizisi ve batarya deposuyla çalışan fırçasız DC (fırçasız DC motorlu su pompası) ile elde edilen SFV batarya tabanlı hibrit su pompalama sisteminin modellenmesini ve optimizasyon kontrolünü sunar. Su dağıtımının gerekli olmadığı durumlarda, SFV dizisi tarafından şarj edilir. Böylece batarya şarjı için harici güç kullanılmaz. Çift yönlü şarj kontrolü, bir buck-boost DC-DC dönüştürücü aracılığıyla batarya çalışma modunun otomatik olarak değiştirilmesine izin verir. Fırçasız DC motoru sürekli olarak nominal hızında ve yükünde çalıştırılır. MATLAB/SIMULINK platformunda önerilen su pompalamasının performans analizleri yapılmıştır. Optimizasyon yaklaşımı, genetik algoritma (GA) ile yapılmıştır ve sönümlenme katsayısı ile belirlenen geleneksel kontrol yöntemiyle karşılaştırılmıştır. İşlem, çift yönlü dönüştürücüde batarya kontrolü ve dc-link voltaj kontrolüne sahip bir kontrol sistemi içerir. Optimizasyon tekniği bir maliyet fonksiyonu minimize ederek, eş zamanlı iki PI kontrol edicisinin dört parametresini ayarlamak için kullanılır. Karşılaştırmalı analizler sonucunda, GA tekniğinin aşma ve oturma süresini en aza indirmede daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

## Modeling and Optimization of Solar PV-Battery based Hybrid Water Pumping System with BLDC Motor Drive

### Research Article

#### Article History:

Received: 02.12.2022

Accepted: 02.07.2023

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

Hybrid water pumping system

SPV-battery

Brushless DC motor

Bi-directional control

Genetic algorithm

### ABSTRACT

This article presents the modeling and optimization control of SPV battery-based hybrid water pumping system achieved by solar photovoltaic (SPV) array and battery bank powered brushless DC (brushless DC motor water pump) to achieve continuous and full volume water delivery. Where water delivery is not required, it is charged by the SPV array. Thus, no external power is used for battery charging. Bidirectional charge control allows automatic switching of battery operating mode via a buck-boost DC-DC converter. The brushless DC motor is operated continuously at its rated speed and load. Performance analyzes of the proposed water pumping were made on the MATLAB/SIMULINK platformThe optimization approach was made with genetic algorithm (GA) and compared with the traditional control method determined by the damping coefficient. The process includes a control system with battery control and dc-link voltage control on the bidirectional converter. The optimization technique is used to set four parameter of two PI control parameters simultaneously, minimizing a cost function. As a result of the comparative analysis, it was seen that the GA technique gave better

## 1. Giriş

Solar fotovoltaik (SFV) ile çalışan su pompalamasında fırçasız DC (fırçasız DC motor sürücüsü), yüksek verimli, bakımı ve sürmesi kolay ve kompakt (Kumar ve Sing, 2016; Sing ve Kumar, 2016) olduğu için son zamanlarda daha fazla dikkat çekmiştir. Kesintili yapısı nedeniyle SFV, güvenilir olmayan ve kesintili su pompalamasına neden olur. Kötü iklim koşullarında ve güneş ışığının olmadığı durumlarda (gece) tüm su pompalama sisteminin durmasına neden olur. Ayrıca, su pompalamasının gerekli olmadığı yerlerde FV kurulumu ve diğer kaynaklar kullanılmaz. Bu sıkıntılı durumlardan dolayı sürekli olarak tam su dağıtımını isteniyorsa harici güç kaynağı gerekir. Uzak yerlerde, bir dizel jeneratör genellikle besleme için yedek olarak kullanılır (Kumar ve Singh, 2016; Kar ve ark., 2022). Son zamanlarda kirlilikten arındırılmış bir çevre sürdürmek ve enerji güvenliğine yönelik tehditleri azaltmak için bir dizel jeneratör kullanılmamalıdır. Güç yedeği olarak geriye kalan tek çözüm, bir batarya deposu kullanmaktır. Batarya ile çalışan bir SFV hibrit güç kaynağı, güvenilir bir su pompalama sistemi sağlar (Kumar ve Singh, 2016).

Bununla birlikte, artan elektrik talebi ile birlikte enerji tasarrufu ciddi bir sorun haline gelmiştir. BLDC motorlar, asenkron motorlara göre yüksek verim, yüksek güç yoğunluğu, yüksek tork/atalet oranı ve yüksek güç faktörü ile enerji verimli motorlar olarak kritik bir rol oynamaktadır (Kar ve ark., 2022). Bu motor, su pompalama dahil birçok uygulamada asenkron motorun yerini alır. Son çalışmalarda, SFV dizi beslemeli su pompalama sistemi için uygun maliyetli, basit ve verimli fırçasız DC motor sürücüsü önermektedir. Bir zeta dönüştürücü gibi dönüştürücü modelleri, SFV dizisinden (Kumar ve Singh, 2016) maksimum kullanılabilir gücü çıkarmak için kullanılır ve ayrıca çıkıntıyı minimum anahtarlama kayıplarıyla artıran pozitif serpiştirilmiş bir Luo dönüştürücü (I-Luo) kullanılır (Jegha ve ark., 2020). Matlab/Simulink 'de yapılan çalışmalar dinamik ve kararlı durumdaki su pompalamasının verimli bir şekilde çalıştığını gösteren farklı çalışma koşulları altında incelenmesi devam etmektedir (Kumar ve ark., 2020). Fırçasız DC motoru, FV dizisi tarafından iletilen gücü maksimize etmek ve pompalama sisteminin güvenilirliğini artırmak için kullanılır (Ammar ve ark., 2022). Güneş enerjili su pompalamanın etkili tasarımı, kontrolü ve daha iyi performansı için uygun FV teknikleri, pompalar, motorlar ve uygun optimizasyon algoritmalarının araştırmacılara faydalı olduğu çalışmalarda görülmektedir (Muralidhar ve Rajasekar, 2021).

Bu çalışmada, bir batarya deposunu şarj etmek/deşarj etmek için bir güç akışı kontrolü, çift yönlü yükseltici dönüştürücü kullanılmıştır (Ding ve ark., 2010; Khiareddine ve ark., 2015). Kontrol, SFV güç ve su talebinin mevcudiyetine göre bataryanın şarj/deşarj edilmesi gerekip gerekmediğine bağlıdır. Batarya, gece su pompalanması gerektiğinde veya gün boyunca tam hacimde su çıkışı olduğunda boşalır. Diğer taraftan; bir SFV gücü olduğunda, batarya yalnızca şarj edilir. Su pompası için gereken tüm güç SFV dizisinden sağlandığı durumda, su pompalamak için bataryaya ihtiyaç duyulmaz. Önerilen sistem, batarya için bir şarj kaynağı, bir SFV dizisi olarak işlev görür ve harici bir güç

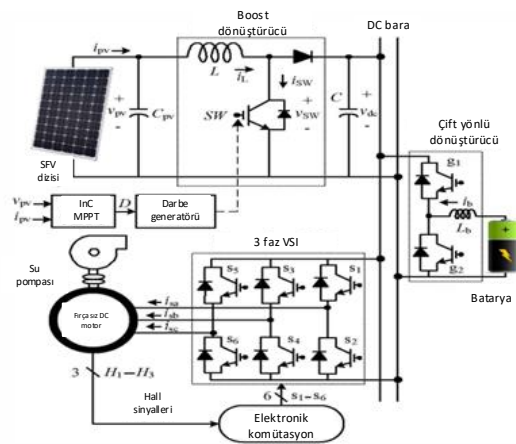
kaynağı gerekli değildir. Bu durumda hem motor pompa sisteminden hem de FV kurulumundan tam fayda sağlanır. Çift yönlü güç akışı, gerilim kaynağı invertörünün (VSI) DC barasına yerleştirilmiş ortak bir kapasitör aracılığıyla çift yönlü güç akışı sağlar. VSI'nin DC bağlantı gerilimi, fırçasız DC motor pompasının hızı nominal değerinde tutulacak şekilde düzenlenir. Ancak geleneksel oransal-integral (PI) denetleyici ile elde edilen kazanç sabitleri ile kontrolde tam oranlı kontrol sağlanamamakta, optimizasyon algoritması eklenerek tam nominal değerde tutulmakta, optimizasyon tekniği ile sabit değerde tutulmaktadır. Batarya akım değerinin kontrol edildiği PI kontrolör ve aynı anda DC-link voltajının kontrol edildiği PI kontrolör ile sağlanır. Bu uygulama suyun tam verimde ve kapasitede pompalanmasını sağlar (Kumar ve Singh, 2016).

Bu makale, SFV-batarya tabanlı hibrit güç kaynağına dayalı bir fırçasız DC motorlu pompalama sisteminin modellenmesini ve hibrit bir sistemin eş zamanlı optimizasyonunu önermektedir.

## 2. Materyal ve Metot

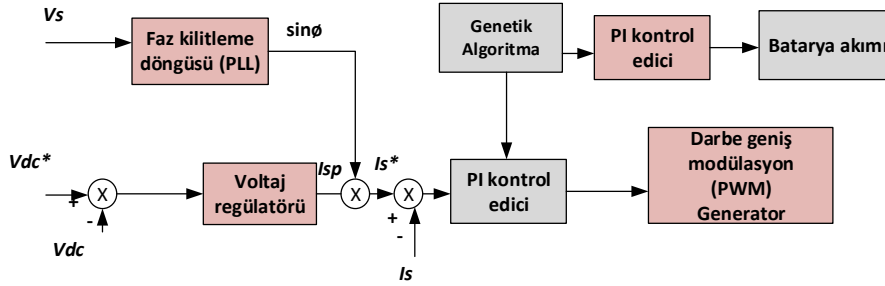
### SFV-batarya tabanlı hibrit su pompalama sistemi

Modellenmiş ve optimize edilmiş hibrit su pompalama sisteminin konfigürasyonu Şekil 1'de gösterilmektedir. Bir SFV dizisi yoluyla ve çift yönlü bir buck boost dönüştürücü ile bir batarya depolama, ortak bir DC bara oluşturur. Bu ortak DC veri yolu, bir VSI aracılığıyla bir fırçasız DC motor pompasına güç sağlar. DC-DC yükseltici dönüştürücü aracılığıyla SFV dizisinin maksimum güç noktasını (MPPT) gerçekleştirmek için artımlı bir iletkenlik (InC) tekniği kullanılır. Bir buck-boost dönüştürücü, batarya için bir şarj kontrolörü görevi görür. Dönüştürücü, yükseltici dönüştürücü görevi görür (batarya boşaldığında) ve batarya, ortak DC barasını besler. Bir VSI, fırçasız DC motorunun elektronik komütasyonunu gerçekleştirir. Komütasyon (Kumar ve Singh, 2016) için Hall sinyalleri üretmek üzere üç dahili Hall Etkisi sensörü ile fırçasız DC motorun miline bir santrifüj su pompası bağlanmıştır. Temel bir FV sistemi dört bölümden oluşur: FV dizisi, güç regülatörü, depolama sistemi ve FV invertörüdür.



Şekil 1. SFV batarya tabanlı hibrit su pompalama sistemi

Fırçasız DC motorunun başlangıç stator akımının büyüklüğü, önceden tanımlanmış bir süre boyunca VSI'nin darbe genişliği modülasyonu (PWM) modunda çalıştırılmasıyla kontrol edilir. Tekrar; motor çalıştırıldığında; VSI, minimum anahtarlama kaybı ve iyileştirilmiş dönüşüm verimliliği sağlayan temel frekans darbeleri tarafından çalıştırılır. Fırçasız DC motor sürücülü SFV batarya tabanlı hibrit pompalama sistemi MATLAB/SIMULINK platformunda simüle edilmiş ve çift yönlü dönüştürücü kısmındaki dc link gerilimi ve batarya akımı PI denetleyicilerine optimizasyon uygulanmıştır. İddiaları kanıtlamak için ise simülasyon sonuçları üzerinden geleneksel yöntem ve genetik algoritma (GA) ile karşılaştırma yapılmış ve GA algoritmasının etkinliği değerlendirilmiştir. İstenen sonuçlar için önerilen su pompalama sistemine çeşitli kontrol teknikleri uygulanmıştır. Bir SFV hücresinin dönüştürme verimliliği %20'den azdır. Etkili bir MPPT'nin olmaması, oldukça verimsiz güneş enerjisi üretimine yol açar. Kurulu FV dizisinden en iyi şekilde yararlanmak için, dinamik koşullar altında mükemmel izleme performansı nedeniyle InC en popüler tekniktir (Kumar ve Singh, 2016; Elgendy ve ark., 2016). Önerilen sistem, kontrol parametresi olarak seçilen görev oranı, güç eğimine göre sabit bir distorsiyon boyutu ve oranı ile bu tekniği de bozmaktadır. DC bara akümülatörü arasındaki çift yönlü güç aktarımı Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu, çift yönlü bir güç akışı kontrolü kullanan bir DC-DC yükseltici dönüştürücü (Ding ve ark., 2010; Khiareddine ve ark.,2015) aracılığıyla elde edilir. DC bara gerilimi;  $V_{dc}$ , fırçasız DC motorun anma DC geriliminde, yani bir voltaj regülatörü tarafından 110 V'ta düzenlenir. Bataryanın şarj/deşarj akımı;  $I_b$ , bir akım regülatörü tarafından kontrol edilir. Akım ve voltaj regülatörü olarak bir PI kontrolörü kullanılır ve regülatöre karşılık gelen görev oranını ve dönüştürücüyü daha da artırmak için bir PWM darbesine dönüştürülür.



Şekil 2. Çift yönlü şarj kontrolörü

### Fırçasız DC Motorun Elektronik Komütasyonu

Elektronik komütasyon, fırçasız DC motorun sargılarından VSI'nin DC barasından 1200 V için simetrik bir doğru gerilim çekilmesi ve ters EMF'nin (Elektro-Motif Kuvvet) ortasına yerleştirilecek şekilde elektronik komütasyonu ifade eder (Kumar ve Singh,2016; Sing ve Kumar,2016). Üç dahili Hall Etkisi sensörü, 60°'lik bir aralıkta rotor konumuna bağlı olarak Hall sinyallerinin özel bir kombinasyonunu üretir.

Fırçasız DC motorunun hızı, VSI'nin DC bara geriliminin fırçasız DC motorun nominal DC geriliminde düzenlenmesiyle kontrol edilir. Çift yönlü bir güç akışı kontrolü şunları sağlar: DC bara

voltajını ve dolayısıyla çalışma hızını düzenleyerek; tam verimde su pompalamak için gereken gücün tam miktarını sağlar. (Sigarchian ve ark.,2016) tarafından önerilen fırçasız DC motor sürücüsü, faz akım sensörlerini ortadan kaldırarak basit ve uygun maliyetli kontrol sağlar.

### **Genetik algoritma (GA) tekniği**

GA'lar, bir amaç fonksiyonunu formüle etmek için gerekli olan global optimizasyon teknikleridir. PI parametrelerini ayarlamak için bir GA uygulanır.

Geniş bir çalışma koşulları aralığında tüm modlar için kabul edilebilir bir sönümleme elde etmek için optimum konumu elde etmenin yanı sıra stabilizatör sayısını azaltır. 0,05 s değerindeki minimum sönümleme oranı, küçük bir güvenlik marjı sağlar (Bakir ve ark.,2020). Önerilen tekniğin bir akış şeması Şekil 3'de gösterilmektedir ve aşağıdaki adımlarla açıklanabilir.

1. Kromozom popülasyonu oluştur: PI parametrelerini ve konum indeksini temsil edecek popülasyon tipini seçilir. Her PI'nin iki parametresi vardır ( $K_p$ ,  $K_i$ ). Bir dizi PI'a sahip her kapalı döngü sistemi için bir konum indeksi belirtilir. Değişkenlerin üst ve alt sınırları da belirtilir.

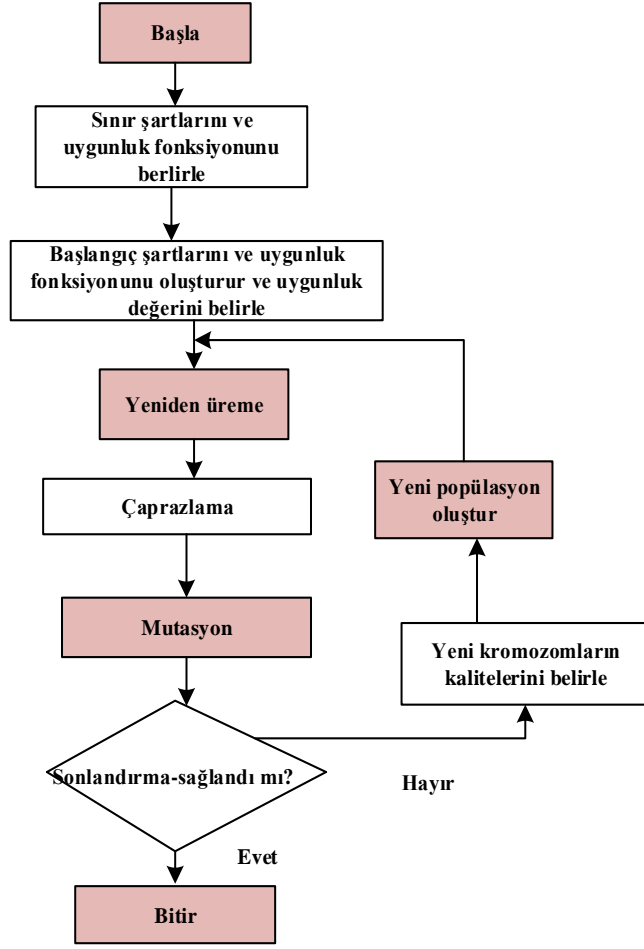
2. Amaç fonksiyonları: PI'ların parametreleri, konumları ve sayıları, bir maliyet fonksiyonunu minimize etmek için kullanılır  $f(x)$ ,

$$\min f(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots \dots f_N(x)] \quad [1]$$

Burada  $f(x)$ , PI'nin işlevi temsil eder ve  $N$ , sistemdeki bir iterasyon sayısıdır.

$f(x)$  bir kısıtlama sınırına tabidir, alt ( $l_b$ ) ve üst sınırları ( $u_b$ ) vardır.

$$l_b \leq x_i \leq u_b \quad [2]$$



Şekil 3. Genetik algoritma akış şeması

Aşağıdaki parametreler kullanılarak gerçekleştirilen GA tekniği (Bakir ve ark.,2021)'de detaylandırılmıştır.

Değişken sayısı: 4

İterasyon sayısı (N): 100

Popülasyon büyüklüğü: 50

Mutasyon oranı: 0,01

Geçiş oranı: 0,8

Geleneksel PI kontrolü doğal frekansını ( $\omega_n$ ) ve parametrelerini ( $K_p$ ,  $K_i$ ) değerlendirmek için oturma süresini ( $t_s$ ) ve sönümlenme katsayısını ( $\varepsilon$ ) seçerek ikinci dereceden bir sistem yanıtına dayanır (Bakir ve ark., 2020; Bakir ve ark., 2021).

Bir adım yanıtı için sönümlenme katsayısının, doğal frekansın ve oturma süresinin seçilen değerlerini kullanır. Kontrol parametreleri ifadeleri aşağıdaki denklemler kullanılarak elde edilir,

$$w_n = \frac{4.6}{t_s * \varepsilon} \quad [3]$$

$$K_p = \frac{2\varepsilon w_n}{v_{max}} \quad [4]$$

$$K_i = \frac{w_n^2}{v_{max}} \quad [5]$$

Optimizasyon için performans kriterleri; Bu çalışmada optimizasyon algoritmaları için performans kriteri olarak zaman ağırlıklı integral kare hatası (ITSE) ve integral kare hatası (ISE) kullanılmıştır.

Performans kriterlerinin ifadeleri şu şekilde verilir,

$$ITSE = \int_0^{\infty} t e^2(t) dt \quad [6]$$

Optimizasyon hedefi, izleme hatalarını ( $e_v$ ,  $e_b$ ) en aza indirmek için PI kontrol parametrelerini ayarlamaktır. Ağırlık faktörü  $w$  ile amaç fonksiyonu, aşağıdaki gibi ITSE performans kriteri kullanılarak tanımlanır,

$$F(X) = [w] \begin{bmatrix} \int_0^T t e_v^2 dt \\ \int_0^T t e_b^2 dt \end{bmatrix} \quad [7]$$

**Tablo 1.** Optimizasyon sonuçları

Performans testleri	Kazanç parametreleri	GA optimizasyon tekniği sonuçları
ITSE	DC-link voltajı PI kontrolü ( $K_{p1} - K_{i1}$ )	0,9674-0,3701
	Batarya akımı PI kontrolü ( $K_{p2} - K_{i2}$ )	0,3350-0,8347
ISE	DC-link voltaj PI kontrolü ( $K_{p1} - K_{i1}$ )	0,9961-0,0056
	Batarya akımı PI kontrolü ( $K_{p2} - K_{i2}$ )	0,9756-0,8414

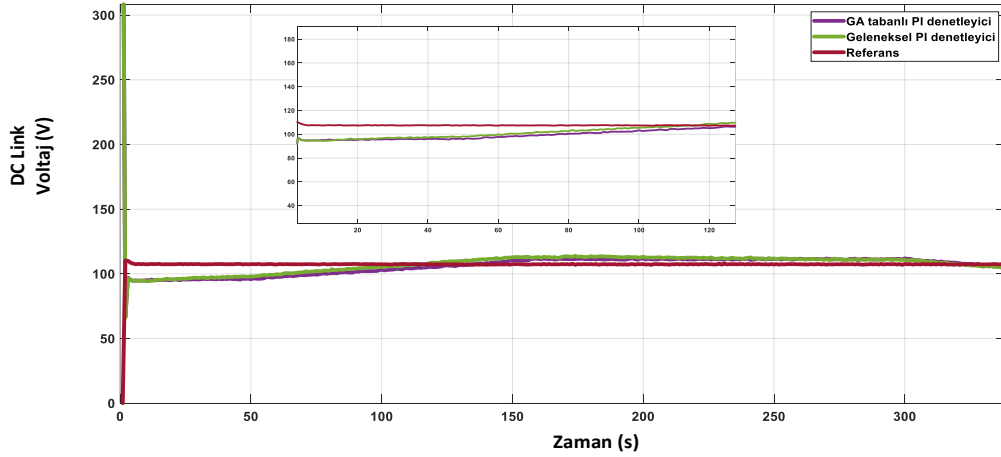
### Sonuçlar ve Tartışma

Önerilen hibrit su pompalama sisteminin modellenmesi, optimizasyonu ve performans analizi MATLAB/Simulink araç kutuları kullanılarak yapılmıştır. 1,92 kW pik güç ve 72 V SFV dizisinden oluşan hibrit üretim ünitesi; 300 Ah kurşun-asit batarya 110V,5,2 Nm fırçasız DC motor pompasını 2500 dev/dk'da beslenmektedir. ISE, ITSE performans testleri kullanılarak GA optimizasyon yöntemi uygulanmıştır, iterasyon sayısı 100 alınmıştır. Sönümlenme katsayısı ile bulunan geleneksel yöntemler ile elde edilen parametreler ile GA algoritması ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Optimizasyon, Radeon Graphics 2,90 GHz ile AMD Ryzen 7 4800H işlemcili bir bilgisayarda yapılmıştır. Optimizasyon sonucunda elde edilen parametreler Tablo 1'de verilmiştir. Ortalama hata tespit kriterleri açısından değerlendirildiğinde, GA'nın performansı geleneksel yöntem ile bulunan kazanç parametrelerine göre daha etkili olmuş, daha etkin bir kontrol sağlamıştır. Optimizasyon yönteminde kullanılan SFV-bataryalı su pompası sistem modeli 2500 dev/dk sabit devirde olacak şekilde sabit bir rotor hızında çalıştırılmıştır. Çalışmanın amacı, referans geçişlerde optimizasyon yöntemi için kontrol performansını belirlemektir. DC link voltajı ve batarya akımı için tanımlanmış referansları izlemek kontrolün amacıdır. Şekil 4, izleme yanıtlarının sonuçlarını göstermektedir. GA tabanlı PI kontrol edicinin cevabı, daha iyi oturma süresi ile düşük aşma ile sönümlenirken, geleneksel tabanlı PI kontrolünün dc link voltaj değerinin sabit tutulmasında, Şekil 4 (a)'da belirli bir aşma ile yetersiz sönümlenmiştir. Şekil 4(a)'da Simulink'te yapılan dinamik analizler sonucunda, geleneksel

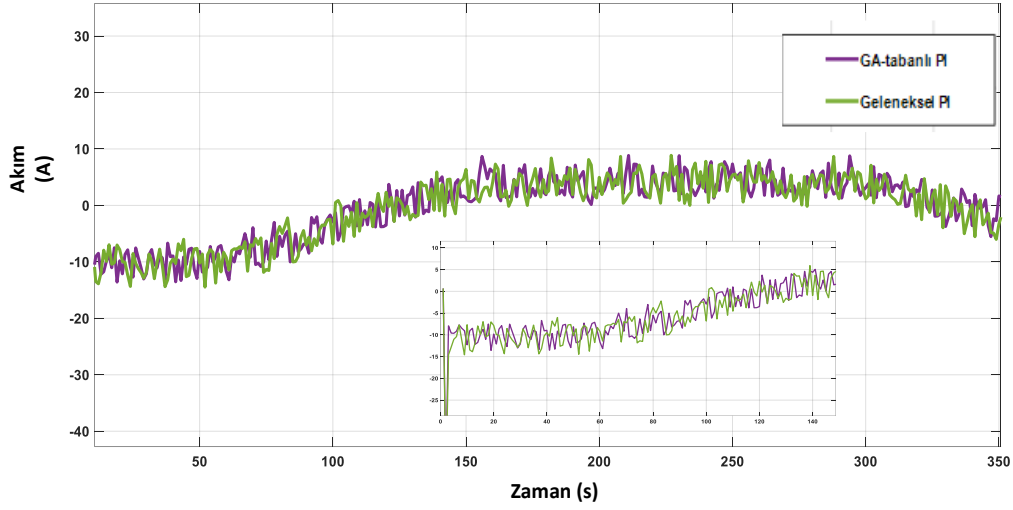


yöntem ile belirlenen PI parametreleri ile sağlanan dc-link gerilim kontrolünde aşma değeri (overshoot) %8,9 iken, GA optimizasyon algoritması sonucunda elde edilen PI parametreleri kullanıldığında aşma %7,44 değerindedir. Aynı şekilde, oturma süresi incelendiğinde, geleneksel yöntemde 160,5 s oturma süresi (settling time) iken, GA tabanlı yöntem ile 155,8 s oturma süresine azaltılmıştır. Şekil 4(b)'de akım kontrolü için referans değerini takip etmede iki yöntemde aynı cevabı vermiştir. Harmonik ve dalgalanmaların fazla olduğu görülmektedir, daha iyi bir optimizasyon aracı ile gelecekteki çalışmalarda karşılaştırılmalar sağlanacak ve bu dalgalanmalar azaltılacaktır. Şekil 4 (c)'de hızın 2500 dev/dk seviyesine gelmesi ve oturma süresi açısından GA tabanlı yöntemde daha iyi bir oturma süresi olduğu görülmektedir, geleneksel yöntemde tüm zaman(s)'lerde 2500 referans değerinde sabit kalamadığı görülmektedir.

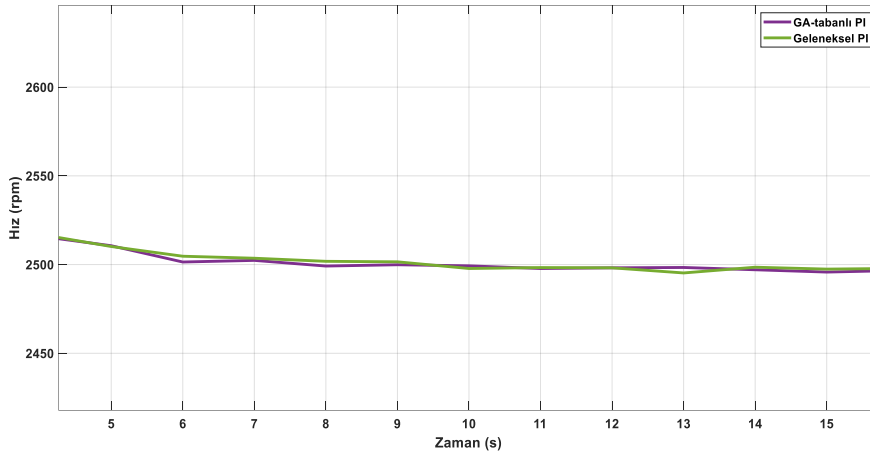
Sonuç olarak, Optimizasyon tekniği bir maliyet fonksiyonu minimize ederek, eş zamanlı iki PI kontrol edicisinin dört parametresini ayarlamak için kullanılmıştır. Karşılaştırmalı analizler sonucunda, GA tekniğinin aşma ve oturma süresini en aza indirmede daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Rüzgar, güneş ve mikro-şebekeler, hibrit sistemlerde gerilim ve güç kontrolü önemlidir ve bu kontroller PI kontrol ile başarılıdır. İstenilen kontrolün sağlanması için PI parametreleri belirlenmesi önem kazanmaktadır ve bu parametrelerin optimizasyonu için halen çalışılmakta ve en iyi optimizasyon aracı bulmak için araştırmalar sürdürülmektedir.



(a)



(b)



(c)

**Şekil 4** (a) DC-bara gerilimi (b) batarya akımı (c) hız(Optimizasyon tekniklerinin sabit rotor hızı altında izlem cevapları)

## Sonuçlar

Bir SFV batarya hibrit kaynağı ile çalışan bir fırçasız DC motorlu su pompalaması tasarlanmış ve optimizasyon algoritmaları kullanılarak kontrolü analiz edilmiştir. Su pompalama sisteminin optimizasyonu ile güvenilir bir kontrol sistemi sağlanmıştır. SFV dizisinden ve pompalama sisteminden tam anlamıyla yararlanmak mümkündür. Batarya deposu ile DC barası arasında çift yönlü bir yükseltici dönüştürücü aracılığıyla olası güç aktarımını sağlamak için bir güç akışı kontrolü uygulanmıştır. Azaltılmış sensör tabanlı fırçasız DC motor sürücüsü, düşük maliyetli ve kompakt bir pompalama sistemi sağlanmıştır. Optimizasyon teknikleri karşılaştırılarak akım kontrolü ve gerilim kontrolü sağlanmıştır. Önerilen optimizasyon tekniği ile su pompalama sisteminde verim artışı gerçekleştirilmiştir. Bu sistemin şebeke dışı, uzak ve izole alanlar için daha kullanışlı olacağı öngörülmektedir.

## **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**

- Ammar A., Hamraoui K., Belguellaoui M., Kheldoun A. Performance enhancement of photovoltaic water pumping system based on BLDC motor under partial shading condition. *Engineering Proceedings* 2022; 14(1): 22.
- Bakir H., Merabet A., Dhar RK., Kulaksiz AA. Bacteria foraging optimisation algorithm based optimal control for doubly-fed induction generator wind energy system. *IET Renewable Power Generation* 2020; 14(11): 1850-1859.
- Bakir H., Merabet A., Dhar RK., Kulaksiz AA. Experimental evaluation of water cycle technique for control parameters optimization of double-fed induction generator-based wind turbine. *Engineering Science and Technology, an International Journal* 2021; 24(4): 890-898.
- Ding F., Li P., Huang B., Gao F., Ding C., Wang C. Modeling and simulation of grid-connected hybrid photovoltaic/battery distributed generation system. *CICED 2010 Proceedings* 2010; 1-10.
- Elgendy MA., Atkinson DJ., Zahawi B. Experimental investigation of the incremental conductance maximum power point tracking algorithm at high perturbation rates. *IET Renewable Power Generation* 2016; 10(2): 133-139.
- Jegha ADG., Subathra MSP., Kumar NM., Ghosh A. Optimally tuned interleaved Luo converter for PV array fed BLDC motor driven centrifugal pumps using whale optimization algorithm—a resilient solution for powering agricultural loads. *Electronics* 2020; 9(9): 1445.
- Kar BN., Samuel P., Pradhan JK., Mallick A. Grid-connected solar photovoltaic-fed brushless DC motor drive for water pumping system using colliding body optimization technique. *Circuit World* 2022; ahead of print.
- Khiareddine A., Salah CB., Mimouni MF. Power management of a photovoltaic/battery pumping system in agricultural experiment station. *Solar Energy* 2015; 112: 319-338.
- Kumar R., Singh B. Solar PV-battery based hybrid water pumping system using BLDC motor drive. *IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)*, 2016, sayfa no: 1-6, Delhi, India.
- Kumar R., Singh B. BLDC motor driven solar PV array fed water pumping system employing zeta converter. *IEEE Transactions on Industry Applications* 2016; 52(3): 2315-2322.

- Kumar R., Singh B. Grid interfaced solar PV based water pumping using brushless DC motor drive. 2016 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES), 2016, sayfa no:1-6, Trivandrum, India.
- Kumar H., Pandey K., Kumar R., Jangir AK. BLDC motor driven water pump fed by solar photovoltaic array using boost converter. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) 2020; 9(6): 635-639.
- Muralidhar K., Rajasekar N. A review of various components of solar water-pumping system: configuration, characteristics, and performance. International Transactions on Electrical Energy Systems 2021; 31(9): e13002.
- Sigarchian SG., Malmquist A., Fransson T. Modeling and control strategy of a hybrid PV/wind/engine/battery system to provide electricity and drinkable water for remote applications. Energy Procedia 2016; 57: 1401-1410.
- Sing B., Kumar R. Simple brushless DC motor drive for solar photovoltaic array fed water pumping system. IET Power Electronics 2016; 9: 1487-1495.
- Singh B., Kumar R. Solar photovoltaic array fed water pump driven by brushless DC motor using Landsman converter. IET Renewable Power Generation 2016; 10(4): 474-484.

## Investigation of Acute Toxicity of Cyfluthrin on Zebrafish (*Danio rerio*)

Gülsüm KOÇAK<sup>1\*</sup>, Aysel Çağlan GÜNAL<sup>2</sup>, Aylin Sepici DİNÇEL<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Sciences, Institute of Natural and Applied Sciences, 100/2000 Toxicology Scholar, Gazi University, Ankara

<sup>2</sup>Gazi Education Faculty, Mathematics and Science Education, Biology Education, Gazi University, Ankara

<sup>3</sup>Department of Medical Biochemistry, Faculty of Medicine, Gazi University, Ankara

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7783-0027>

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9072-543X>

<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5847-0556>

\*Corresponding author: [glsmince4@gmail.com](mailto:glsmince4@gmail.com)

### Research Article

#### Article History:

Received: 24.09.2023

Accepted: 22.11.2023

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

Cyfluthrin

Zebrafish

*Danio rerio*

LC<sub>50</sub>

Pyrethroid

### ABSTRACT

Cyfluthrin is a synthetic pyrethroid that contaminates aquatic ecosystems and is also a potential toxic contaminant. This study, it was aimed to calculate the accumulation values of 0.5, 1, 5, 10, 20, and 50 µg/L dosing solutions of the chemical cyfluthrin in zebrafish (*Danio rerio*), a model organism, for 96 hours. The experiments were performed in triplicate and the static test method was used in the acute toxicity test. At the same time, behavioral changes such as a decrease in swimming speed and swimming on the side and bottom were observed at all cyfluthrin concentrations in fish. Data obtained from acute toxicity tests of cyfluthrin were evaluated using the Probit Analysis Statistical Method. The 96-hour LC<sub>50</sub> value of zebrafish was calculated as 3.61 µg/L.

## Siflutrinin Zebra Balıkları (*Danio rerio*)'nda Akut Toksisitesinin Araştırılması

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 24.09.2023

Kabul tarihi: 22.11.2023

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler

Siflutrin

Zebra balığı

*Danio rerio*

LC<sub>50</sub>

Piretroid

### ÖZ

Siflutrin, su ekosistemlerini kirleten ve aynı zamanda potansiyel bir toksik kirletici olan sentetik bir piretroidtir. Bu çalışmada model bir organizma olan zebra balıklarında (*Danio rerio*) siflutrin kimyasalının 0,5, 1, 5, 10, 20 ve 50 µg/L olan dozlama çözeltilerinin 96 saat süreyle birikim değerlerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Deneyler üç tekrarlı olarak yapılmış ve akut toksisite testinde statik test yöntemi kullanılmıştır. Aynı zamanda balıklarda tüm siflutrin konsantrasyonlarında yüzme hızında azalma, yan ve dip kısımda yüzme gibi davranış değişiklikleri gözlemlenmiştir. Siflutrinin akut toksisite testlerinden elde edilen veriler Probit Analizi İstatistik Yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Zebra balığının 96 saatlik LC<sub>50</sub> değeri 3,61 µg/L olarak hesaplanmıştır.

**To Cite:** Koçak G., Günal AÇ., Dinçel AS. Investigation of Acute Toxicity of Cyfluthrin on Zebrafish (*Danio rerio*). Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(3): 1021-1029.

## 1. Introduction

Pyrethroids, a class of pesticides with insecticidal activity, are widely used in agriculture to control ectoparasite infestation and also in animal husbandry. Unfortunately, many existing pyrethroids are toxic to humans, aquatic organisms, mammals, and other organisms. The use of these substances not only harms the ecosystem but also causes manufacturing workers and the public to be exposed to toxic

effects (Jokanovic, 2018; Tamagno et al., 2023). Pyrethroids act on neural sodium channels, which remain open for a long time, leading to insect death and hyper-excite the nervous system (Wang et al., 2010; Zhu et al., 2020). Also, their excessive persistence in the environment can cause pollution, such as polluting groundwater and disrupting agricultural production. Together with the risk reduction decisions taken by the US Environmental Protection Agency (EPA), it has resulted in increased use of pyrethroid insecticides and thus increased human exposure to pesticides. In order to evaluate the potential health risks, the endocrine-disrupting effects of pyrethroids, especially hormone receptor activities, should be studied (Du et al., 2010).

Lethal concentration 50 (LC<sub>50</sub>), is an abbreviation for the exposure concentration of a toxic substance that was fatal to half of the test animals. Values for fish toxicity vary among species in the literature. Fish are very important for aquatic creatures and humans as an important component of the food chain (Swiacka et al., 2022). Zebrafish, as they have a short reproductive cycle, low cost, and transparent embryos, high productivity it is generally used in aquatic toxicity studies at larval, embryonic, and adult stages (Teame et al., 2019). Zebrafish are preferred in acute toxicity tests to determine the relationship between exposure to toxic compounds in vertebrates (Bambino and Chu, 2017; Putra et al., 2022). The externally fertilized embryo of zebrafish shows rapid and transparent development, allowing relatively easy collection and drug treatment at the early embryonic stage, as well as microscopic examination throughout embryonic development (Shi et al., 2018; Fan et al., 2021; Zhang et al., 2022). At the same time, they are easy to find, easy to maintain, and cost-effective, high fertility, short life cycles, and being more sensitive to chemicals are among the reasons why they are preferred. Especially in recent years, it is frequently encountered in the literature as an advantageous model organism used in the study of the effects of endocrine disruptors (Ankley and Johnson, 2004; Lawrence, 2007; Ni et al., 2019; Segner, 2009; Spence et al., 2008). Cyfluthrin is the active ingredient in nonsystemic insecticides used for the control of insects, in the garden, for pets and livestock, for mosquito control, and where necessary for public health. Cyfluthrin is the active ingredient used in important areas for the control of chewing and sucking insects, especially public health. Increased toxic effects of cyfluthrin on fish *Daphnia magna* and other aquatic invertebrates have been studied in previous years. For example, various fish species have been reported: 22 µg/L in carp (*Cyprinus carpio*); channel catfish (*Ictalurus punctatus*); 1.5 µg/L in bluegill (*Lepomis macrochirus*); sheepshead minnow (*Cyprinodon variegatus*) (Hill, 1989); 0.68 µg/L in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Fathead min now (*Pimephales promelas*) 96-h LC50 2.49 µg/L (Poore et al., 2001), Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) 96-h LC50 0.3 µg/L (Powell, 2001) and Sheepshead minnow (*Cyprinodon variegatus*) 96-h LC50 4.05 µg/L. Wolansky and Harrill (2008) studied pyrethroid toxicology in mammals, amphibians, and birds as well as terrestrial and aquatic invertebrates (Wolansky and Harrill, 2008). In the studies conducted, synthetic pyrethroids; Have been shown to be highly toxic to fish, honeybees, and aquatic arthropods. Cyfluthrin affects the central nervous system and has a stimulating

effect on sodium ion channels, while also preventing neurotransmitter transmission through inhibition of calcium ion channels (Du et al., 2010; Kadiru, 2021). The aim of the study was to determine the 96-hour LC<sub>50</sub> value of cyfluthrin. When the studies were examined, no studies were reported regarding the acute toxicity test of cyfluthrin on the model organism zebrafish.

## **2. Material and Methods**

Zebrafish with a mean length of 3.59±0.67 cm, obtained from a commercial company in Ankara, were used in the study. The study was completed at the Gazi University Faculty of Medicine Medical Biochemistry Research Laboratory. To ensure adaptation to the experimental environment, 40 experimental and control zebrafish (female/male equal distribution) were taken into the stock aquarium 15 days before the start of the experiment and were placed in 8 (5 fish in each) experimental aquariums with the size of 10x20x35 and one control aquarium. The fish were fed with flake fish food (Ahm Cichlid Flake Food), which was combined with vitamins and minerals and had high-quality protein content, rich in amino acids, carnivorous and plant-rich. Fish were dosed at the determined rates of 0.5, 1, 5, 10, 20, and 50 µg/L. It was dissolved in 0.052 g CYF/25 mL DMSO. Stock solutions were prepared by diluting the cyfluthrin weighed in determined amounts in dimethyl sulfoxide (DMSO). Two different control groups were used in the study, control and solvent control (DMSO). Control groups (Control and DMSO added control) were also conducted under the same conditions. It was observed that DMSO had no effect on the fish and there was no death in either control group. DMSO was dosed not to exceed 100 microliters per liter. The ambient temperature was kept constant at 23-24 °C by providing a photoperiod of 12:12 in the research laboratory (Liu et al., 2016). The mean composition values of water used in the study; have a pH of 7.2, dissolved oxygen of 5.4 mg/L, and a conductivity of 75.7 µs/cm (21°C). Stock solutions were prepared at concentrations of 0.5, 1, 5, 10, 20, and 50 µg/L for application for 96-h and using EPA Probit Analysis Program V 1.5. Five fish were placed in each of eight 10-litre aquariums and, excluding the control group, solutions concentrations were pipetted into the aquariums, respectively. After observation for 24, 48, 72, and 96-h, the dead fish were removed from the aquarium and the deaths were recorded. DMSO was used in the preparation of cyfluthrin (Cyfluthrin 95%) solution. Experimental aquariums were ventilated with the help of air motors and the subjects were not fed during the experiment. The 'probit analysis' was applied to the data obtained as a result of the experiment with the help of SPSS and the LC<sub>50</sub> value was calculated.

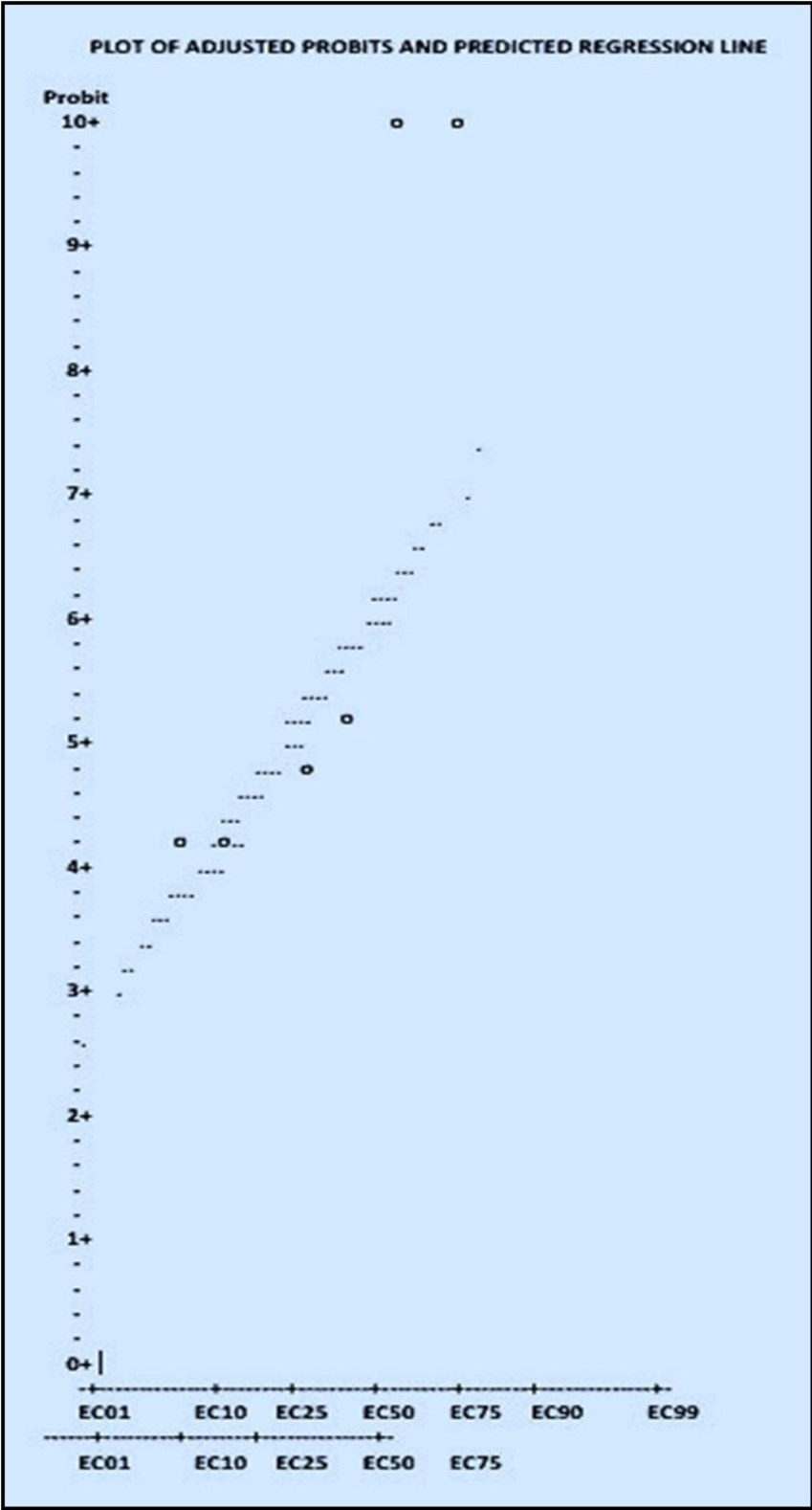
### 3.Results

In the bioassay system, the 96-h LC50 value of cyfluthrin was found to be 3.61 µg/L. The study was repeated three times and their behavior was monitored. Results are presented in Table 1 and Figure 1. It was observed that cyfluthrin was quite toxic to *Danio rerio*. The species used are recommended according to previously used reference/standard methods (Greally and Jacobs, 2013). Fish at concentrations of 0.5, 1, 5, and 10 µg/L showed normal behavior, similar to the behavior of the control group. Behavioral changes began 1 hour after dosing at 20 and 50 µg/L. At the end of the study, no deaths were recorded in the control groups. Irregular swimming, hanging, loss of balance, swimming vertically in the water, contractions, and lying down were observed at the bottom of the aquarium.

**Table 1.** 96-h toxicity of cyfluthrin to *Danio rerio*.

<b>Point</b>	<b>Concentration (µg/L)</b>	<b>95% confidence limits</b>	<b>Intercept×S.E.</b>	<b>Slope×S.E.</b>
<b>LC 1.00</b>	0.09	0.00-0.47	2.66-0.66	4.17±0.40
<b>LC 5.00</b>	0.027	0.00-0.97		
<b>LC10.00</b>	0.48	0.01-1.45		
<b>LC15.00</b>	0.71	0.03-1.93		
<b>LC50.00</b>	3.61	1.06-9.18		
<b>LC85.00</b>	18.23	7.49-197.08		
<b>LC90.00</b>	26.74	10.21-474.16		
<b>LC95.00</b>	47.18	15.60-1802.02		
<b>LC99.00</b>	136.82	32.69-23294.57		





**Figure 1.** Regression line and probits estimated at 96-h for cyfluthrin of *Danio rerio*.

#### **4. Discussion**

Cyfluthrin is a potent pyrethroid insecticide with generally low toxicity. Due to its long degradation cycle, it can accumulate in the environment for a long time. Cyfluthrin poses a threat to both aquatic and other organisms, and ecotoxicological data are very limited and they do not dissolve easily in water (Niell et al., 2010; Lanteigne et al., 2015). It can also cause potential harm to living things due to their exposure to water, air, and soil. In such studies, zebrafish offer many advantages as model organisms, such as their genetic structure, high reproductive rate, rapid development, small size, and high reproductive structure. Cyfluthrin, a synthetic pyrethroid, damages nerve signals by negatively affecting membrane sodium channel systems in target organisms. Synthetic pyrethroids have been shown in laboratory studies to be toxic to fishies, honeybees, and aquatic arthropods (Antwi and Reddy, 2015; Hill, 1989; Weston et al., 2005; Zhan et al., 2020). There are different studies showing that it negatively affects AChE activity, and with the decrease in AChE activity, anxiety-like behaviors occur and impaired motor activity (Sarasamma et al., 2020; Zhang et al., 2022). AChE plays a role in decreased swimming distance, acute dysfunction, and disruptions in motor development, as well as regulating the development of the central nervous system in zebrafish larvae. (Irons et al., 2013; Shi et al., 2018). The cumulative mortality rate continues to increase depending on time and dose compared to the control group at every stage of the experiment, indicating that this substance is toxic. One researcher reported an LC<sub>50</sub> value of 96-hour 21.07 µg/L for cyfluthrin in Nile tilapia fingerlings (*Oreochromis niloticus*). 48-hour LC<sub>50</sub> value for cyfluthrin in guppy fish was estimated at 8.07 µg/L and 0.68 µg/L in rainbow trout (Selvi et al., 2008; Singh et al., 2022). The toxicity of a chemical depends on the environment, the physiological conditions of the species exposed, and the purity of the chemicals used. Acute toxicity, as well as developmental effects of cyfluthrin, were analyzed in zebrafish embryos and larvae at 24, 48, 72, and 96-h. This study highlighted that short-term exposure to cyfluthrin could cause death in the early life stages of zebrafish besides severe developmental deformities.

#### **5. Conclusion**

This study revealed that cyfluthrin, widely used in agriculture, is a highly toxic synthetic pyrethroid pesticide. The increasing use of Cyfluthrin in recent years poses a threat to aquatic ecosystems. Therefore, caution should be exercised in agricultural use and awareness should also be exercised in domestic use. The use of environmentally friendly, effective, and appropriate pesticides is important for the health of many living organisms as well as aquatic ecosystems.

**Acknowledgments:** The study was supported by Gazi University Scientific Research Project Unit with The project code numbered FDK-2023-8307. Gazi University Animal Experiments Local Ethics Committee Approval Code: G.Ü.ET-20.071.

**Conflict of interest:** No conflict of interest has been declared by the authors.

**Authorship contributions:** The contribution of the authors is equal.

## References

- Ankley GT., Johnson RD. Small fish models for identifying and assessing the effects of endocrine-disrupting chemicals. *ILAR Journal/National Research Council, Institute of Laboratory Animal Resources* 2004; 45(4): 469–483.
- Antwi FB., Reddy GV. Toxicological effects of pyrethroids on non-target aquatic insects. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 2015; 40: 915–923.
- Bambino K., Chu J. Zebrafish in toxicology and environmental health. *Current Topics in Developmental Biology* 2017; 124: 331–367.
- Du G., Shen O., Sun H., Fei J., Lu C., Song L., Xia Y., Wang S., Wang X. Assessing hormone receptor activities of pyrethroid insecticides and their metabolites in reporter gene assays. *Toxicol Science* 2010; 116(1): 58–66.
- Fan R., Zhang W., Jia L., Li L., Zhao J., Zhao Z., Peng S., Chen Y., Yuan X. Combined developmental toxicity of the pesticides difenoconazole and dimethomorph on embryonic zebrafish. *Toxins* 2021; 13(12): 854.
- Greally JM., Jacobs MN. In vitro and in vivo testing methods of epigenomic endpoints for evaluating endocrine disruptors. *Altex* 2013; 30(4): 445–471.
- Hill IR. Aquatic organisms and pyrethroids. *Pesticide Science* 1989; 27(4): 429–457.
- Irons TD., Kelly PE., Hunter DL., Macphail RC., Padilla S. Acute administration of dopaminergic drugs has differential effects on locomotion in larval zebrafish. *Pharmacology Biochemistry and Behavior* 2013; 103(4): 792-813.
- Jokanovic M. Neurotoxic effects of organophosphorus pesticides and possible association with neurodegenerative diseases in man: A review. *Toxicology* 2018; 410, 125-131.
- Kadiru S. Developmental toxicity of cyfluthrin in embryo-larval stages of zebrafish. *International Journal of Advanced Scientific Research and Management* 2021; 3-12
- Lanteigne M., Whiting SA., Lydy MJ. Mixture toxicity of imidacloprid and cyfluthrin to two non-target species, the fathead minnow *pimephales promelas* and the amphipod *hyalella azteca*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 2015; 68, 354-361.
- Lawrence C. The husbandry of zebrafish (*Danio rerio*): a review. *Aquaculture* 2007; 269(1–4): 1–20.
- Liu Y., Zhang Y., Tao S., Guan Y., Zhang T., Wang Z. Global dna methylation in gonads of adult zebrafish *danio rerio* under bisphenol a exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2016; 130: 124–132.
- Poore LM., King G., Stefanik K. Toxicology information resources at the environmental protection agency. *Toxicology* 2001; 157(1–2): 11–23.

- Ni H., Peng L., Gao X., Ji H., Ma J., Li Y., Jiang S. Effects of maduramicin on adult zebrafish (*Danio rerio*): acute toxicity, tissue damage and oxidative stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2019; 168: 249-259.
- Niell S., Pareja L., Geis Asteggiante L., Cesio MV., Heinzen H. Comparison of extraction solvents and conditions for herbicide residues in milled rice with liquid chromatography-diode array detection analysis (lc-dad). *Food Additives and Contaminants* 2010; 27(2): 206-211.
- Powell S. New challenges: residential pesticide exposure assessment in the california department of pesticide regulation, usa. *The Annals of Occupational Hygiene* 2001; 45: 119-123.
- Putra RB., Hertika A., Fadjar M., Wicaksono S., Hakim GA., Saputra F. Acute toxicity of cinnamaldehyde in profile hematology and gill histology of zebrafish. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries* 2022; 26(4): 623-635.
- Sarasamma S., Audira G., Siregar P., Malhotra N., Lai YH., Liang ST., Chen JR., Chen KHC., Hsiao CD. Nanoplastics cause neurobehavioral impairments, reproductive and oxidative damages, and biomarker responses in zebrafish: throwing up alarms of widespread health risk of exposure. *International Journal of Molecular Sciences* 2020; 21(4): 1410.
- Segner H. Zebrafish (*Danio rerio*) as a model organism for investigating endocrine disruption. *Comparative Biochemistry and Physiology-C Toxicology and Pharmacology* 2009; 149(2): 187–195.
- Selvi M., Sarıkaya R., Erkoç F., Koçak O. Acute toxicity of the cyfluthrin pesticide on guppy fish. *Environmental Chemistry Letters* 2008; DOI, 10.
- Shi Q., Wang M., Shi F., Yang L., Guo Y., Feng C., Liu J., Zhou B. Developmental neurotoxicity of triphenyl phosphate in zebrafish larvae. *Aquatic Toxicology* 2018; 203: 80–87.
- Singh AK., Kumar A., Chandra R. Environmental pollutants of paper industry wastewater and their toxic effects on human health and ecosystem. *Bioresource Technology Reports* 2022; 20, 101250.
- Spence R., Gerlach G., Lawrence C., Smith C. The behavior and ecology of the zebrafish, *Danio rerio*. *Biological Reviews*. 2008; 83(1): 13–34.
- Swiacka K., Maculewicz J., Kowalska D., Caban M., Smolarz K., Świeżak J. Presence of pharmaceuticals and their metabolites in wild-living aquatic organisms—current state of knowledge. *Journal of Hazardous Materials* 2022; 424, 127350.
- Tamagno WA., Alves C., Pompermaier A., Veneral AL., Lampugnani JAD., Reolon GK., Barcellos LJG. Transfluthrin-and prallethrin-based insecticides elicit specific enzymatic antioxidant responses in different tissues of zebrafish. *Environmental Pollution* 2023; 327, 121530.
- Teame T., Zhang Z., Ran C., Zhang H., Yang Y., Ding Q., Xie M., Gao C., Ye Y., Duan M., Zhou Z. The use of zebrafish (*Danio rerio*) as biomedical models. *Animal Frontiers* 2019; 9(3): 68–77.
- Wang X., Zhou S., Ding X., Zhu G., Guo J. Effect of triazophos, fipronil and their mixture on miRNA

- expression in adult zebrafish. *Journal of Environmental Science and Health Part B* 2010; 45(7): 648-657.
- Weston DP., Holmes RW., You J., Lydy MJ., Aquatic toxicity due to residential use of pyrethroid insecticides. *Environmental Science and Technology* 2005; 39(24): 9778–9784.
- Wolansky MJ., Harrill JA. Neurobehavioral toxicology of pyrethroid insecticides in adult animals: a critical review. *Neurotoxicology and Teratology* 2008; 30(2): 55–78.
- Zhan H., Huang Y., Lin Z., Bhatt P., Chen S. New insights into the microbial degradation and catalytic mechanism of synthetic pyrethroids. *Environmental Research* 2020; 182: 109138.
- Zhang W., Fan R., Luo S., Liu Y., Jin Y., Li Y., Li B., Chen Y., Jia L., Yuan X. Combined effects of chlorpyrifos and cyfluthrin on neurobehavior and neurotransmitter levels in larval zebrafish. *Journal of Applied Toxicology* 2022; 42(10): 1662-1670.
- Zhu Q., Yang Y., Zhong Y., Lao Z., O'Neill P., Hong D., Zhang K., Zhao S. Synthesis, insecticidal activity, resistance, photodegradation and toxicity of pyrethroids (a review). *Chemosphere* 2020; 254: 126779.

## Skin Lesions Identification and Analysis with Deep Learning Model Using Transfer Learning

Halit ÇETİNER<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Isparta University of Applied Sciences, Vocational School of Technical School, Computer Technology, Isparta

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-7794-2555>

\*Corresponding author: halitcetiner@isparta.edu.tr

### Research Article

#### Article History:

Received: 21.06.2022

Accepted: 30.10.2022

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

Skin cancer

Deep learning

CNN

DenseNet201

### ABSTRACT

Sunlight has beneficial as well as harmful rays. Environmental pollution occurs as a result of the depletion of the ozone layer caused by the damage caused by humans to the environment. As a result of these pollutants, skin diseases can be seen in areas exposed to direct sunlight, such as the head and neck. Early detection of actinic keratosis (akiec), basal cell carcinoma (bcc), benign keratosis (bkl), dermafibroma (df), melanoma (mel), melanocytic nevi (nv), and vascular (vasc) skin cancer types, which is one of the most common skin diseases, is important for medical intervention. Otherwise, severe spread, called metastasis, may occur as a result of aggressive growths. For the stated reasons, a deep learning model based on transfer learning, which can classify skin cancer types, has been proposed to assist the medical personnel who serve in this field. With this proposed model, the aim is to classify at high accuracy rates without any pre-processing. As a result of the experimental studies carried out as a result of the stated goals, an accuracy rate of 99.51% was achieved with the proposed model.

### Transfer Öğrenme Kullanan Derin Öğrenme Modeli ile Cilt Lezyonlarının Tanımlanması ve Analizi

#### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 21.06.2022

Kabul tarihi: 30.10.2022

Online Yayınlama: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Deri kanseri

Derin öğrenme

CNN

DenseNet201

#### ÖZ

Güneş ışıklarından faydalı ışınları olduğu gibi zararlı ışınları da bulunmaktadır. İnsanların çevreye verdikleri zararlar ile oluşan ozon tabakası incelmeleri sonucunda çevresel kirlilik meydana gelmektedir. Bu kirlilikler neticesinde de baş ve boyun gibi doğrudan güneş ışığına maruz kalan bölgelerde cilt hastalıkları görülebilmektedir. En sık olarak görülen cilt hastalıklarından olan actinic keratosis (akiec), basal cell carcinoma (bcc), benign keratosis (bkl), dermafibroma (df), melanoma (mel), melanocytic nevi (nv), ve vascular (vasc) cilt kanseri türlerinin erken aşamada tespit edilmesi tıbbi müdahale açısından önemlidir. Aksi takdirde agresif büyümeler sonucunda metastaz adı verilen şiddetli yayılmalar meydana gelebilmektedir. Belirtilen sebeplerden dolayı bu alanda hizmet veren uzman sağlık personeline yardımcı cilt kanser türlerini sınıflandırabilen transfer öğrenme tabanlı derin öğrenme modeli önerilmiştir. Önerilen bu model ile herhangi bir ön işleme tabi tutmadan yüksek doğruluk oranlarında sınıflandırma yapmak hedeflenmiştir. Belirtilen hedefler sonucunda yapılan deneysel çalışmalar neticesinde önerilen model ile %99,51 oranında başarı oranına ulaşılmıştır.

**To Cite:** Çetiner H. Skin Lesions Identification and Analysis with Deep Learning Model Using Transfer Learning. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(3): 1030-1045.

## **1. Introduction**

The world population is expected to reach ten billion people in approximately 30 years (Perroy, 2015). According to statements made by the World Health Organization (WHO) and similar organizations, human diseases have increased rapidly in recent years (Pimentel et al., 2007). With the increase in population, the damage of people to nature also increases. Human diseases occur due to the increase in water, air and soil pollution depending on the human population. According to reports shared by the National Cancer Institute, there is an increase in cancer cases due to environmental factors such as chemicals, radiations, and tobacco (Pimentel et al., 2007). There has been an increase in cancer cases recently due to many different reasons such as lifestyle, environmental change, the sun, radiation, and physical inactivity. Skin cancer is the most common type of cancer among cancer diseases (Dorj et al., 2018).

Sun rays in two different wavelengths come from the Sun. One of them is UV-B wavelength and the other is UV-A wavelength. UV-B represents sun rays with wavelengths of 280-320 nm, whereas UV-A represents sun rays with wavelengths of 320-400 nm (Moan et al., 2008). Most of the UV-A wavelength comes directly from UV-B and is not dispersed from the Sun. It is recommended to take these rays at appropriate times. If you are not exposed to the sun at the right time in line with wrong information or accidentally, different skin diseases can be experienced (Moan et al., 2008). In addition, the increase in skin cancer is reported to be associated with anthropogenic pollution due to increased UV-B radiation as the ozone layer becomes thinner (McMichael and McMichael, 1993; McKenzie et al., 2003; Martens and McMichael, 2009).

Swelling on the skin that is outside the normal appearance can be cancerous (Morid et al., 2021). There are seven types of skin cancer, in general. These are actinic keratosis (akiec), basal cell carcinoma (bcc), benign keratosis (bkl), dermafibroma (df), melanoma (mel), melanocytic nevi (nv), and vascular (vasc) types. As in many diseases, early diagnosis in skin cancer is a great opportunity to prevent the spread of cancer. There is a lot of research with machine learning and image processing techniques on the detection, segmentation, and classification of skin cancer. There are many different studies that classify melanoma, a dangerous type of skin cancer. A mobile application has been developed to classify the type of melanoma in one study (Ramlakhan and Shang, 2011). In another study, skin cancer is seen to be classified using deep neural networks (Esteva et al., 2017). The type of melanoma clustered with the K-means clustering technique is seen to be classified by SVM (Almansour and Jaffar, 2016; Anas et al., 2017). Decision support systems have been developed to diagnose melanoma using different input parameters such as damage degree, texture, color, distinctive characteristics and affected area (Ruiz et al., 2011; Giotis et al., 2015). In addition to these, automatic melanoma diagnosis systems have been established in studies such as (Blum et al., 2004; Isasi et al., 2011). Pomponi et al. (Pomponiu et al., 2016) achieved a 93.64% accuracy rate with the AlexNet pre-trained architecture, while Codella et al. (Codella et al., 2015) achieved a 93.1% accuracy rate with

AlexNet. In another study, the classification of skin lesions was performed with a model consisting of a combination of VGG19 and ResNet architectures (Kwasigroch et al., 2017).

Original studies can be carried out in the sub-field of deep learning, which is a special area of machine learning in many different fields such as computer vision, speaker recognition, frequency analysis, natural language processing, and artificial intelligence in health. Recently, it has also been used in drug therapy and computerized pathologies (Suganyadevi et al., 2022). Deep learning algorithms consist of methods that are extremely hardware dependent. The hardware costs that enable deep learning algorithms to work easily at the beginning are very high. In this case, it prevented the widespread use of deep learning algorithms. Today, the decrease in hardware costs and the increase in data sets that serve to solve problems in different fields have increased the interest in deep learning algorithms (Pacal et al., 2020).

Convolutional Neural Network (CNN), defined as a sub-field in deep neural networks, has achieved great success in many artificial intelligence applications such as computer vision and natural language processing. In 2010, ImageNet introduced a new method using deep CNN to classify 1,2 million images with high resolutions (Krizhevsky et al., 2012). The biggest advantage of the ImageNet dataset is pretrained network (Dorj et al., 2018). After the specified step, CNN is a popular deep learning architecture used in many different fields, including biomedical image analysis (Morid et al., 2021). CNN needs a large dataset with labels as well as a large memory for full training operations performed from scratch.

Creating a large dataset with labels is an intensive and tedious process that requires expertise. For this reason, transfer learning techniques have become widespread as an alternative to CNN education. CNN structures with variable parameters can be created using pre-trained neural networks called ImageNet.

In the literature, it has generally focused on the use of transfer learning-based machine learning (Cheplygina et al., 2019) and non-transfer learning-based deep learning methods (Litjens et al., 2017; Bakator and Radosav, 2018). However, in general, it is very rare to train deep learning models from pretrained networks that do not contain medical images (Morid et al., 2021). Morid et al. analyzed 8421 studies in order to explain this deficiency in the literature in their review articles. To address the shortcomings mentioned in the literature, a model based on the DenseNet201 architectural model pretrained using ImageNet is proposed within the scope of the article. Hosny et al. (Hosny et al., 2018) proposed an AlexNet-based model to classify melanoma, the deadliest of skin cancers. They used a skin cancer dataset with little data diversity in their proposed model. When the proposed model is examined, it is seen that only the classification layer with the softmax activation function of the AlexNet-based model has changed. Jain et al. (Jain et al., 2021) have classified skin cancers using 6 different pre-trained deep learning architectures named VGG19, InceptionV3, Inception ResNetV2, ResNet50, Xception, and MobileNet. Xception states that the transfer learning model gives better results than the other 5 different transfer learning based models. They also report that this model has



reached 90.48% accuracy of this model. At the same time, they report that they obtained the highest values as precision, recall and F1 score values from the Xception transfer learning based model. In the reported study, it is seen that the data set is divided into 80% and 20% as training and testing, respectively. This will result in a different result in each study. In this article, a different deep learning model is proposed and training and test data are separated according to the KFold technique. Rashid et al. (Rashid et al., 2022) proposed a MobileNetV2-based transfer learning model and a model that classifies skin cancer called melanoma. They are focused on classifying the types of skin cancer of benign and malignant melanoma. Similar to the (Jain et al., 2021) study in the literature, it separated training, testing, and validation data by 70%, 15%, and 15%, respectively.

According to the specified information, it was decided to develop a decision support system that assists experts. The main contributions of this study to the literature, which was conducted to classify the seven most common types of skin cancer, are presented below.

- The proposed DenseNet201 model reached an accuracy rate of 97,5% according to the KFold3 results.
- The proposed DenseNet201 model achieved 15% more accuracy than the basic DenseNet201 model.
- While the basic model has an average accuracy of 80.96%, the proposed model has an average accuracy rate of 98.73%.
- According to the F1 score, recall and precision performance measurement metrics, the basic model had an average rate of 82%, 79%, and 81%, respectively, while the proposed model achieved rates of 98%, 97%, and 98%, respectively.
- With the proposed deep learning model, a new transfer learning-based model has been designed that is capable of classifying skin cancer types.
- A satisfactory level of performance has been obtained from the designed model.

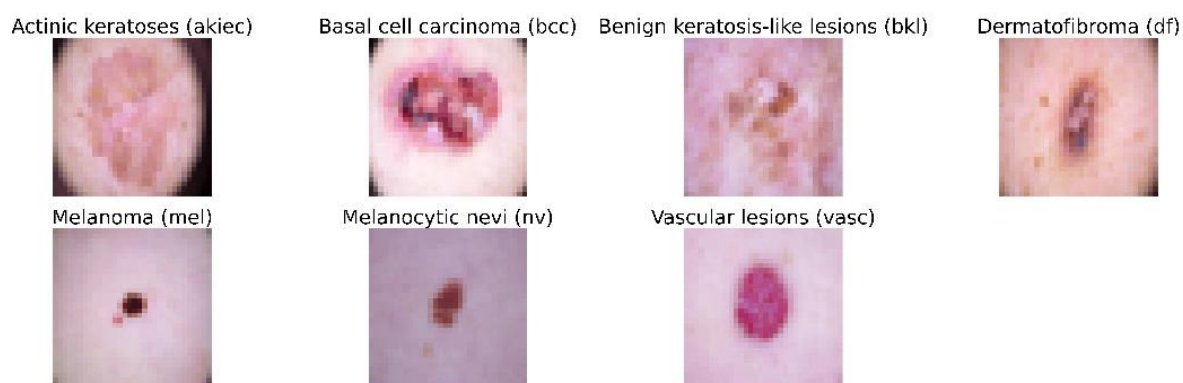
The remainder of the article consists of three sections. In the first section, the materials and methods used in the article are mentioned. In the second section, the performance results of the model used and proposed are presented by discussion. In the third section, the article is concluded.

## **2. Material and Methods**

### **2.1. Material**

Automatic training and classification of skin lesions may yield poor results when dataset size and diversity are small. In this sense, extensive data set research has been conducted covering different types of skin cancers. This study was trained and tested on the International Skin Imaging Collaboration (ISIC) 2018 dataset (International Skin Imaging Collaboration, 2018). ISIC dataset is a dataset with different skin lesions that is widely used in the literature.

In this article, the performance results of the model developed based on the proposed CNN and pretrained CNN models using the specified images are compared. The comparison process has been extended by including similar studies in the literature. Although the 4 most common types of skin cancer are reviewed in the literature (Dorj et al., 2018), in this article 7 different types of skin cancer are classified. It consists of seven different classes, akiec, bcc, bkl, df, mel, nv, and vasc. Nv, mel, bkl, bcc, akiec, vasc, and df consist of 6705, 1113, 1099, 514, 327, 142 and 115 images, respectively.



**Figure 1.** Skin lesion classes in the used dataset

Figure 1 shows the types of skin cancer in the dataset. The Bcc and akiec types are among the deadly types of skin cancer. It is also known that these species are difficult to detect. As a result of the early detection of bcc and akiec species, complete recovery can be achieved. As in different types of cancer, in these types of cancer, in case of late detection, the disease lesions metastasize. Seven different types of skin cancer, other than bcc and akiec, are less common (Shoieb et al., 2016). According to data shared by the World Health Organization, there has been an increase in bcc and akiec types of around 5% in America only in 2021 (Khan et al., 2021).

The ozone layer is thinning due to environmental pollution that occurs with population growth. As a result of the depletion of the ozone layer, there is an increase in anthropogenic pollution and skin diseases due to UV-B radiation (McMichael and McMichael, 1993; McKenzie et al., 2003; Martens and McMichael, 2009). The basis of this problem is the misinformation of the public (Moan et al., 2008). According to Moan's study, it is stated that the best time to be exposed to the sun is not in the afternoon (Moan et al., 2008). In general, there is an increase in diseases related to the harmful rays of the sun due to false information (Moan et al., 2008). For these reasons, it has become a necessity to assist specialists in the early and timely detection of growing diseases. For this reason, two different deep learning models have been defined to assist experts. One of these deep learning models represents the model developed within the scope of this article, while the other represents the basic DenseNet201 model used for comparison.

## 2.2. Performance evaluation metrics

False Negative (FN), True Negative (TN), False Positive (FP), True Positive (TP) markers were used to evaluate the performance of the proposed model. TP, FP represent correct and incorrectly predicted skin images, respectively. On the other hand, TN and FN represent normal and incorrectly estimated skin images, respectively. Performance comparisons of the proposed and basic model are made based on the specified specifiers such as TN, FN, FP, and TP. Based on these indicators, accuracy, precision, recall, and F1 score metrics are calculated. In this sense, the formulas commonly used in the literature to calculate the metrics specified are given below (Goutte and Gaussier, 2005):

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

$$F1 = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

The performances of the basic models proposed in this article were calculated according to the accuracy, recall, precision and F1 score formulas. In addition to the measurement results obtained from these formulas, accuracy and loss information is presented graphically. In this study, the accuracy, recall, precision and F1 score formulas used to evaluate the performance of deep learning models are presented above. Loss and accuracy results showing performance measurements calculated according to these formulas are given graphically.

## 2.3. DenseNet201

DenseNet architectures, one of the pre-trained deep learning architectures, was developed by (Huang et al., 2017). This is an architecture developed by optimizing the gradient flow problem in the ResNet architecture. Traditional convolution layer networks have more parameters than DenseNet. DenseNet has layers with few parameters to facilitate the flow of information between layers and optimize the network gradient. Furthermore, DenseNet consists of efficient models that provide the possibility of repetitive use of features obtained from convolution layers between layers (Pleiss et al., 2017). DenseNet201 uses direct connectivity between layers to provide a significant performance boost in datasets. Transfer learning is seen to be carried out with pretrained networks to facilitate cancer diagnosis with DenseNet models (Yu et al., 2019).

DenseNet architectural models have convolution, pooling, global pooling layers, fully connected, and classification layers. In addition to these, there are transition layers called transition layer 1 with dimensions of 28x28x128, transition layer 2 with dimension of 14x14x256, and transition layer 3 with dimensions of 7x7x896. There are Dense block 1 in 56x56x256, Dense block 2 in 28x28x512, Dense

block 3 in 14x14x1792, and Dense block 3 in 7x7x1920. Dense blocks have different sizes of filtering cores. General mathematical formulas for DenseNet architectures are given in  $x_n$  equation. In  $x_n$  equation, DenseNet represents the reuse feature, which is one of the most important features of architectural model-specific structures.

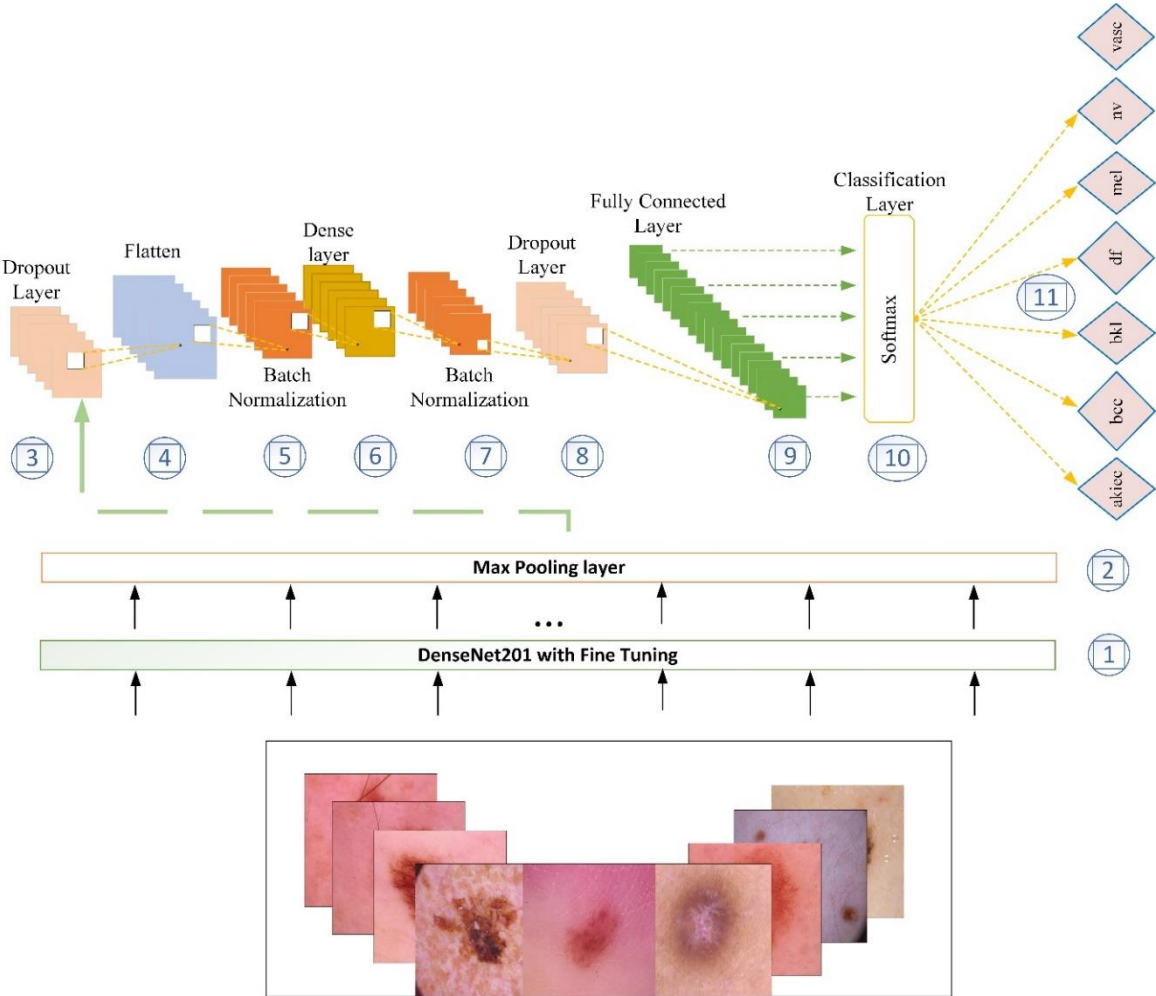
$$x_n = H_n(x_{n-1})$$

$$x_n = H_n([x_0, \dots, x_{n-1}])$$

In  $x_n$  equation, n. the feature map in the layer is represented by  $x_n$ .  $H_n$  consists of batch normalization, ReLU activation layer and convolution layer with a window size of 3x3.

**2.4. The proposed DenseNet201**

A new DenseNet201-based deep learning model has been designed to automatically classify the most common skin cancer types in the world to help experts. This model has been developed with fine tuning using transfer learning techniques.



**Figure 2.** Flowchart of the proposed DenseNet201 model for skin type classification

No changes have been made to the basic transition and dense layers. However, fully connected and classification layers, which are the top layers, have been removed. Although the weight values of the layers with the moving mean and moving variance properties are used in the remainder, the weight values of the layers without these properties are not used. In essence, the block diagram of the proposed model is shown in Figure 2 in detail.

To correctly evaluate the success of this designed model, a model called the basic DenseNet201 model was created, which does not include any additional layers or features. The performance values of both models created were evaluated using certain criteria. In the proposed model, 32x32x3 size is used instead of the original size in order to increase the processing speed. The specified dimensions are, respectively, width, height, and volume images with three color channels, which are accepted as input. In the creation of the proposed DenseNet201 model, layers with moving mean and moving variance are set as trainable, others as non-trainable. In the second step shown in Figure 2, maximum pooling was achieved using 5x5 windows. In the third step, 0.5 neuron dropout was performed to prevent the network from memorizing. In the fourth step, the flatten layer was added. This layer is used to transform the features obtained from the convolution layer into a one-dimensional array (Çetiner, 2021).

### 3. Experimental Results and Discussion

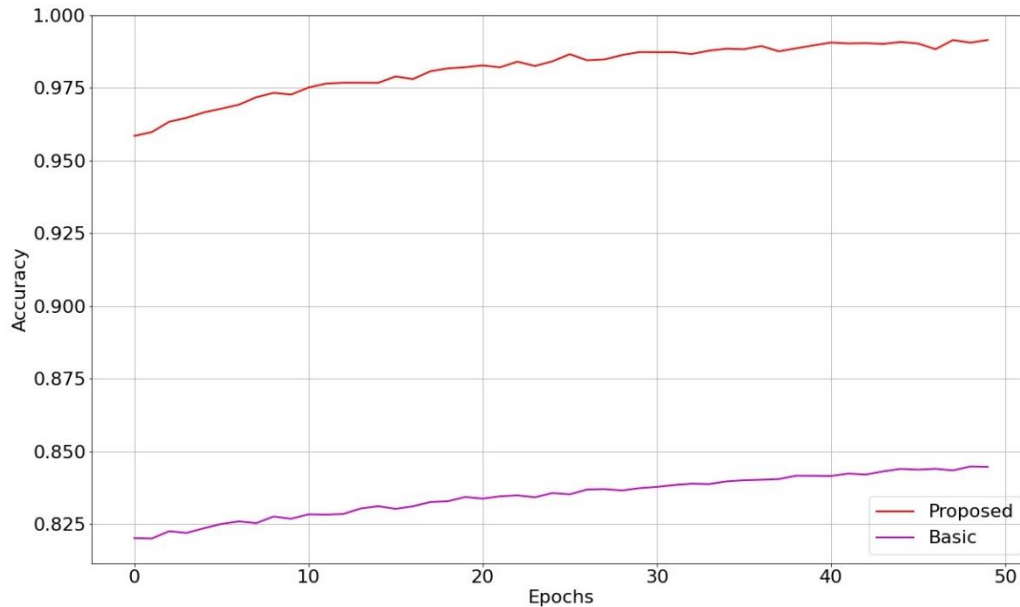
As a result of experimental studies, a new method has been proposed to automatically classify the most common types of skin cancer. Accuracy values are given in order to test the performance of the proposed model. Training and test data splits were obtained using the KFold3 technique, in case the results could be different during each trial. The data obtained as a result of these divisions are presented separately for the normal model and the proposed model. Table 1 presents the KFold values of the basic model. According to these values, the basic model accuracy rates are between 77.95% and 83.79%. As a result of experimental studies, an average accuracy rate of 80,96 was achieved with the basic model. In addition to these, F1 score, recall and precision performance metrics are presented in Table 1. According to these metrics presented, the KFold3 option offers a higher F1 score value than other KFold options, while the KFold3 option gives the highest value in the recall and precision values.

**Table 1.** Performance results of the basic model according to KFold values

Optimization Method	KFold	Accuracy	Loss	F1 Score	Recall	Precision
Adam	1	77.95	0.67	79	76	78
Adam	2	81.15	0.57	83	80	82
Adam	3	83.79	0.50	85	82	84
Average		80.96	0.58	82	79	81

In Table 2, the accuracy and loss rates obtained from the proposed model are presented. According to these values presented, an accuracy varying between 96.93% and 99.73% has been achieved. As the average of these accuracies, an accuracy of 98.73% was achieved. As a result of the obtained rates,

there is a 17.77% difference in success between the basic model and the proposed model. As a result, the proposed model has obtained a satisfactory result according to the performance results examined.

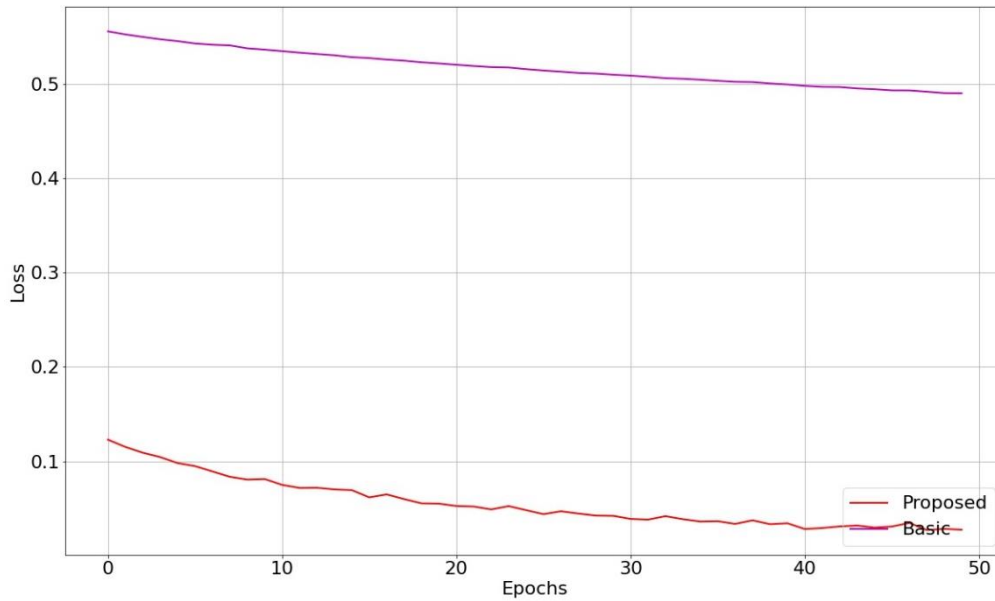


**Figure 3.** Training accuracy graph of the basic and proposed DenseNet201 model for skin type classification

**Table 2.** Performance results of the proposed model according to KFold values

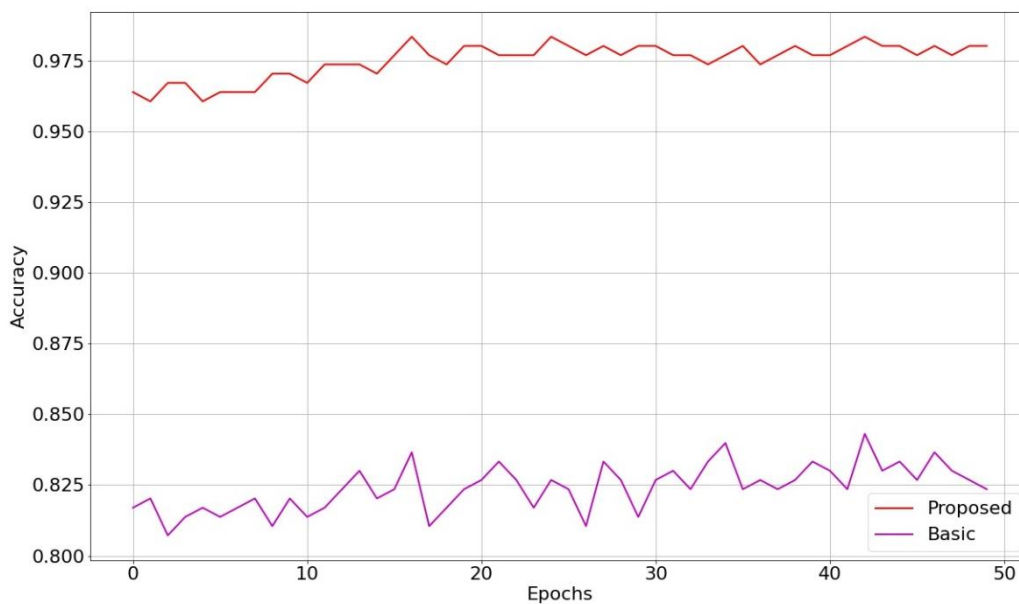
Optimization Method	KFold	Accuracy	Loss	F1 Score	Recall	Precision
Adam	1	96.93	0.094	98	95	97
Adam	2	99.31	0.019	99	98	99
Adam	3	99.93	0.002	99	98	99
Average		98.73	0.38	98	97	98

In Figure 3, the training accuracy graphs of the basic and proposed DenseNet201 model are presented. According to these graphs presented, the highest training accuracy of the basic model in classifying skin cancer types approached 85%, while the proposed model exceeded 97.5%. KFold, which is close to the average of the results in Table 1 and Table 2, was preferred. Figures 3, 4, 5, and 6 are plotted according to the preferred KFold. According to the results in Table 1, KFold3 with the highest accuracy was preferred. According to the results in Table 2, KFold2, which is closest to the average result, was preferred. In addition to these, F1 score, recall and precision performance metrics are given in Table 2. According to these values, the metrics except the recall and precision values of the KFold1 option are the same or higher than the average measurements. According to the results of the measurements obtained, the performance metrics of the proposed model are at a satisfactory level. According to the specified preferences, the training accuracy loss and test accuracy, loss graphs in Figure 3-6 were obtained. The loss graphs of the basic and proposed model are presented in Figure 4. According to these presented graphs, the loss graph of the basic model is around 0.5, while the loss graph of the proposed model is below 0.1. As the epoch approaches, it is seen that these results are taken in the 50th iteration. All result plots shown in Figures 3-6 were obtained as a result of training the models using Adam optimization method with 50 epoch steps and using 0.01 learning rate.



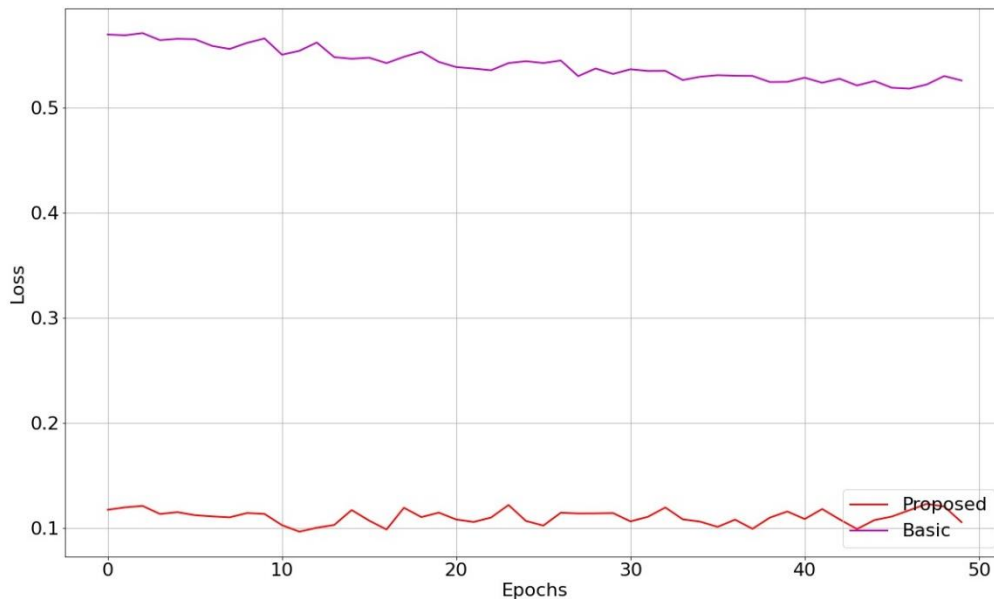
**Figure 4.** Training loss graph of the basic and proposed DenseNet201 model for skin type classification

Although these results are given, the main thing in academic studies is the results obtained from images that are not used in training. At this point, the test accuracy rates of the basic and proposed models are shown in Figure 5. According to the graphical results in Figure 5, the basic model reached an accuracy of 82.5%. According to the other result in the graph in Figure 5, the proposed model has reached a accuracy of 97.5%. Since both models basically have a certain weight value at the beginning, the accuracy graph values started from a non-zero point. These points indicate that the models are proposed on the basis of pre-trained transfer learning.



**Figure 5.** Test accuracy graph of the basic and proposed DenseNet201 model for skin type classification

According to the results in Figure 6, while the loss is above the value of 0.1 in the proposed model, the loss is above the value of 0.5 in the basic model. The results are obtained according to this training and test accuracy, and loss graphs are as presented.



**Figure 6.** Test loss graph of the basic and proposed DenseNet201 model for skin type classification

The confusion matrix with the accuracies shown by class is shown in Figure 7. When the performance metrics obtained on the basis of nv, mel, bkl, bcc, akiec, vasc and df classes are examined, there are classes that are classified without any errors in the results obtained, as well as classes with incorrect classification. However, the mistakes made are too few to be underestimated on a class basis. Although the most errors were obtained in the nv class, the least errors were obtained in the vasc and df classes. Using the proposed model, the accuracy rates of seven different skin cancer classes on a class basis are shown in Figure 7. As can be seen in Figure 7, accuracies of 97.03%, 97.53%, 97.52%, 100%, 98.41%, 99.11% and 100% were achieved in akiec, bcc, bkl, df, mel, nv, and vasc classes, respectively. No pre-trained architectural structures were used in the study, in which skin cancer classification was performed with 30-layer CNN architecture on different datasets (Çetiner, 2023). This study contributes to the literature in terms of determining the effect of DenseNet blocks on the classification of skin cancer. Basic CNN methods are more suitable for real-time hardware systems, although they are lighter than structures consisting of millions of layers, although it has a negative effect on performance results.

According to the results given in Table 3, Kawahara and Hamarneh (Kawahara and Hamarneh, 2016)'s CNN model yielded a 75.1% accuracy in a ten-class skin cancer dataset. According to Esteva et al. (Esteva et al., 2017)'s respectively CNN and CNN-PA model reported, respectively, 69.4% and 72.1% accuracy rates in a 3-class skin cancer dataset.





**Figure 7.** Confusion matrix of the proposed DenseNet201 model for skin type classification

According to Esteva et al. (Esteva et al., 2017) CNN and CNN-PA models, respectively, are reported to reach 48,9% and 55,4% accuracies in a 9-class skin cancer data set.

**Table 3.** Comparison table with studies in the literature using the same and similar datasets

Model	Number of Classes	Accuracy (%)
(Kawahara and Hamarneh, 2016)'s CNN	Ten	75.1
(Esteva et al., 2017)'s CNN	Nine	48.9
(Esteva et al., 2017)'s CNN-PA	Nine	55.4
(Milton, 2019)'s InceptionResNetV2	Seven	70.0
(Milton, 2019)'s PNASNet-5 Large	Seven	76.0
(Milton, 2019)'s SENET 154	Seven	74.0
(Milton, 2019)'s Inception V4	Seven	67.0
(Chaturvedi et al., 2020)'s MobileNet	Seven	83.15
(Esteva et al., 2017)'s CNN	Three	69.4
(Esteva et al., 2017)'s CNN-PA	Three	72.1
Proposed Model	Seven	98.73

In another study, Milton (Milton, 2019)'s InceptionResNetV2, PNASNet-5 Large, SENET 154, Inception V4 deep learning models reported 70.0%, 76.0%, 74.0%, 67.0% accuracies, respectively.

Chaturvedi et al. (Chaturvedi et al., 2020)'s MobileNet model reached 83.15% accuracy. Chaturvedi et al. (Chaturvedi et al., 2020)'s MobileNet model is important in terms of getting these results in the same data set as the data set used in the article. For this reason, the results of Chaturvedi et al. (Chaturvedi et al., 2020)'s MobileNet model can be compared with the results of the proposed model. Chaturvedi et al. transfer learning was carried out in the model. It is stated that it is based on the MobileNet architecture due to its light weight. According to Table 3, it is seen that there are different data sets from three different skin cancer classes to 10 different skin cancer classes. Among the datasets with seven different skin cancer classes, the highest accuracy was achieved with the proposed model. It is difficult to make an exact comparison with classes with nine and ten different classes of skin cancer. The proposed model gave higher accuracies than the studies in the literature. In this sense, it is thought to have a significant contribution to the literature.

#### **4. Conclusions**

The types of skin cancer, which increase with age, are more common in young people under 55 years of age (Kumar et al., 2015). The risk of disproportionate growth of skin cancer in young people is much higher than in older patients. This article proposes a new deep learning-based method for the automatic classification of skin cancer cases that have increased rapidly in recent years. Experimental studies have been carried out to see whether this proposed model gives better results than the basic model in terms of performance. As a result of the experimental studies, advanced results were obtained. The results obtained were obtained according to the KFold3 technique. Cross-validation is an effective technique as it prevents the model from getting different results on each run.

To advance this article, a web-based tool can be developed with the help of Tensorflow.js library. With this developed tool, users who do not have any software knowledge can determine whether skin images are skin cancer or not. Due to this, the transformed model will provide the opportunity to access from a web-based browser or mobile browser. The study, which is carried out on the scale of the specified characteristics, is expected to contribute to the early detection of skin diseases by applying it to different biomedical lesions.

#### **Conflict of Interest Statement**

The article author declares that there is no conflict of interest.

#### **Contribution Rate Statement Summary of Researchers**

The author declares that he has contributed 100% to the article.

#### **References**

Almansour E., Jaffar MA. Classification of dermoscopic skin cancer images using color and hybrid texture features. *IJCSNS Int J Comput Sci Netw Secur* 2016; 16(4): 135–139.

- Anas M., Gupta K., Ahmad S. Skin cancer classification using K-means clustering. *International Journal of Technical Research and Applications* 2017; 5(1): 62–65.
- Attique Khan M., Sharif M., Akram T., Kadry S., Hsu C. A two-stream deep neural network-based intelligent system for complex skin cancer types classification. *International Journal of Intelligent Systems* 2021; Wiley Online Library.
- Bakator M., Radosav D. Deep learning and medical diagnosis: A review of literature. *Multimodal Technologies and Interaction* 2018.
- Blum A., Luedtke H., Ellwanger U., Schwabe R., Rassner G., Garbe C. Digital image analysis for diagnosis of cutaneous melanoma. Development of a highly effective computer algorithm based on analysis of 837 melanocytic lesions. *British Journal of Dermatology* 2004; Wiley Online Library 151(5): 1029–1038.
- Çetiner H. Python Ortamında derin öğrenme uygulamaları. 2021; Anı yayıncılık: Ankara.
- Çetiner H. Classification of cancer images with CNN-based deep learning approach. *Journal* 2023; 12(1): 30–38.
- Chaturvedi SS., Gupta K., Prasad PS. Skin lesion analyser: an efficient seven-way multi-class skin cancer classification using MobileNet. *International Conference on Advanced Machine Learning Technologies and Applications* 2020; Springer, 165–176.
- Cheplygina V., de Bruijne M., Pluim JPW. Not-so-supervised: a survey of semi-supervised, multi-instance, and transfer learning in medical image analysis. *Medical image analysis* 2019; Elsevier 54: 280–296.
- Codella N., Cai J., Abedini M., Garnavi R., Halpern A., Smith JR. Deep learning, sparse coding, and svm for melanoma recognition in dermoscopy images. *International Workshop on Machine Learning in Medical Imaging* 2015; Springer, 118–126.
- Dorj UO., Lee KK., Choi JY., Lee M. The skin cancer classification using deep convolutional neural network. *Multimedia Tools and Applications* 2018; 77(8): 9909–9924. <https://doi.org/10.1007/s11042-018-5714-1>.
- Esteva A., Kuprel B., Novoa RA., Ko J., Swetter SM., Blau HM., Thrun S. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature* 2017; 542(7639): 115–118. <https://doi.org/10.1038/nature21056>.
- Giotis I., Molders N., Land S., Biehl M., Jonkman MF., Petkov N. MED-NODE: A computer-assisted melanoma diagnosis system using non-dermoscopic images. *Expert systems with applications* 2015; Elsevier 42(19): 6578–6585.
- Goutte C., Gaussier E. A probabilistic interpretation of precision, recall and f-score, with implication for evaluation. *Lecture Notes in Computer Science* 2005; 345–359.
- Hosny KM., Kassem MA., Foad MM. Skin cancer classification using deep learning and transfer learning. 2018 9th Cairo International Biomedical Engineering Conference (CIBEC) 2018; 90–93.

- Huang G., Liu Z., Van Der Maaten L., Weinberger KQ. Densely connected convolutional networks. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition 2017; 4700–4708.
- International Skin Imaging Collaboration. ISIC Archive. 2018;
- Isasi AG., Zapirain BG., Zorrilla AM. Melanomas non-invasive diagnosis application based on the ABCD rule and pattern recognition image processing algorithms. Computers in Biology and Medicine 2011; Elsevier 41(9): 742–755.
- Jain S., Singhanian U., Tripathy B., Nasr EA., Aboudaif MK., Kamrani AK. Deep learning-based transfer learning for classification of skin cancer. Sensors (Basel, Switzerland) 2021; 21(23). <https://doi.org/10.3390/s21238142>.
- Kawahara J., Hamarneh G. Multi-resolution-tract CNN with hybrid pretrained and skin-lesion trained layers. International workshop on machine learning in medical imaging 2016; Springer, 164–171.
- Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton GE. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. Advances in neural Information Processing Systems 2012; 25.
- Kumar A., Shrestha PR., Pun J., Thapa P., Manandhar M., Sathian B. Profile of skin biopsies and patterns of skin cancer in a tertiary care center of Western Nepal. Asian Pacific Journal of Cancer Prevention 2015; Asian Pacific Journal of Cancer Prevention 16(8): 3403–3406.
- Kwasigroch A., Mikolajczyk A., Grochowski M. Deep neural networks approach to skin lesions classification — A comparative analysis. 2017 22nd International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR) 2017; IEEE, 1069–1074.
- Litjens G., Kooi T., Bejnordi BE., Setio AAA., Ciampi F., Ghafoorian M., Van Der Laak JA., Van Ginneken B., Sánchez CI. A survey on deep learning in medical image analysis. Medical image analysis 2017; Elsevier 42: 60–88.
- Martens P., McMichael AJ. Environmental change, climate and health: issues and research methods. 2009; Cambridge University Press.
- McKenzie RL., Björn LO., Bais A., Ilyas M. Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface. Photochemical & Photobiological Sciences 2003; Royal Society of Chemistry 2(1): 5–15.
- McMichael AJ., McMichael T. Planetary overload: global environmental change and the health of the human species. 1993; Cambridge University Press.
- Milton MAA. Automated skin lesion classification using ensemble of deep neural networks in ISIC 2018: Skin lesion analysis towards melanoma detection challenge. arXiv preprint arXiv:1901.10802 2019;
- Moan J., Dahlback A., Porojnicu AC. At what time should one go out in the sun? Advances In Experimental Medicine and Biology 2008; United States 624: 86–88. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-77574-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-0-387-77574-6_7).

- Morid MA., Borjali A., Del Fiol G. A scoping review of transfer learning research on medical image analysis using ImageNet. *Computers in Biology and Medicine* 2021; 128: 104115.
- Pacal I., Karaboga D., Basturk A., Akay B., Nalbantoglu U. A comprehensive review of deep learning in colon cancer. *Computers in Biology and Medicine* 2020; 126: 104003. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2020.104003>.
- Perroy R. World population prospects. *United Nations* 2015; 1(6042): 587–592.
- Pimentel D., Cooperstein S., Randell H., Filiberto D., Sorrentino S., Kaye B., Nicklin C., Yagi J., Brian J., O’Hern J., Habas A., Weinstein C. Ecology of increasing diseases: Population growth and environmental degradation. *Human ecology: An Interdisciplinary Journal* 2007; Springer US 35(6): 653–668. <https://doi.org/10.1007/s10745-007-9128-3>.
- Pleiss G., Chen D., Huang G., Li T., van der Maaten L., Weinberger KQ. Memory-efficient implementation of densenets. 2017.
- Pomponiu V., Nejati H., Cheung NM. Deepmole: Deep neural networks for skin mole lesion classification. 2016 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP) 2016; IEEE, 2623–2627.
- Ramlakhan K., Shang Y. A mobile automated skin lesion classification system. 2011 IEEE 23rd International Conference on Tools with Artificial Intelligence 2011; 138–141.
- Rashid J., Ishfaq M., Ghulam A., Saeed MR., Hussain M., Alkhalifah T, Alturise F., Samand N. Skin cancer disease detection using transfer learning technique. *Applied Sciences* 2022.
- Ruiz D., Berenguer V., Soriano A., Sánchez B. A decision support system for the diagnosis of melanoma: A comparative approach. *Expert Systems with Applications* 2011; Elsevier 38(12): 15217–15223.
- Shoieb DA., Youssef SM., Aly WM. Computer-aided model for skin diagnosis using deep learning. *Journal of Image and Graphics* 2016; 4(2): 122–129. <https://doi.org/10.18178/joig.4.2.122-129>.
- Suganyadevi S., Seethalakshmi V., Balasamy K. A review on deep learning in medical image analysis. *International Journal of Multimedia Information Retrieval* 2022; 11(1): 19–38. <https://doi.org/10.1007/s13735-021-00218-1>.
- Yu X., Zeng N., Liu S., Zhang YD. Utilization of DenseNet201 for diagnosis of breast abnormality. *Machine Vision and Applications* 2019; 30(7): 1135–1144.

## Bir Çimento Fabrikasında Aydınlatma, Termal Konfor ve Titreşim Maruziyetinin Değerlendirilmesi

Hatice Rumeysa DELİCE<sup>1\*</sup>, Fikret KOÇBULUT<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Gelişim Üniversitesi, İstanbul Gelişim Meslek Yüksekokulu, Mülkiyeti Koruma ve Güvenlik Bölümü, 34310, İstanbul

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

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-2909-9193>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-3578-029X>

\*Sorumlu yazar: hrkizilgoz@gelisim.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 12.05.2023

Kabul tarihi: 11.01.2024

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

İş sağlığı ve güvenliği

Aydınlatma

Termal konfor

Titreşim

Çimento fabrikası

### ÖZ

Fiziksel risk etmenleri olarak tanımlanan gürültü, titreşim, aydınlatma, radyasyon, basınç, ısı ve termal konfor; hem işçi sağlığı ve güvenliği (İSG) açısından hem de işletmelerde istenen verimliliğin sağlanabilmesi için ele alınması gereken önemli bir faktördür. İşçilerin çalışma ortamlarından fiziksel risk faktörlerinin tamamen kaldırılması mümkün değildir ancak riski minimize etmek gerekir. Bu çalışmada bir çimento fabrikasında İSG açısından önemli bir konu olan fiziksel risk etmenlerinden; aydınlatma, termal konfor ve titreşim parametrelerinin ölçümleri ve değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışma sonucunda ölçüm yapılan işletmenin aydınlatma düzeyi düşük; termal konfor parametreleri ölçümleri sonucu ortam sıcaklıkları genelde önerilen minimum sıcaklık değerinin altında; bağıl nem ölçüm sonuçları önerilen aralıkta; hava akım hızı ölçüm sonuçları ise genel olarak önerilen değere yakın bulunmuştur. Çalışma sonucunda fabrikalarda alınabilecek çözüm önerilerine değinilmiştir. Çalışma birinci yazarın Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği ve Anabilim Dalında hazırlanan Yüksek Lisans tezinden türetilmiştir.

## Evaluation of Lighting, Thermal Comfort and Vibration Exposure in a Cement Factory

### Research Article

#### Article History:

Received: 12.05.2023

Accepted: 11.01.2024

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

Occupational health and safety

Lighting

Thermal comfort

Vibration

Cement plant

### ABSTRACT

Noise, vibration, lighting, radiation, pressure, heat and thermal comfort defined as physical risk factors; It is an important factor that must be addressed both in terms of worker health and safety (OHS) and in order to achieve the desired efficiency in businesses. It is not possible to completely remove physical risk factors from workers' working environments, but it is necessary to minimize the risk. In this study, physical risk factors, which are an important issue in terms of OHS in a cement factory; Measurements and evaluation of lighting, thermal comfort and vibration parameters were made. As a result of the study, the lighting level of the measured enterprise was low; as a result of thermal comfort parameter measurements, ambient temperatures are generally below the recommended minimum temperature value; relative humidity measurement results are within the recommended range; airflow velocity measurement results were generally found to be close to the recommended value. As a result of the study, solution suggestions that can be taken in factories are mentioned. The study is derived from the first author's Master's thesis, which was prepared in the Department of Occupational Health and Safety at Cumhuriyet University, Institute of Science and Technology.

## 1. Giriş

İş sağlığı ve iş güvenliği, bir bütün olarak iş kazaları ve meslek hastalıklarının önlenerek çalışanların sağlık ve çalışma ortamlarındaki güvenliklerinin korunmasını sağlamayı ifade eder. İş sağlığı ve güvenliğinde (İSG) çalışanların “sağlık” ve “güvenlikleri” sadece fiziksel ya da bedensel olarak ele alınmaz. Bu nedenle Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) sağlığı; “Kişinin bedensel, ruhsal ve sosyal bakımdan tam iyilik halidir.” şeklinde tanımlamaktadır (Özkılıç, 2005). İşçi sağlığını ise “Bütün mesleklerde, çalışanların fiziksel, ruhsal ve sosyal açıdan tam iyilik halinin takviyesini ve en yüksek düzeylerde sürdürülmesini, iş koşulları ve kullanılan zararlı maddeler nedeniyle çalışanların sağlığına gelebilecek zararların önlenmesini, çalışanın psikolojik ve fizyolojik özelliklerine uygun yerlere yerleştirilmesini gerektirir” şeklinde tanımlamaktadır (Özkılıç, 2005). Bu bağlamda, iş sağlığı ve güvenliği “İşyerlerinde daha iyi çalışma ortamı sağlamak ve olabilecek kazalardan korunmak amacıyla yapılan sistemli ve bilimsel çalışmalardır.” tanımı yapılmaktadır (T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 2014).

İş sağlığı ve güvenliği kapsamındaki çalışmalar sürecinde dikkat edilmesi gereken hususun en başında, hem çalışanların hem de çevredekilerin sağlık ve güvenliğini korumak için işyerlerinde bulunan sağlık ve güvenlik tehlikelerini kontrol edip gerekli önlemleri almak gelmektedir (Güler ve Akın, 2006).

İşyerlerinde çalışanlar, gürültü, tozlu, yetersiz havalandırmaya sahip yerlerde çalıştıklarında sağlığa zararlı kimyasallar, patlayıcı maddeler gibi olumsuz koşullar sebebiyle birçok tehlike veya risklere maruz kalmaktadırlar. Bu olumsuz koşullardan çalışanı ekonomik ve sosyal açıdan korumak ve aynı zamanda iş yerlerindeki maddi, manevi zararların yanı sıra iş gücü kaybını da önlemek amacıyla iş yerlerinde, iş sağlığı ve güvenliği kapsamında gerekli önlemlerin alınması hususunda bir sistem oluşturulması kanunen bir zorunluluk hâline gelmiştir (Ayhan, 2003).

Türkiye’de son yıllarda iş sağlığı ve güvenliği, yasal düzenlemeler ile önemli bir yer edinmeye başlamıştır. Çalışma alanlarında da iş sağlığı ve güvenliğine yönelik önlemler gelişerek artırılmaktadır. Bunlara ek olarak iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili birçok bilimsel çalışma da yapılmıştır ve giderek bu çalışmaların sayısı artmaktadır (Baran ve Esen, 2016).

Çimento sanayinde çalışanlar, çimento üretimi için gerekli olan kireç taşı ve alçı taşı çıkarılan taş ocaklarında iklim koşullarına, kayaların parçalanması sırasında tozlara, çimento üretim aşaması boyunca gürültü, sıcaklık gibi fiziksel risk etmenlerine maruz kalmaktadır (Füzün, 2008).

Bu olumsuzlukların yaratacağı tehlikeler, yalnızca işyerinde çalışanlar ile sınırlı değildir. Çoğu zaman bu tehlikeler, çevrede yaşayan toplumun sağlık ve güvenliğini de tehdit etmektedir.

Aydınlatma, insanoğlunun doğası gereği yaşamsal duyularından biri olan görme olayının gerçekleşmesi için gerekli olan temel unsurlardan biridir (Alparslan, 2015). İşyerlerinde de her türlü işin hatasız yapılabilmesi ve daha da önemlisi çalışanların göz sağlığının korunabilmesi ve bu sayede kendilerini iyi hissetmesi için uygun bir aydınlatma sistemi çok önemlidir. Optimum şartlarda düzenlenmiş bir

aydınlatma sistemi iyi görmeyi sağlayacağından ürün kalitesinde artış, hata payında azalma, iş süresinde kısalma, güvenli bir çalışma ortamı oluşturma gibi olumlu etkileri de beraberinde getirecektir. Aynı zamanda, çalışanların göz sağlığını koruma amacına da ulaşılmış olacaktır (Koçak, 2007).

Uluslararası Aydınlatma Komisyonu (International Commission on Illumination-CIE) aydınlatmanın asıl anlamını “Nesnelerin ve çevrenin olduğu gibi görülebilmesini sağlayan ışık uygulaması.” olarak belirtmektedir (Sirel, 1996).

Günümüzde pek çok sanayi işinde görme organı, organizmanın en fazla zorlanan bölümüdür. İş koşullarının doğurduğu yorgunluğun büyük bir kısmının göz zorlanmasından ileri geldiği tahmin edilmektedir. Bu yüzden çalışma ortamları gözü yormayacak şekilde mümkün olduğunca aydınlık olmalıdır; ancak, aşırı şekilde yapılmış aydınlatma, iyi yapılmamış bir aydınlatma kadar gözü yorar ve görmeyi zorlaştırır. Bu nedenle, iyi görme koşullarının sağlanabilmesi için cisimlerin işin niteliğine uygun bir şekilde aydınlatılması gerekir. Bununla birlikte, uygun bir şekilde aydınlatılmamış bir iş yerinde hareket eden nesnelerle, kişilerin kendi davranışları arasındaki koordinasyonu sağlayabilmeleri çok zordur. Dolayısıyla, iyi bir aydınlatmanın yapılmadığı iş yerlerinde, iş kazasının meydana gelme olasılığı, uygun ve iyi aydınlatılmış bir işyerine göre daha fazladır. İyi bir aydınlatma ile insan performansı %15 hatta bazen %40 oranında artabilir (Berk, 1991; Koçak, 2007).

CIE ve Avrupa Standardizasyon Komitesi (European Committee for Standardization-CEN) tarafından asgari aydınlık düzeyi konusunda farklı mekânların aydınlatması için tavsiye aydınlık değerleri oluşturulmuştur. Sanayi ve ofis işlerinde önerilen aydınlık düzeylerine ilişkin seviyeler Tablo 1’de verilmiştir (Kızılgöz, 2017).

**Tablo 1.** Sanayi ve ofis işlerinde önerilen aydınlık düzeyleri değerleri (Kızılgöz, 2017).

Aktivitenin Yapıldığı Yerin Özellikleri	Aydınlık Düzeyi Aralığı (lx)
Etrafı karanlık olan kamusal alanlar	20-50
Kısa süreli ve geçici uğranılan hızlı adapte olunabilecek yerler	50-100
Görevin görsel olarak ara sıra yapıldığı yerler	100-200
Yüksek kontrastlı ve büyük boyutta işlerin yapıldığı yerler	200-500
Orta kontrastlı ve küçük boyutta işlerin yapıldığı yerler	500-1000
Orta kontrast düzeyinde, çok küçük boyutta işlerin yapıldığı yerler	1000-2000
Düşük kontrastlı ve büyük boyutta işlerin uzun süre yapıldığı yerler	2000-5000
Detaylı görsel görevlerin uzun süre yapıldığı yerler	5000-10000

Aydınlatma açısından uygun çalışma koşulları oluşturulurken mümkün merteye gün ışığından faydalanılmalıdır. Gün ışığının sağlanamadığı durumlarda alternatif olarak yapay bir aydınlatma sistemi oluşturulmalıdır. İşyerlerinde aydınlatma düzeni oluşturulurken TS EN 12464-1 (Işık ve aydınlatma-Çalışma yerlerinin aydınlatılması-Bölüm 1: Kapalı çalışma alanları) ve TS EN 12464-2 (Işık ve aydınlatma-Çalışma yerlerinin aydınlatılması-Bölüm 2: Açık çalışma alanları) için verilen standartlar kullanılmalıdır.

İnsanın yaşamına sağlıklı bir şekilde devam edebilmesi için gerekli diğer bir koşul ise vücut sıcaklığının normal bir sıcaklık değerinde tutulmasıdır. Termal konfor, insanların çok soğuk ve çok sıcak



hissetmemesi -yani, insanların bedensel, zihinsel faaliyetlerini sürdürürken ısı derecesinin problem yaratmaması- ve belirli bir rahatlık içinde bulunmalarını ifade eder. İnsanların buldukları ortamlarda hissettikleri sıcaklık, kuru termometre ile ölçülen sıcaklık değil; fizyolojik olarak hissettikleri ısıdır. Bu ısı ise içinde bulunulan ortamdaki kuru termometre sıcaklığı, ortamdaki hava akım hızı, havanın nemi ve radyant ısıdır. Bu faktörlerin etkisi altında duyulan ısıya “efektif ısı” denir. Eğer çalışma ortamında termal konfor şartları yetersiz ise rahatsızlık duyulmaya başlanır; buna bağlı olarak da insanın çalışma kapasitesi ve iş verimi düşer (Altıntaş, 2008).

İnsan kullanımını için kabul edilecek ve sağlık karşıtı etkilerden sakınmak için tasarlanan iç mekan hava kalitesini ve minimum havalandırma oranlarını belirlemek amacıyla oluşturulan ASHRAE-55 Standardı (İnsan Kullanımı İçin Termal Çevre Koşulları ve Termal Duyarlılık Tahmini) ve konfor için kabul edilir termal çevre koşullarını belirlemeye ek olarak ılımlı termal çevreye maruz kalan insanların konforsuzluk derecelerini belirlemek amacıyla oluşturulan ISO 7730 (İlımlı Termal Çevreler-PMV ve PPD İndislerinin ve Termal Konfor Koşullarının Belirlenmesi) standartlarında termal konfor; ‘termal çevreyle memnuniyeti anlatan koşul’ olarak tanımlanır (Taşyürek, 2007).

Termal konfor, insanın boyutu, yaşı ve cinsiyeti gibi birçok parametreye bağlıdır; ancak, yine de en genel anlamda termal konforu etkileyen parametreler, çevresel -havanın sıcaklığı, göreceli nem, hava akım hızı, ortalama ışınım sıcaklığı- ve kişisel -fiziksel aktivite (metabolizma hızı), giyinme-değişkenler olarak ikiye ayrılabilir (Demir, 2007).

Kinetik enerjinin potansiyel enerjiye ve potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşmesi olayına, “titreşim” denir. Ayrıca titreşim, mekanik bir sistemdeki salınım hareketlerini ifade eden bir terimdir. İşyeri ortam faktörlerinden fiziksel faktörler arasında yer alan titreşim -vibrasyon-, günümüzde çalışanların iş yeri ortamı koşullarından olumsuz etkilenmesine yol açan önemli bir risk faktörüdür (Güven, 2002). İş yerlerinde titreşim kaynağı olarak araç ve makinelerin salınımlı hareketleri, makinelerin bağlantı noktalarındaki çarpışma ya da sürtünmesiyle oluşan titreşim veya binalarda meydana gelen titreşim, çalışanların sağlık ve güvenliği için risk oluşturan bir unsurdur. Titreşim hareketi, salınımlı bir harekettir. Bu tip hareketler bir denge veya referans nokta etrafında yapılan hareketlerdir ve “harmonik hareket” adını alırlar. Yer değiştirme, cismin durgun pozisyonuna göre o anki pozisyonunu belirtir. Titreşimin insan sağlığını etkilemesi ve iletim derecesi, titreşimin çeşidi, büyüklüğü -dalga boyu-, frekansı, maruziyet süresi ve etkilenen vücut parçasına bağlı olarak değişiklik gösterir. Çalışma sırasında titreşime maruz kalan kişilerde, yine bu faktörlere bağlı olarak kişinin sağlığı üzerinde çok farklı etkileri görülebilir (Akbulut, 1996).

İş kazaları ve meslek hastalıklarının önlenmesinde; iş veya işe bağlı tehlike ve risklerin tespit edilmesi önemli bir aşamadır. Fiziksel risk faktörlerinin tespiti, değerlendirilmesi ve iyileştirme faaliyetlerinin belirlenmesi işletmelerdeki sağlık ve güvenlik seviyelerini yükselteceği yadsınamaz bir gerçektir. Bir çimento fabrikasında fiziksel risk etmenleri parametrelerinden olan aydınlatma, termal konfor ve titreşim düzeyini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, aydınlatma ölçüm sonuçları, çalışma yerlerinin aydınlatılması TS EN 12464-1: 2013 ve TS EN 12464-2: 2013 standartlarında

belirtilen aydınlık düzeyi değerleri ile kıyaslanmıştır. Termal konfor ölçüm sonuçları literatür değerleri ve titreşim ölçümleri ise ilgili mevzuat değerleri ile kıyaslanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Ölçüm ve Yöntem

Aydınlatma ölçümleri Şekil 1’de görülen ‘HD450 Extech’ luxmetre cihazı ile yapılmıştır. Ölçüm birimi lüks -lx-tür. Cihaz 400.000 Lux'e kadar ışık şiddeti ölçebilme özelliğine sahiptir.



Şekil 1. Luxmetre genel görünümü.

Ölçümler, işletmenin iş akışı içinde ve çalışma bölgesindeki görüş alanında her ölçüm aşamasında üç farklı ölçüm alınarak yapılmış; sonuçlar, ortalama ve standart sapmaları ile verilmiştir. Ortalama aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları, TS EN 12464 No.lu standarttaki ilgili referans değerlerle karşılaştırılmıştır. Her bölümde yapılan ölçümler, incelenen tesisin İSG uzmanının gözlemlerine dayanarak gerçekleştirilmiştir.

Termal konfor ölçümleri, Şekil 2’de görülen iç ortam sıcaklığı, hava hızı ve havadaki nem miktarı ölçümleyebilen ‘Testo 435’ ölçüm cihazı ile yapılmış ve ölçüm sonuçları, m/sn, °C ve Rh -bağıl nem-şeklinde verilmiştir.



Şekil 2. Termal konfor ölçümü cihazının genel görünümü.

Termal konfor ölçümlerinde sensörler mümkün olduğunca çalışma yerine yakın yerleştirilerek işletmenin rutin iş akışı içinde gerçekleştirilmiştir. Ölçüm yapılan her alanda ortam sıcaklığı, ortamın bağıl nemi ve hava akım hızı, üçer defa ölçülerek sonuçlar ortalama değer olarak kaydedilmiştir.

Bütün vücut titreşim ölçümlerinde kullanılan güç aktarıcı -transdüser- titreşimin insan vücuduna temas ettiği noktaya mümkün olan en yakın mesafede koordinat eksenlerine uygun bir şekilde sabitlenerek belirlenen süre boyunca kesintisiz olarak alınmıştır.

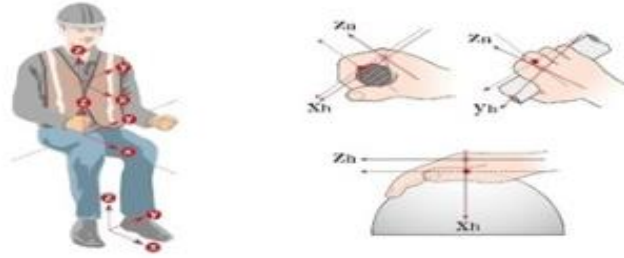
Ölçüm birimleri,

**A(8):** Sekiz saatlik sürede sürekli ivme -rms- eşdeğeri cinsinden tanımlanan günlük titreşim maruziyet değeri;

**Aeq:** Ölçüm süresi boyunca elde edilen tüm Arms değerlerinin ortalama maruziyet değeri;

**Amax:** Ölçüm süresi boyunca elde edilen tüm Arms değerleri arasındaki en büyük Arms değeri;

Koordinat sistemi -titreşim- yönleri: Şekil 3'te gösterilen ve merkezi insan üzerinde olan koordinat sistemine göre X eksenini, sırttan göğüse; Y eksenini, sağdan sola ve Z eksenini, ayaktan -kalçadan- başa doğrudur.



Şekil 3. Koordinat sistemi -titreşim- yönleri.

Titreşim maruziyetinin belirlenmesinde, merkezi insan üzerinde olan koordinat sistemine göre üç ekseninde ölçüm alan ve yarı sert bir diskin içine yerleştirilmiş olan güç aktarıcı -transdüser- '01 dB Vib008' ivme ölçer cihazı kullanılmıştır. Cihaz, el-kol ve tüm vücut titreşimlerinin ölçümleri için kullanılabilir. Güç aktarıcı -transdüser- 0,001-500 m/s<sup>2</sup> rms peak ölçüm aralığına sahiptir. Titreşim ölçümü için kullanılan cihaz Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Titreşim ölçerin genel görünümü.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Aydınlatma ve termal konfor ölçümleri, laboratuvar, işletme katı, kırıcı giriş, sevkiyat, paketleme, ambar, elektrik bakım, fırın 1-2, kömür değirmeni, farin değirmeni, siklon katı, makine bakım, çimento

değirmeni giriş ve yemekhane bölümleri olmak üzere fabrikanın on dört farklı bölümünde yapılmıştır. Titreşim ölçümleri, fabrikada kullanılan kepçe, kırıcı, kamyon ve lastik tekerlekli yükleyici araçlarını kullanan çalışanlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her bir alanda üçer tekrarla yapılan aydınlık düzeyi tespitleri, ölçüm değerlerinin ortalamalarına göre belirlenmiştir (Tablo 2).

**Tablo 2.** Aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları ve referans değerleri

ÖlçümNoktası	1.Ölçüm (lx)	2. Ölçüm (lx)	3. Ölçüm (lx)	Ortalama Standart Sapma(lx)	Ölçüm ve Referans No. [1,2]	*Önerilen Değerler (lx)
Laboratuvar	54,2	56,5	55,5	55,4±8,3	5.10.4	500
İşletme Katı	43,7	42,6	43,0	43,1±6,4	5.1.1	100
Kırıcı Giriş	8,4	7,8	8,6	8,3±1,2	5.8.2	200
Sevkiyat	9,9	10,0	10,2	10,0±1,5	5.1.4	150
Paketleme	37,1	35,4	34,9	35,8±5,4	5.4.2	300
Ambar	41,0	40,9	41,1	41,0±6,1	5.4.1	100
Elektrik Bakım	43,4	43,0	43,1	43,2±6,5	5.20.5	500
Fırın 1-2	5,7	6,0	5,9	5,9±0,9	5.1.2	10
KömürDeğirmeni	81,7	80,1	81,5	81,1±12,1	5.8.2	200
Farin Değirmeni	22,0	3,7	22,3	22,0±3,3	5.8.2	200
Siklon Katı	7,8	8,1	7,6	7,8±1,2	5.1.2	150
Makine Bakım	37,8	37,5	38,1	37,8 ± 5,7	5.24.6	300
Çimento Değirmeni	43,0	42,9	43,2	43,0±6,4	5.8.2	200
Yemekhane	117	111	114	114±17,1	5.29.4	200

[1] kapalı alanlarda TS EN 12464 standardına göre aydınlatma sınır değerleri, [2] açık alanlarda TS EN 12464 standardına göre aydınlatma sınır değerleridir. \*Önerilen değerler (TSE, 2013).

Aydınlık düzeyi ölçüm sonuçları TS EN 12464-1 ve TS EN 12464-2 standartlarında verilen referans değerler ile kıyaslanmıştır (Tablo 3 ve 4).

**Tablo 3.** Kapalı çalışma alanları için referans değerleri (TS EN 12464-1)

Referans No	Alan-İş veya Faaliyet Tipi	Ortalama Aydınlatma Şiddeti Değeri (lx)
5.1.1	Dolaşım alanları ve koridorlar	100
5.1.2	Merdivenler, yürüyen merdivenler, yürüyen yaya yolları	150
5.1.4	Yükleme rampaları/peronları	150
5.4.1	Depo ve ambarlar	100
5.4.2	Dağıtım paketleme alanları	300
5.8.2	Malzemelerin hazırlanması; fırınlama ve karıştırıcılar ile ilgili çalışma	200
5.10.4	Hassas ölçme odaları, laboratuvarlar	500
5.20.5	Kumanda odaları	500
5.24.6	Genel taşıt hizmetleri, tamir ve deney	300
5.29.4	Self servis restoran	200

**Tablo 4.** Açık çalışma alanları için referans değerleri (TS EN 12464-2)

Referans No	Alan-İş veya Faaliyet Tipi	Ortalama Aydınlatma Şiddeti Değeri (lx)
5.1.2	Bisikletler, kamyonlar ve kazı makinesi gibi yavaş hareket eden taşıtlar için trafik alanları (en fazla 10 km/h)	10

TS EN 12464-1 ve TS EN 12464-2’de ilgili maddelerinde verilen aydınlık düzeyi referans değerleri; fabrikadaki bölüm, iş veya faaliyet tipi özellikleri dikkate alınarak kullanılmıştır. Yapılan ölçüm sonuçlarında Tablo 3’de görüldüğü gibi ilgili standartların referans değerlerine karşılık gelen ölçüm sonuçları tespit edilmesine rağmen yine ilgili standartların referans değerlerine karşılık gelmeyen ölçüm sonuçlarının da olduğu analiz edilmiştir.

Tablo 2’ye bakıldığında üçer kez yapılan aydınlatma ölçümlerinin standart sapsmalarıyla birlikte ortalamalarının alınarak verildiği görülmektedir. Ayrıca, çizelgede verilen ‘Referans No.’ kıyaslama yaptığımız standarttaki ilgili bölümleri belirtmektedir.

Aydınlık düzeyi değerlerinin kıyaslamasında kullanılan standartlar (TS EN 12464-1, TS EN 12464-2), normal görebilen kişilerin görme rahatlığı ve performans ihtiyaçlarını karşılayan aydınlatma kurallarını kapsamaktadır. Kullanılan standartlar birçok açık veya kapalı çalışma yeri ile bunların ilişkili alanları için aydınlatma çözümlerini, aydınlatmanın niceliği ve niteliği açılarından belirlemektedir ve ayrıca uygun aydınlatma koşulları için tavsiyeler de verilmektedir.

Aydınlatma ölçümü yapılan bölümlerin sonuçlarına bakıldığında -genellikle- referans olarak alınan değerlerden oldukça düşük olduğu görülmektedir (Tablo 2). Örneğin, yemekhane bölümündeki aydınlık düzeyi 200 lx olması gerekirken 114 lx olarak bulunmuştur. Fabrikada termal konfor ölçümleri, aydınlatma ölçümlerinin yapıldığı noktalardan alınmıştır. Termal konfor için ortam sıcaklığı ölçümleri, ortamın bağıl nem ölçümleri ve hava akım hızı ölçümleri yapılmıştır. Her bir parametre için ölçümler üçer kez tekrarlanarak ortalama değer olarak verilmiş ve işin niteliğine göre iş yerlerinde sağlanması gereken termal koşullar için önerilen hava sıcaklığı, bağıl nem ve hava akım hızı değerleriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken her bölüm için bu bölümlerde çalışma şekli ve iş yükü göz önünde bulundurulmuştur.

İşçi Sağlığı ve İşçi Güvenliği Tüzüğü 20. maddesinde “Çok buğu husule gelen işyerlerinde sıcaklık derecesi 15 santigrat dereceden az ve 30 santigrat dereceden yüksek olmayacaktır.” ibaresi yer almaktadır (İşçi Sağlığı ve Güvenliği Tüzüğü, 1974); ancak, bu tüzük 16.04.2014 tarihinde yürürlükten kaldırıldığı için çalışmamızda termal konfor parametrelerinden sıcaklık, bağıl nem ve hava akım hızı için literatür bilgileri referans olarak kullanılmıştır. Termal konfor ölçümlerinin yorumlanmasında kullanılan değerler Tablo 5’de verilmiştir.

**Tablo 5.** İklimsel konfor değerleri (Hacıosmanoğlu, 2013)

Çalışma Şekli ve İş Yüğü	Hava Sıcaklığı (°C)			Bağıl Nem (%)			Hava Akımı (m/sn)
	min	opt	max	min	opt	max	max
Ofis işi	18	21	24	30	50	70	0,1
Oturarak hafif iş	18	20	24	30	50	70	0,1
Ayakta hafif iş	17	18	22	30	50	70	0,2
Ağır iş	15	17	21	30	50	70	0,4

Tablo 6’da işletmede ölçülen termal konfor değerlerinden ortam sıcaklığına yer verilmiş olup ölçüm sonuçları 9,2 °C-25,8 °C değişen aralıklarda bulunmuştur.

**Tablo 6.** Ortam sıcaklığı ölçüm sonuçları (Eylül, 2016)

Ölçüm Noktası	1. Ölçüm (°C)	2. Ölçüm (°C)	3. Ölçüm (°C)	Ortalama Ölçüm (°C)	*Önerilen Değerler (°C) min-opt-max
	Laboratuvar	25,8	25,7		25,8
İşletme Katı	24,3	24,2	24,2	24,2	18-21-24
Kırcı Giriş	10,6	10,7	10,2	10,5	17-18-22
Sevkiyat	9,5	9,3	9,7	9,5	17-18-22
Paketleme	9,9	10,0	9,8	9,9	17-18-22
Ambar	10,3	10,5	10,5	10,4	17-18-22
Elektrik Bakım	9,9	10,0	10,1	10,0	17-18-22
Fırın 1-2	11,3	11,3	11,2	11,3	15-17-21
Kömür Değirmeni	14,2	14,7	14,5	14,5	17-18-22
Farin Değirmeni	21,3	21,0	21,2	21,2	17-18-22
Siklon Katı	20,2	21,0	20,3	20,5	15-17-21
Makine Bakım	14,3	14,2	14,3	14,3	15-17-21
Çimento Değirmeni	15,0	14,9	15,1	15,0	17-18-22
Yemekhane	21,6	21,7	21,6	21,6	15-17-21

Laboratuvar ve işletme katı ortam sıcaklığı ölçüm sonuçları ortalaması, ofis işleri için önerilen termal konfor değerlerinden maksimum sıcaklık değerinin üstünde bulunmuştur. Bu bölümler için sıcaklık değeri 18-24 °C arasında olmalıdır.

Ayakta hafif işler için önerilen ortam sıcaklığı değerleri ile ölçümünü yaptığımız bölümlerden, bu niteliğe uygun bölümlerin sonuçları Tablo 6’da verilmiştir. Sonuç olarak kırcı giriş, sevkiyat, paketleme, ambar, elektrik bakımı, kömür değirmeni ve çimento değirmeni bölümlerinin ortalama ölçüm sonuçları önerilen değerlerden minimum sıcaklık değerinin altında, farin değirmeni bölümü sonucu ise önerilen maksimum sıcaklık değerine yakın bulunmuştur.

Ağır işler için önerilen termal konfor şartları ve çalışmamızdaki ölçüm yapılan bölümlerden iş şekli ve iş yükü açısından bu tanıma uygun bölümlerin ortam sıcaklığı ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması Tablo 6’da verilmiştir. Karşılaştırma sonucunda Fırın 1-2 ve makine bakım bölümü ölçüm sonuçları, önerilen minimum değerinin altında; siklon katı önerilen maksimum değere yakın ve yemekhane bölümü sıcaklık ölçüm sonucu ortalaması önerilen maksimum değerinin üzerinde bulunmuştur.

**Tablo 7. Ortam bağıl nem ölçüm sonuçları (Eylül, 2016)**

Ölçüm Noktası	1. Ölçüm (%)	2. Ölçüm (%)	3. Ölçüm (%)	Ortalama ölçüm (%)	*Önerilen Değerler min-opt-max
Laboratuvar	40,0	39,6	39,7	39,7	30-50-70
İşletme Katı	44,2	44,0	44,3	44,3	30-50-70
Kırıcı Giriş	62,7	63,0	62,9	62,9	30-50-70
Sevkiyat	61,4	61,7	61,4	61,4	30-50-70
Paketleme	72,4	73,0	72,8	72,8	30-50-70
Ambar	82,5	83,0	82,7	82,7	30-50-70
Elektrik Bakım	86,0	85,7	85,0	85,0	30-50-70
Fırın 1-2	73,7	73,4	73,6	73,6	30-50-70
Kömür Değirmeni	68,3	69,1	68,9	68,9	30-50-70
Farin Değirmeni	44,3	44,0	44,3	44,3	30-50-70
Siklon Katı	45,3	45,0	45,4	45,4	30-50-70
Makine Bakım	66,3	66,8	66,4	66,4	30-50-70
Çimento Değirmeni	67,0	67,2	67,0	67,0	30-50-70
Yemekhane	62,4	63,0	62,8	62,8	30-50-70

Tablo 7'ye bakıldığında termal konfor parametrelerinden ortam nem sonuçlarının (%) 39,8-85,6 arasında değişen değerlerde bulunduğu görülmektedir. İş yerlerinde sağlanması gereken hava koşulları için önerilen bağıl nem değerleri minimum %30, optimum %50 ve maksimum %70 aralığındadır.

Buna göre laboratuvar ölçüm sonucu, önerilen minimum değere yakın; kırıcı giriş, sevkiyat, kömür değirmeni, çimento değirmeni, yemekhane ve makine bakım bölümleri için bulunan sonuçlar, önerilen maksimum bağıl nem sonucunun altında; ambar, paketleme, elektrik bakım, fırın 1-2 bölümlerinin ölçüm sonuçları, önerilen maksimum değer üstünde; farin değirmeni, siklon katı ve işletme katı bölümlerinin bağıl nem sonucu ise önerilen optimum değere yakın bulunmuştur.

Termal konfor ölçümü parametrelerinden biri olan hava akım hızı için ise her bölüm için üç tekrarlı ölçüm alınmıştır. Tablo 8'de hava akım hızı ölçüm sonuçları verilmiştir. Ölçümlerin ortalama değerleri 0,05-0,60 m/sn aralığında bulunmuştur. Çalışmamızda, çalışma şekli ve iş yükü bakımından benzer olan bölümlerden işletme katı ortalama ölçüm sonucu, ofis işleri için önerilen hava akım hızı değerinden çok düşük bulunmuştur. Laboratuvar bölümü ölçüm sonucu ise önerilen değer üzerinde bulunmuştur (Tablo 8). Ayakta yapılan hafif işler için önerilen hava akım hızı ile yapılan işin benzerliği düşünülerek ilgili bölümlerdeki hava akım hızı ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi sonucu; kırıcı giriş, sevkiyat, ambar, elektrik bakım ve çimento değirmeni giriş bölümleri önerilen değere yakın; paketleme, kömür değirmeni ve farin değirmeni bölümlerinin ölçüm sonuçları ise önerilen değer çok üstünde bulunmuştur (Tablo 8). Çalışma şekli ve iş yükü açısından ağır işler için önerilen hava akım hızı 0,4 m/sn'dir. Fırın 1-2, siklon katı, makine bakım ve yemekhane bölümlerinde yaptığımız hava akım hızı ölçüm sonuçları ve önerilen değerle karşılaştırıldığında fırın 1-2 bölümünde hava akım hızı önerilen değer üzerinde; siklon katı bölümü önerilen değere yakın; makine bakım ve yemekhane bölümü önerilen değer çok altında bulunmuştur.

**Tablo 8.** Hava akım hızı ölçüm sonuçları (Eylül, 2016)

Ölçüm Noktası	1. Ölçüm (m/sn)	2. Ölçüm (m/sn)	3. Ölçüm (m/sn)	Ortalama Ölçüm (m/sn)	*Önerilen Değerler (m/sn)
Laboratuvar	0,12	0,16	0,14	0,14	0,1
İşletme Katı	0,07	0,08	0,07	0,07	0,1
Kırıcı Giriş	0,27	0,31	0,29	0,29	0,2
Sevkiyat	0,22	0,25	0,24	0,24	0,2
Paketleme	0,41	0,38	0,40	0,40	0,2
Ambar	0,24	0,20	0,18	0,21	0,2
Elektrik Bakım	0,21	0,24	0,20	0,22	0,2
Fırın 1-2	0,61	0,58	0,60	0,60	0,4
Kömür Değirmeni	0,51	0,49	0,50	0,50	0,2
Farin Değirmeni	1,07	1,08	1,08	1,08	0,2
Siklon Katı	0,30	0,31	0,35	0,32	0,4
Makine Bakım	0,11	0,14	0,17	0,14	0,4
Çimento Değirmeni	0,32	0,28	0,29	0,30	0,2
Yemekhane	0,04	0,05	0,05	0,05	0,4

Hava akım hızı tek başına termal konfor şartlarını belirlemede yeterli değildir. Hava sıcaklığı arttıkça hava akım hızının artırılması serinlik hissi verir. Bunun yanında hava akım hızının ortamdaki kirli hava yerine temiz havanın girmesinde ve ortam kirleticilerinin uzaklaştırılmasında etkilidir. Bunun için uygun bir havalandırma -yani, uygun bir hava akım hızı- çok önemlidir.

Fabrikada titreşim ölçümleri, sadece bütün vücut titreşimini gerektiren loder, kamyon, kırıcı ve traktör araçlarını kullanan çalışanlar üzerinde yapılmıştır. Bütün vücut titreşimi sonuçları, titreşim yönetmeliğinde sekiz saatlik çalışma süresi için verilen etkin maruziyet ve sınır maruziyet değerleri ile karşılaştırılmıştır. Tablo 9’da titreşim oluşturan araç kullanıcılarında sekiz saatlik çalışma süresi boyunca maruz kalınan bütün vücut titreşim ölçüm sonuçları verilmiştir. Tablo 9’da belirtilen tüm vücut titreşimi ölçüm sonuçlarına bakıldığında titreşim maruziyetine en çok lastik tekerlekli yükleyici operatörü; en az titreşim maruziyetine ise kırıcı operatörü maruz kalmıştır.

**Tablo 9.** Bütün vücut titreşim ölçüm sonuçları (Eylül, 2016)

Ölçüm Birimi	Ölçüm Personeli	Ax (eq)	Ay (eq)	Az (eq)	A (8)	Sınır değerler
		(m/sn <sup>2</sup> )	(m/sn <sup>2</sup> )	(m/sn <sup>2</sup> )	(m/sn <sup>2</sup> )	(m/sn <sup>2</sup> )
Lastik tekerlekli yükleyici	Çalışan 1	0,63	0,48	0,70	0,091	0.51/1.152
Kamyon	Çalışan 2	0,24	0,31	0,41	0,044	0.51/1.152
Kamyon	Çalışan 3	0,31	0,37	0,66	0,069	0.51/1.152
Kırıcı ünitesi	Çalışan 4	0,33	0,19	0,83	0,047	0.51/1.152
Kırıcı ünitesi	Çalışan 5	0,015	0,016	0,018	0,002	0.51/1.152
Kırıcı ünitesi	Çalışan 6	0,018	0,022	0,023	0,003	0.51/1.152
Traktör	Çalışan 7	0,38	0,47	0,36	0,055	0.51/1.152

<sup>1</sup>Maruziyet Eylem Değeri, <sup>2</sup>Maruziyet Sınır Değeri (ÇSGB, 2013).

Fabrikada lastik tekerlekli yükleyici aracını kullanan Çalışan 1’in sekiz saatlik çalışma sonucunda maruz kaldığı titreşim düzeyi 0,091 m/sn<sup>2</sup>’dir. Ölçüm sonucu yasal mevzuatta belirlenen titreşim maruziyet sınır ve etkin değerinin çok altındadır (Tablo 9).



Kamyon aracını kullanan Çalışan 2 ve Çalışan 3'ün sekiz saatlik çalışma sonucu maruz kaldıkları titreşim düzeyleri sırasıyla 0,044 m/sn<sup>2</sup> ve 0,069 m/sn<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Ölçülen değerler maruziyet sınır ve eylem değerinin altındadır. Kırıcı aracını kullanan üç çalışanda yapılan ölçüm sonuçlarına göre sekiz saatlik çalışma sonucunda ölçülen değerler Çalışan 5 için 0,002 m/sn<sup>2</sup>, Çalışan 6 için 0,003 m/sn<sup>2</sup> ve Çalışan;4 için 0,047 m/sn<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Bu değerler mevzuatta kabul gören etkin maruziyet ve sınır maruziyet değerlerinin oldukça altındadır. Traktör aracını kullanan çalışan Çalışan 7'de yapılan bütün vücut titreşim sonucu 0,055 m/sn<sup>2</sup>'dir (Tablo 9). Bu değer ilgili mevzuatta kabul edilen maruziyet eylem ve sınır değerlerin altındadır.

Yapılan bu çalışmada, bir çimento fabrikasında; aydınlatma, termal konfor ve titreşim fiziksel etkenlerinin İş Sağlığı ve Güvenliği açısından uygunluğunun araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda aydınlatma etkeninden aydınlatma şiddeti, termal konfor etkenlerinden ortam sıcaklığı, havadaki nem miktarı ve hava akım hızı, titreşim etkenlerinden ise el-kol ve tüm vücut titreşim ölçümleri yapılmıştır. Çalışmanın yapıldığı fabrikada ölçümü yapılan parametreler ile ilgili daha önce bir ölçüm verisine ulaşılamamıştır. Yapılan ölçümler, ilgi mevzuatlarda yer verilen standartlarla ve literatür bulgularıyla kıyaslanmıştır (TSE 2013; Hacıosmanoğlu 2013; Eylül 2016; ÇSGB 2013).

#### 4. Sonuç

Fabrikada aydınlatma düzeyleri ölçüm yapılan her bölümde önerilen değerlerden düşük bulunmuştur.

Bu doğrultuda aşağıda belirtilen önlemlerin alınması tavsiye edilir:

- Aydınlatma projesi hazırlanmalıdır. Proje tasarımında fabrikadaki ışık kaynakları ve yüzeylerin etkisi dikkate alınmalıdır. İSG yanında çevre de dikkate alınarak sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlayacak aydınlatma kaynaklarının kullanılması önerilir.
- Fabrikadaki ortalama aydınlık düzeyi yetersiz olarak ölçülen alanlar, karşılaştırma yapılan ilgili standartlardaki (TS EN 12464-1: 2013, TS EN 12464-2: 2013) önerilen aydınlık değerlerinden az olmaması gerekmektedir. Ortalama aydınlık düzeyi değerinin iyileştirilmesi ve ilgili standarttaki (TS EN 12464) tavsiye edilen aydınlık düzeyi değerine ulaşması için uygun olan yerlerde aydınlatma armatürlerinin sayısı arttırılmalı; bu bölümler toz ve kire karşı izole edilmelidir.
- Aydınlık düzeyini arttırmak için ışık şiddeti daha yüksek ampuller kullanılmalı ve şeffaflığı kaybolmuş ampuller değiştirilmelidir.

Fabrikada yapılan termal konfor parametreleri ölçümleri sonucu ortam sıcaklıkları genelde önerilen minimum sıcaklık değerinin altında; bağıl nem ölçüm sonuçları önerilen aralıkta; hava akım hızı ölçüm sonuçları ise genel olarak önerilen değere yakın bulunmuştur. Çalışanların termal konfor ortamından nasıl etkilendiğini daha doğru değerlendirebilmek için ölçüm parametrelerinin birlikte ele alınması

gerekmektedir. Genel olarak fabrikanın çalışma alanları termal konfor sağlayacak şekilde dizayn edilmemiştir.

- Fabrikanın termal konfor şartlarını, çalışanın çoğunluğunu rahat hissettirecek şekilde düzenlemek mümkündür; fakat, tüm çalışanlar için uygun koşulları yaratmak çok zordur.
- Ağır, hafif ve idari işlerin yapıldığı ortamlarda termal konfor şartları her bir bölüm için ayrı ayrı ve titizlikle değerlendirilmelidir.
- Termal problemleri çözmek için idari kontroller artırılmalı ve teknik birtakım önlemler alınarak çözüm odaklı düzenlemeler yapılmalıdır.
- Termal konfor şartlarını iyileştirmek ve ortam sıcaklığının optimum düzeyde olmasını sağlamak için iklimlendirme -klima- cihazı, ısıtıcı cihaz sistemleri temin edilmeli ve bu cihazların bakım ve temizliği düzenli yapılmalıdır.
- Yeterli temiz havanın çalışma ortamına alınmamasından kaynaklanan rahatsızlıkların önlenmesi için kapalı çalışma ortamlarının düzenli havalandırılması da sağlanmalıdır.
- Fabrikadaki ortamın bağıl nem miktarını optimum düzeyde tutmak için gerekli yerlere fazla nemi azaltan iklimlendirme sistemleri kullanılmalıdır.
- Hava akım hızı uygun olmayan bölümlerde iyi tasarlanmış havalandırma sistemleriyle uygun hava akımı oluşturmalıdır.
- Ölçüm ve değerlendirmesi yapılan termal konfor parametreleri ile birlikte, çalışanların rutin iş aktiviteleri, bireysel özellikleri -fiziki yapı, ruh durumu, sağlık ve beslenme vb. ve iş kıyafetleri termal ortamı değerlendirmede dikkate alınmalıdır.
- Bulunan titreşim sonuçları yasal mevzuatta geçerli olan maruziyet sınır ve etkin değerlerinin çok altındadır; ama uzun süreli maruziyet sonucu sorun yaşanmaması için çalışma ortamındaki titreşimin kaynağı olan makinelerin bakımları düzenli olarak yapılmalı; eski olan makine ve ekipmanların oluşturacağı titreşimler uygun değerlerde tutulmalıdır.
- Ağır taşıma araçlarından kaynaklanan titreşimin giderilebilmesi için rotasyon yapılmalıdır.
- Titreşimden korunmanın temel hedefi, titreşimi kaynağında azaltmaya yönelik olmalıdır. Genellikle makine dizaynı sırasında titreşimi azaltacak zeminler yapılmalı ve titreşimi az olan makineler satın alınmalıdır.
- Kullanılan makinelerin bakımları zamanında yapılmalı; vuran ve titreşen kısımlar için izolasyon uygulanmalıdır.

## **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar, herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

## **Kaynakça**

Akbulut T. İşçi sağlığı prensip ve uygulamaları. 5. Baskı. İstanbul. Sistem Yayıncılık; 1996.

Alpaslan Ş. Kentsel yaşamda aydınlatmanın önemi ve aydınlatma problemlerinin tespiti. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 2015.

Altıntaş E. Termal konfor duyarlılık ölçeğine göre ilköğretim dersliklerinin termal konfor açısından değerlendirilmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, Türkiye, 2008.

Ayhan A. Çalışma hayatımız bakımından işyerlerinde işçi sağlığı ve işçi güvenliği kurullarının oluşturulması ve önemi. Kamu İş Dergisi 2003; 2(7): 81.

Baran Y., Esen Y. İş sağlığı ve güvenliği açısından yüksekte çalışma. 8. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, İstanbul, 2-3 Haziran 2016, sayfa no: 205-212.

Berk M. Çimento sanayiinde iş hijyeni sorunları ve çözüm önerileri. T.C. Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 64, Ankara, Türkiye, 1991.

Çalışanların Titreşimle İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik, (2013, 22 Ağustos) Resmi Gazete (Sayı: 28743). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/08/20130822-2.htm> (Erişim Tarihi: 18.10.2016).

Demir C. Şanlıurfa'daki hastanelerde fiziksel ortam faktörleri düzeyi ve çalışan sağlığına etkileri T.C. Harran Üniversitesi Tıp Fakültesi Uzmanlık Tezi, sayfa no: 106, Şanlıurfa, Türkiye, 2015.

Füzün M. Ohsas 18001 İş sağlığı ve güvenliği yönetim standardı ve çimento sektöründen bir firmada risk değerlendirilmesi. T.C. Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:207, İzmir, Türkiye, 2008.

Güler Ç., Akın L. Halk sağlığı temel bilgileri. Ankara, Hacettepe Üniversitesi Yayını, 2006.

Güven R. Titreşimli cihaz kullananlarda titreşimin el-kol üzerindeki sağlık etkileri. T.C. Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no: 124, Ankara, Türkiye, 2002.

Hacıosmanoğlu S. Türkiye`de antropometrik verilere göre kalıpcılık ve plastik enjeksiyon sektöründe ergonomik işyeri tasarımı. T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü Uzmanlık Tezi, sayfa no:115, Ankara, Türkiye, 2013.

İşçi Sağlığı ve Güvenliği Tüzüğü (1974, 11 Ocak). Resmi Gazete (Sayı: 14765). <https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/14765.pdf> (Erişim Tarihi: 27.11.2016). (Yürürlükten kaldırılmıştır).

Koçak G. Gemi makineleri işletmesinde ergonomik analiz. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:131, İstanbul, Türkiye, 2007.

- Kurşun T., Kızılgöz İE. MDF (Orta Yoğunlukta Lif Levha) fabrikasında aydınlatma faktörünün incelenmesi. Mühendislik ve Yer Bilimleri Dergisi. 2017; 2(2): 11-21.
- Özinan İE. Silex ve tras katkılı harç ve beton karışımlarının mekanik ve fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:87, İstanbul, Türkiye, 2010.
- Özkılıç Ö. İş sağlığı ve güvenliği, yönetim sistemleri ve risk değerlendirme metodolojileri. TİSK Yayınları, Ankara, 2005.
- Sirel Ş. Aydınlatma tasarımında temel kurallar. Yapı Fiziği Uzmanlık Enstitüsü Kitapçığı. <https://sazisirel.com/booklets/booklet-07.pdf> (Erişim Tarihi: 18.11.2016). 1996.
- Taşyürek M. Termal konfor-işyeri çalışma ortamında olağanüstü sıcaklıklar. <http://www.kipdasmuhendislik.com/hizmetlerimiz/titresim-olcumu-el-kol-tum-vucut-isg.html> (Erişim Tarihi: 20.10.2016). 2007.
- T.C. Milli Eğitim Bakanlığı. Mesleki Gelişim, İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı. [http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf) (Erişim Tarihi: 20.07.2022). 2014.
- TS EN 197-1. Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, 2011.
- TS EN 12464-1, 12464-2: Işık ve aydınlatma-Çalışma yerlerinin aydınlatılması- Bölüm 1: Kapalı çalışma alanları, Bölüm 2: Açık çalışma alanları, Türk Standardı Enstitüsü, 2013.

***Boswellia serrata* Ekstraktının Karaciğer Kanseri (HepG2) ve Meme Kanseri (MCF7) Hücre Hatlarında Hücre Canlılığı, Apoptotik ve Nekrotik Aktivitelerinin Belirlenmesi**Semih DALKILIÇ<sup>1</sup>, Lütfiye KADIOĞLU DALKILIÇ<sup>2</sup>, Lütfü UYGUR<sup>3\*</sup>, Ömer KAYA<sup>4</sup><sup>1,2,3,4</sup> Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 23000, Elazığ<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-6892-247X><sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-6791-3811><sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-5113-2703><sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-7044-1472>

\*Sorumlu yazar: lutfuuygur@gmail.com

**Araştırma Makalesi****Makale Tarihiçesi:**

Geliş tarihi: 07.10.2023

Kabul tarihi: 11.01.2024

Online Yayınlanma: 25.06.2024

**Anahtar kelimeler:***Boswellia serrata*

MCF7

HEPG2

Apoptotik

Nekrotik

MTT

**ÖZ**

Kanser, insanlık tarihinde çok uzun zamandır var olan ve günümüze kadar gelerek insanlık için büyük bir tehdit oluşturan çok önemli bir hastalıktır. Bilim dünyası birçok yenilikçi tedavi yaklaşımı ortaya çıkarmıştır ancak, kanser hücrelerinin karmaşıklığı ve tedaviye direnç gösterebilmesi nedeniyle kanserle mücadele için kesin bir tedavi henüz bulunamamıştır. *Boswellia serrata*, antik çağlardan günümüze kadar dünyanın birçok yerinde çeşitli rahatsızlıklar için kullanılmıştır, Burseraceae familyasından gelir ve genellikle beyaz sakız olarak bilinir. *B. serrata*, çölde 4-6 metre yüksekliğinde küçük bir ağaç veya çalı şeklinde yetişen bir bitki türü olduğu için çok küçük ve az yapraklı bir reçine ağacıdır. Bu çalışmada, *B. serrata* reçinesi Gaziantep ilinden ticari olarak elde edilmiş ve metanol ve hekzan çözücülerinde ekstrakte edilmiştir. *B. serrata* reçine ekstraktının sitotoksik aktivitesi MTT Assay (3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide) ile belirlenmiştir. Apoptotik/nekrotik aktivite ikili boyama (Hoechst 33342 ve propidium iyodür) ile belirlenmiştir. Bu deneylerde insan meme kanseri (MCF7) ve insan karaciğer kanseri (HepG2) hücre hatları kullanılmıştır. Hücre canlılığı deneyi sonucu HepG2 hücre hattında en iyi etkiyi %31.63 canlı hücre ile *B. serrata*'nın hekzan 400 µg/ml ekstresi verirken MCF7 hücre hattında ise en iyi etkiyi %13.71 canlı hücre ile *B. serrata* hekzan 800 µg/ml ekstresi vermiştir. İkili boyama sonuçları incelendiğinde HepG2 hücre hattına uygulanan metanol ekstraktı hem nekroz hem de apoptoza neden olurken MCF7 hücrelerinde ise dağınık çekirdekli ve membranlı hücreler gözlenmiştir. Antioksidan aktivite deney sonuçları incelendiğinde ise her iki çözücünün birbirine yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

**Determination of Cell Viability, Apoptotic and Necrotic Activities of *Boswellia serrata* Extract on Liver Cancer (HepG2) and Breast Cancer (MCF7) Cell Lines****Research Article****Article History:**

Received: 07.10.2023

Accepted: 11.01.2024

Published online: 25.06.2024

**Keywords:***Boswellia serrata*

MCF7

HEPG2

Apoptotic

Necrotic

MTT

**ABSTRACT**

Cancer is a very important disease that has existed for a very long time in human history and poses a great threat to humanity today. The scientific world has come up with many innovative treatment approaches, but due to the complexity of cancer cells and their resistance to treatment, a definitive treatment for the fight against cancer has not yet been found. *Boswellia serrata* has been used for various ailments in many parts of the world from ancient times to the present day, comes from the Burseraceae family, and is commonly known as white gum. *B. serrata* is a resin tree with very small and few leaves, as it is a plant species that grows as a small tree or shrub 4-6 meters high in the desert. In this study, *B. serrata* resin was obtained commercially in Gaziantep province and extracted in methanol and hexane solvents. The cytotoxic activity of *B. serrata* resin extract

was determined by MTT Assay (3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide). Apoptotic/necrotic activity was determined by double staining (Hoechst 33342 and propidium iodide). Human breast cancer (MCF7) and human liver cancer (HepG2) cell lines were used in these experiments. As a result of the cell viability assay, hexane 400 µg/ml extract of *B. serrata* gave the best effect in HepG2 cell line with 31.63% viable cells, while in MCF7 cell line, *B. serrata* hexane 800 µg/ml extract gave the best effect with 13.71% viable cells. When the double staining results were examined, methanol extract applied to the HepG2 cell line caused both necrosis and apoptosis, while cells with disorganized nuclei and membranes were observed in MCF7 cells. When the results of antioxidant activity experiments were analyzed, it was observed that both solvents gave similar results.

---

**To Cite:** Dalkılıç S., Dalkılıç LK., Uygur L., Kaya Ö. Determination of Cell Viability, Apoptotic and Necrotic Activities of *Boswellia serrata* Extract on Liver Cancer (HepG2) and Breast Cancer (MCF7) Cell Lines. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(3): 1061-1073.

## 1. Introduction

Cancer is a word derived from the meaning of "crab", which means crab. The Greek physician Hippocrates made this definition by observing the spread of the disease from the area where it started to other organs (Health (US) and Study, 2007). Cancer is a biological problem that occurs when cells lose control of their natural growth and a process of clonal spread occurs. It is one of the most common and complex somatic genetic diseases. The occurrence and development of cancer can be directly related to factors such as characteristics, diet, and family history (Yokuş and Çakır, 2012). Cancer represents a significant public health issue and is currently the second most frequent cause of death worldwide. (Sung et al., 2021). Globally, an average of 14 million cancers are diagnosed annually and cancer is responsible for about 20 percent of all deaths. The most common types of cancer in women are breast, uterine corpus, and colorectal cancer. (Siegel, Naishadham, et al., 2012). According to a study conducted by the World Health Organization, the number of people diagnosed with cancer is increasing daily, and it is anticipated that approximately 22 million new cancer cases will be diagnosed within the next decade (Sung et al., 2021). There are several reasons for the high mortality rate from cancer, the main one being inadequate intervention (Baykara, 2016; Özgüç et al., 2018). Scientists have achieved significant results and advances that cannot be ignored in the fight against cancer, but despite all this research, the desired success in cancer treatment has not yet been achieved (Markham et al., 2020). The fact that treatment costs cannot be covered by many people and that many treatment methods have various side effects makes the treatment process very difficult (Erkurt et al., 2009; Prasad et al., 2017; Turkoglu et al., 2020). Another is that cancer is a highly lethal pathology due to inadequate surgical interventions, excessive risk, and failure to achieve the desired survival rate (Siegel, DeSantis, et al., 2012).

*B. serrata*, also known as white gum from the Burseraceae family, has been used throughout the world in the past and present to treat various health problems (Siddiqui, 2011). White gum is a small tree or shrub of 4-6 meters in size, usually growing in the desert, so it is a very small and low-leaved resin tree. The bark of the tree is deeply scratched and the resin is collected from the area. Its composition includes 30-60% resin, 5-10% essential oils, and 30-40% polysaccharides (Efferth and Oesch, 2020). The resin with essential oil and gum is used in bronchial asthma, respiratory system disorders, arthritis

(osteoarthritis), joint pain and swelling caused by rheumatoid arthritis, inflammation in the bowel caused by Crohn's disease or ulcerative colitis, and as a remedy for flatulence. *B. serrata* is usually powdered or mixed with water and consumed orally. Although there is not much detailed research on *B. serrata*, it generally stands out with its antioxidant effect and asthma (Liu et al., 2015; Zhou et al., 2015; Roy et al., 2016; Sarkate and Dhaneshwar, 2017). *B. serrata* resin contains bioactive compounds known as boswellic acids, which have been reported to exhibit anti-inflammatory, immunomodulatory and anti-cancer activities (Sahu and Chawla, 2022). These activities have been attributed to triterpenes present in *B. serrata*, which show potential to inhibit tumour growth and induce apoptosis in cancer cells (Bonilla et al., 2022). Furthermore, Boswellic acids were found to modulate the production of pro-inflammatory cytokines and inhibit the activation of NF- $\kappa$ B, an important regulator of inflammation and cancer progression (Sengupta et al., 2009). *B. serrata* has also been shown to protect dopaminergic neurons from neurotoxicity and exhibit antioxidant activity in the cerebrovascular system (Shadfar et al., 2022)

In many studies, anticancer, antidiabetic and antioxidant activities of some active substances obtained from *B. serrata* plant have been shown. However, these studies focused on a specific active substance, and the activity of this substance was evaluated. This study aimed to determine the apoptotic and necrotic activity of the resin extract obtained directly from the natural plant.

## 2. Methods and Materials

### 2.1. Obtaining and preparation of the extract

The resin of the *B. serrata* plant used in this study was purchased from an herbalist in the Nizip district of Gaziantep province in southern Turkey. Commercially obtained *B. serrata* was pulverized using a porcelain mortar and pestle and weighed 1 g for each solvent using a precision balance. Then, each 1 g of extract was treated separately with 10 ml of hexane or methanol respectively, and incubated in an oven with shaking for 72 hours. After 72 hours, samples were filtered into a petri dish with the help of Whatman No 1 filter paper and a glass funnel and allowed to dry for 48 hours at the end of the elapsed time, each petri dish was treated with 10 ml DMSO and the samples were taken into different falcon tubes and stored at +4°C. The extracts obtained were measured according to the following formula.

$$\% \text{ Yield} = \frac{\text{Amount remaining after extraction(g)}}{\text{Dry amount before extraction(g)}} \times 100 \quad (1)$$

### 2.2. MTT Assay Application

The MTT test is a method used to measure cell viability, and toxic effects on cell reproduction and cell. The MTT method relies on the idea that functioning mitochondria in living cells diminish a tetrazolium salt named MTT, which enters the cell membrane, by catching electrons internally and transforming into purple formazan crystals that cannot be dissolved in water. After the incubation period, we tested how the plant extracts affected the cells using the MTT technique. We added 20 $\mu$ l of 5mg/ml MTT

solution from the supply to each well of the plate containing the cells. We maintained the plate in a dark oven with 5% CO<sub>2</sub> at 37°C for 4 hours. The solution also contained sterile phosphate buffer with a pH of 7.2. We used a plate reader at a wavelength of 570 nm to measure the absorbance value (Dalkılıç et al., 2023; Riss and Moravec, 2004). The average of the absorbance values of the control wells was calculated and this value was accepted as 100% of viable cells. Percent viability was calculated by comparing the absorbance values of the regions containing the plant extract with the absorbance value of the control (Coskun et al., 2021; Dalkılıç et al., 2021). Absorbance readings were taken with a plate reader and compared to control groups. To confirm the accuracy of the results, a 2.5 µg/ml doxorubicin positive control and a cell-treated medium were used as negative controls.

### 2.3. Determination of apoptotic/necrotic activity

In the double staining method, 10000 cells were transferred as 100 µl into a 6-well plate and incubated for approximately 5 hours for the cells to adhere to the wells, then 2 ml of DMEM was transferred into the wells and left to incubate at 37°C and 5% CO<sub>2</sub> atmosphere for 24 hours. After 24 hours, the medium on the plate was drained and extracted in hexane or methanol solvents to add 2 ml of medium containing *B. serrata* resin at a concentration of 800 µg/ml. It was then incubated for 48 hours. After 48 hours of incubation, 1 ml of a solution containing 10 µg/ml Hoeschst and 1 µg/ml Propidium Iodide (PI) dyes prepared with 1x PBS was added to the wells (1 ml of medium was pipetted from the well before adding the dye). The plate was kept in the dark for 30 minutes at 37°C in a 5% carbohydrate medium and after incubation, cell morphology was examined under a fluorescence microscope in comparison with the control group (Vanden Berghe et al., 2013).

### 2.4. Antioxidant determination

The antioxidant capacity of *B. serrata* plants was tested using the DPPH method. A stock solution was made from the extracts and diluted with methanol to a concentration of 800 µg/ml. The samples were supplemented with 0.3 mM DPPH methanol solution. The plate was placed in a dark environment for 30 minutes, and subsequently, absorbance measurements were conducted using a spectrophotometer at wavelengths of 492 nm and 540 nm. As the absorbance decreases, we establish the leftover DPPH as the activity of scavenging free radicals (Flieger and Flieger, 2020; Huang et al., 2005).

The results are calculated according to the formula  $\% = \frac{\text{ControlABS} - \text{SampleABS}}{\text{ControlABS}} \times 100$  (2)

### 2.5. Statistical analysis

Differences between groups were evaluated using SPSS (version 22) software. The data was analyzed using ANOVA. Results were significant if  $p < 0.05$ .



### 3. Results

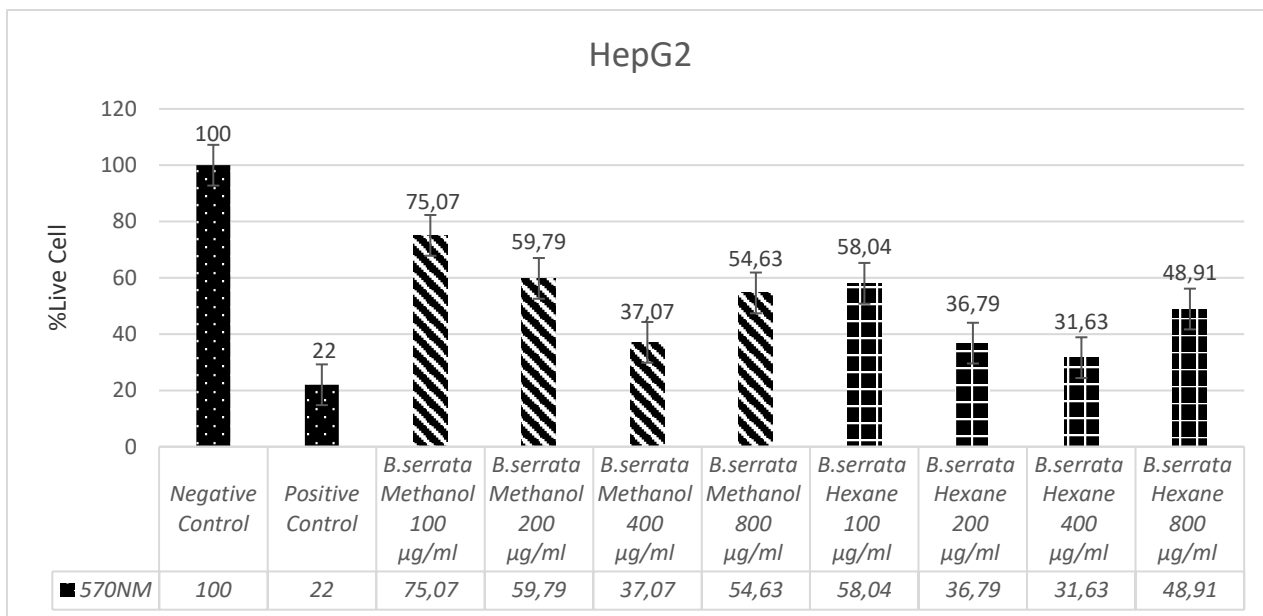
#### 3.1. Cell viability

Among the *B. serrata* extracts extracted with hexane and methanol, the compounds generally showed significant cytotoxic activity against the cell line at high concentrations. The results of the MTT assay with 6 replicates are given below (Figure 1 and Figure 2).

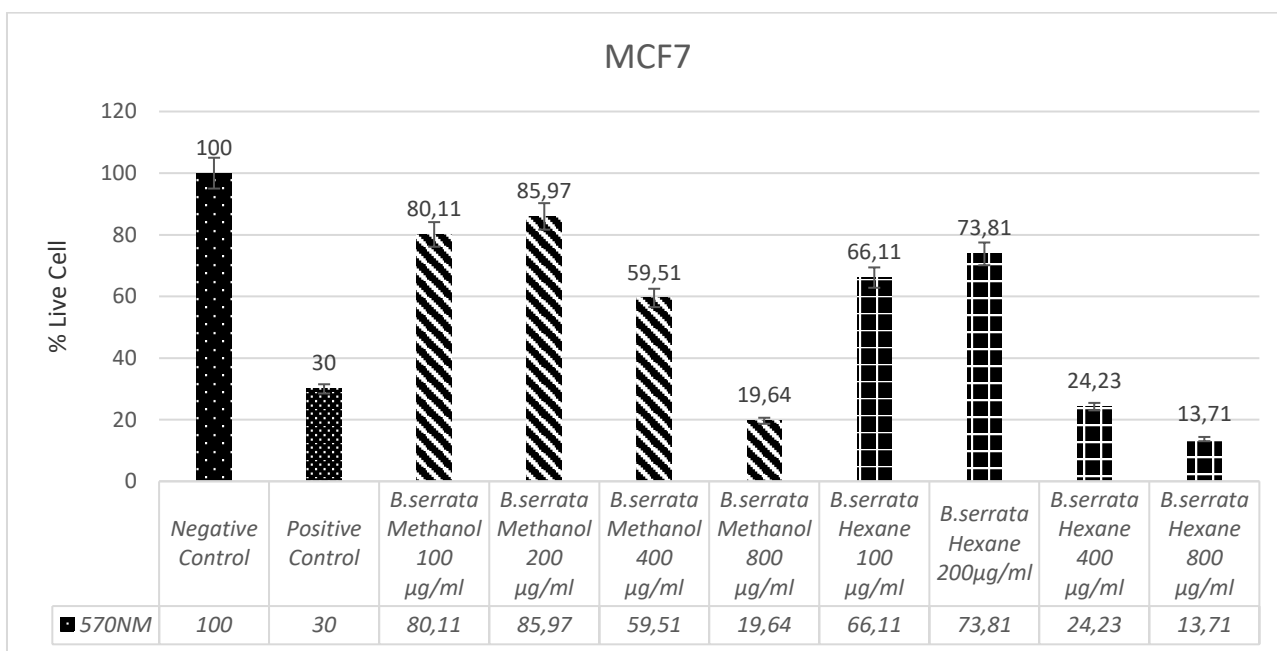
When the results are examined, it is seen that the hexane extract of *B. serrata* showed the best effect at a concentration of 400 µg/ml in HepG2 cell line, followed by the methanol extract, which also showed the best effect at a concentration of 400 µg/ml. When the effect of the plant extract on MCF7 cancer cell line was examined, it was determined that the cytotoxic effect of the methanol extract was the best at a concentration of 800 µg/ml and the hexane extract also showed the best activity at a concentration of 800 µg/ml. This shows that methanol and hexane extracts exhibited the best activity at the same concentration in both cell lines.

In the HepG2 cell line, the hexane compound was used at a concentration of 400 µg/ml to obtain the maximum cytotoxic effect, while the concentration required for this effect in the MCF7 cell line was 800 µg/ml. No strong effect of the methanol compound was observed except the 80.36% cytotoxic effect of 800 µg/ml concentration in MCF7 cells. In the HepG2 cell line, the hexane compound was used at a concentration of 400 µg/ml to obtain the maximum cytotoxic effect as a result of six replicates, while the concentration required for this effect in the MCF7 cell line was 800 µg/ml. No strong effect of the methanol compound was observed except the 80.36% cytotoxic effect of 800 µg/ml concentration in MCF7 cells.

Methanol and hexane are two different solvents commonly used in laboratories. Their chemical structures are different; methanol has a polar structure and hexane has an apolar structure. This means that methanol is soluble in solvents such as water and can dissolve many ionic and polar compounds, while hexane is soluble in compounds such as oils and waxes. Both compounds are reported to have less toxicity than many solvents used in experimental studies, such as dichloromethane, which is important for cell culture studies because the clinical applicability and similarity of cell culture studies to real-world situations are enhanced by minimizing toxic effects. These solvents, which are preferred for in vitro studies such as cell culture, are economical. It is also important that experimental work in a cancer study environment achieves its goal and minimizes harm to researchers and the environment as much as possible.

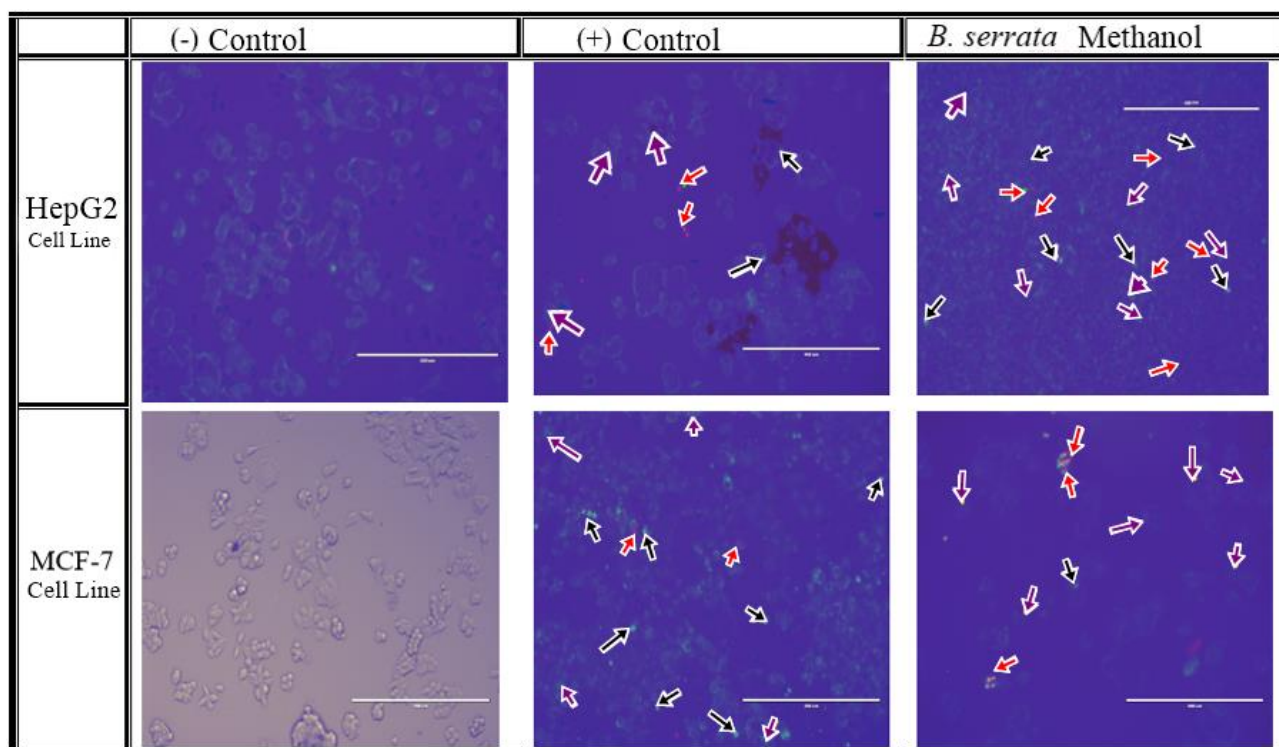


**Figure 1.** Measurements of cytotoxic activity of the extracts on HepG2 cell line at 570 nm.



**Figure 2.** Measurements of cytotoxic activity of the extracts on MCF7 cell line at 570 nm.

### 3.2. Double staining (Hoechst 33342 and Propidium Iodide) method



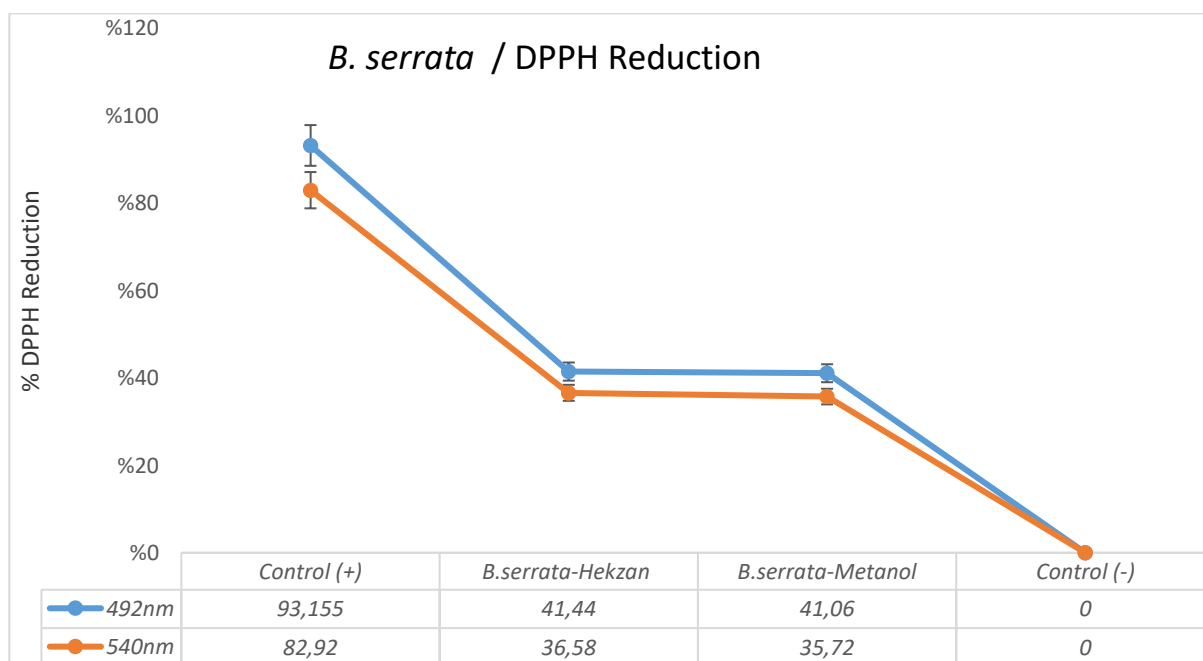
**Figure 3.** According to the results of Hoechst 33342 and Propidium Iodide staining method, cells were processed with Hoechst 33342 and PI stains.

Images of *B. serrata* extract prepared with methanol at a concentration of 800  $\mu\text{g/ml}$  after treatment in MCF7 and HepG2 cell lines for 48 hours are shown in the figure above (Figure 3). In the visual analysis, black arrows represent pyknotic nuclei, purple arrows represent fragmented nuclei and red arrows represent necrotic cells. Doxorubicin 2.5  $\mu\text{g/ml}$  was used in the positive control group, while untreated cells were used in the negative control group. Hoechst and PI fluorescent dyes were used to assess cell integrity. Hoechst stain can stain all cells, while propidium iodide stain is a fluorescent stain that can only stain the membranes of damaged cells. Dying cells can be stained by both staining methods, but propidium iodide is a differential stain used to identify dead cells. In all cancer cell lines used in the trial, no negative changes were detected in the negative control classes and no decrease in numbers was observed. Hoechst stain was able to pass through all membranes. Cells in negative controls were stained, but the integrity of their membranes was disrupted. Other hand, propidium iodide stain, which can stain necrotic cells, was not effective in this group. Consistent with these results, the cells remained viable and proliferated. Similarly, a noticeable reduction in the appearance of positive control cells was detected and often seen by positive staining with propidium iodide, suggesting that doxorubicin kills through necrosis. In addition, it appears to cause complete lysis of necrotic cells and apoptotic cells and nuclei. In this cell line, apoptotic cells were observed together with necrotic cells (Figure 3). Methanol extract applied to the HepG2 cell line caused both necrosis and apoptosis in the cells. In MCF7 cells, the effect of methanol extract was similar to that in the positive control group and an image in which apoptotic cells were

predominant was obtained. In the analysis of the results, cells with scattered nuclei and membranes were observed, as in other cells. These cells may be cells undergoing early apoptosis or cells undergoing secondary necrosis.

### 3.3. Determination of antioxidant activity

The antioxidant activity of 2,2-diphenyl-picrylhydrosyl (DPPH) in two different solvents (methanol, hexane) and at the highest concentration (800 µg/ml) at 492 and 540 nm wavelengths, which are the most suitable ranges to determine the purple color of DPPH solution, was examined according to the radical scavenging capacity method (Figure 4) and the results were analyzed. As a result, a high similarity was observed at two different wavelengths. In terms of the activity ratio of the extracts, *B. serrata* hexane extract gave the highest result with 41.44% at 492 nm wavelength, while methanol extract closely followed the hexane extract with 41.06%. At 540 nm wavelength, *B. serrata* hexane extract showed the highest effect with 36.58%, while the result of methanol extract was observed as 35.72%.



**Figure 4.** Antioxidant Effect of *B. serrata* methanol and hexane extracts measured at 492 and 540 nm

## 4. Discussion

In studies on *B. serrata*, it was reported that boswellic acid obtained from the resin of the plant showed cytotoxic and apoptosis-suppressing effects in many different human cancer cells (Ahmed et al., 2015; Conti et al., 2018; Schmiech et al., 2019; Wang et al., 2020). However, in these studies, the biological activity of Boswellic acid, a component of the resin, was investigated. In this study, the whole resin obtained from a plant frequently used among the people was extracted and the anticancer and antioxidant activities of this extract were investigated.

In one study, HT-29 cells were exposed to different concentrations of *B. serrata* plant resin and cell viability was measured by MTT assay, while apoptosis was assessed by the percentage of cells in the G1 phase. PGE2 levels and caspase-3 effect were measured by ELISA. Tube formation ability and migration of HT-29 cells were evaluated by 3D vessel formation assay and scratch assay. As a result, *B. serrata* extract significantly increased the number of cells in the G1 phase and the number of cells in the proliferation phase, and cell viability and cell migration were significantly decreased in HT-29 treated with *B. serrata* compared to the control group. When the MTT results were analyzed, it was reported that the methanol extract of *B. serrata* was studied between 1-200 µg/ml concentrations, and more effective results were obtained at high concentrations compared to low concentrations (Ranjbarnejad et al., 2017). Comparing the study by Ranjbarnejad et al. with our study, it appears that there is a positive correlation between *B. serrata* concentration and the observed cytotoxic activity, although the studies were conducted in different cell lines. In another study, different concentrations of *B. serrata* extracts were used and these extracts were tested for cytotoxicity on HepG2 and Hep3B cell lines and it was reported that *B. serrata* had a visible cytotoxic activity in both cell lines (Khan et al., 2014). Again, when examining the results of the study, it was observed that there was a direct proportional relationship between *B. serrata* concentration and cytotoxic activity, which supports the results of our study. In one study, 4T1 cells, a breast cancer cell line derived from mouse mammary gland tissue of the BABL/c strain, were subjected to MTT assay using *B. serrata* resin extracts, and the 4T1 cell line showed a decrease in cell viability in response to BSE (*B. serrata* gum resin alcoholic extract) treatment. As a result, *B. serrata* induced cell-specific cytotoxicity in breast cancer cells and suppressed cell proliferation, angiogenesis, and metastasis rate (Alipanah and Zareian, 2018). Although the alcoholic extract of *B. serrata* was used in the study, it is evident that the anticancer effect of the substance increased with increasing concentration. This result shows that *B. serrata* can be an effective agent in cancer research and supports the results of our studies. In another study, methanol and dichloromethane extracts of *B. serrata* were tested on human breast cancer cell line MCF7 and it was found that 100 µM solution of methanol extract of these three extracts was the most effective in suppressing cell proliferation. As a result, it was reported that *B. serrata* could be a possible chemotherapeutic agent for breast cancer (Poornima and Deeba, 2020). Comparing the results of the study conducted by Poornima et al. with the results of the study conducted by our team, the results of the studies using the same cell line and solvent support each other. In another study, to evaluate the antioxidant activity of *B. serrata* plant extracts in an experimental model of acute ulcerative colitis in rats induced by acetic acid administration, *B. serrata* extract was administered orally with 4 ml of 4% acetic acid at a dose of 34.2 mg/kg/day two days before and two days after colitis induction. As a result, lipid peroxidation and nitric oxide levels were significantly reduced by both pretreatment and *B. serrata* treatment. It has also been reported that *B. serrata* has an antioxidant effect and reduces tissue damage in animals with ulcerative colitis (Hartmann et al., 2014). Looking at the results of this study and other similar studies, it is reported that *B. serrata* has a strong antioxidant effect and these results support the results of our study.

## 5. Conclusion

Cytotoxic, apoptotic and necrotic activities of *B. serrata* were investigated against MCF7 and HepG2 cell lines. In the antioxidant study, the highest effect was found in *B. serrata* extract prepared in methanol. When the cytotoxic activity was examined, the highest cytotoxic activity in the HepG2 cell line was reported at 400 µg/ml concentration of the hexane extract, while the highest concentration of *B. serrata* in the methanol extract was observed in MCF7 cells. As a result of all these studies, it has been observed that *B. serrata* has an important cytotoxic, necrotic and antioxidant activity and will play an effective role in the fight against cancer.

## Acknowledgment

This study was funded by the TUBITAK 2209-A program with the project number 1919B012104962.

## Conflict of Interest

No potential conflict of interest was reported by the authors.

## Researchers' Contribution Rate Declaration Summary

The authors of this article are all equal contributors to this article.

## References

- Ahmed HH., Abd-Rabou AA., Hassan AZ., Kotob SE. Phytochemical analysis and anti-cancer investigation of *Boswellia serrata* bioactive constituents in vitro. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention* 2015; 16(16): 7179-7188.
- Alipanah H., Zareian P. Anti-cancer properties of the methanol extract of *Boswellia serrata* gum resin: Cell proliferation arrest and inhibition of angiogenesis and metastasis in BALB/c mice breast cancer model. *Physiology and Pharmacology* 2018; 22(3): 183-194.
- Baykara O. Kanser tedavisinde güncel yaklaşımlar. *BAUN Sağlık Bilimleri Dergisi* 2016; 5(3): 154-165.
- Bonilla I., Garcia D., Abbott A., Spruill L., Siegel J., Forcucci J., Hanna G., Mukherjee R., Hamann M., Hilliard E., Lockett M., Cole D., Klauber-DeMore N. The anti-proliferative effects of a frankincense extract in a window of opportunity phase Ia clinical trial for patients with breast cancer. *Research Square* 2022.
- Conti S., Vexler A., Edry-Botzer L. Combined acetyl-11-keto-β-boswellic acid and radiation treatment inhibited glioblastoma tumor cells. *Plos One* 2018; 13(7): e0198627.
- Coskun D., Dalkilic S., Dalkilic LK., Coskun MF. The synthesis, characterization, and anticancer activity of new 2-acetylbenzofuran-chalcone hybrids. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering* 2021; 45(5): 1561-1569.

- Dalkılıç LK., Dalkılıç S., Uygur L. Investigation of apoptotic, cytotoxic, and antioxidant effects of *Juglans regia* against MDA-MB-231 and A549 cell lines. *International Journal of Plant-Based Pharmaceuticals* 2023; 3(1): 62-67.
- Dalkılıç S., Korkmaz İ., Dalkılıç LK., Akay G., Fidan S. In vitro cytotoxic effects of *Smilax aspera* L. roots on cancer cell lines. *Food Bioscience* 2021; 101501.
- Efferth T., Oesch F. Anti-inflammatory and anti-cancer activities of frankincense: Targets, treatments, and toxicities. *Semin Cancer Biology* 2020; 1044-579X(20): 30034-1.
- Flieger J., Flieger M. The [DPPH•/DPPH-H]-HPLC-DAD Method on tracking the antioxidant activity of pure antioxidants and goutweed (*aegopodium podagraria* L.) hydroalcoholic extracts. *Molecules* 2020; 25(24): 6005.
- Hartmann RM., Fillmann HS., Martins MIM., Meurer L., Marroni NP. *Boswellia serrata* has beneficial anti-inflammatory and antioxidant properties in a model of experimental colitis. *Phytotherapy Research* 2014; 28(9): 1392-1398.
- Health (US) NI of, Study BSC. Understanding cancer. In: National Institutes of Health curriculum supplement series [Internet]. National Institutes of Health (US); 2007. Accessed October 7, 2023. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK20362/>
- Huang D., Ou B., Prior RL. The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2005; 53(6): 1841-1856.
- Khan MA., Singh M., Khan MS., Najmi AK., Ahmad S. Caspase mediated synergistic effect of *Boswellia serrata* extract in combination with doxorubicin against human hepatocellular carcinoma. *BioMed Research International* 2014; 294143.
- Liu Z., Liu X., Sang L., Liu H., Xu Q., Liu Z. Boswellic acid attenuates asthma phenotypes by downregulation of GATA3 via pSTAT6 inhibition in a murine model of asthma. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine* 2015; 8(1): 236-243.
- Markham MJ., Wachter K., Agarwal N., Agarwal N., Bertagnolli MM., Chang SM., Dale w., Diefenbach CSM., George DJ., Gilligan TD., Harvey RD., Harvey RD., Johnson ML., Kimple RJ., Knoll MA., Loconte N., Maki RG., Meisel JL., Meyerhardt JA., Pennel NA., Rocque GB., Sabel MS., Schilsky RL., Schneider BJ., Tap WD., Uzzo RG., Westin SN. Clinical cancer advances 2020: annual report on progress against cancer from the American Society of Clinical Oncology. *JCO* 2020; 38(10): 1081.
- Özgüç S., Kayalar H., Zeybek U. meme kanserinde etkili tibbi bitkiler ve sekonder metabolitleri. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University* 2018; 42(2): 42-62.
- Poornima B., Deeba F. Activities of cinnamaldehyde from *Boswellia serrata* on MCF-7 breast cancer cell line. *Journal for Innovative Development in Pharmaceutical and Technical Science (JIDPTS)* 2020; 3(08): 1-9
- Prasad V., De Jesús K., Mailankody S. The high price of anticancer drugs: origins, implications, barriers, solutions. *Nature Reviews Clinical Oncology* 2017; 14(6): 381-390.

- Ranjbarnejad T., Saidijam M., Moradkhani S., Najafi R. Methanolic extract of *Boswellia serrata* exhibits anti-cancer activities by targeting microsomal prostaglandin E synthase-1 in human colon cancer cells. *Prostaglandins Other Lipid Mediators* 2017; 131: 1-8.
- Riss TL., Moravec RA. Use of multiple assay endpoints to investigate the effects of incubation time, dose of toxin, and plating density in cell-based cytotoxicity assays. *ASSAY and Drug Development Technologies* 2004; 2(1): 51-62.
- Roy NK., Deka A., Bordoloi D., Mishra S., Kumar AP., Sethi G., Kunnumakkara AB. The potential role of boswellic acids in cancer prevention and treatment. *Cancer Letters* 2016; 377(1): 74-86.
- Sahu C., Chawla PA. Substantiating the mechanism of Boswellic acids through molecular docking study. *Pharmaspire* 2022; 14(02): 85-89.
- Sarkate A., Dhaneshwar SS. Investigation of mitigating effect of colon-specific prodrugs of boswellic acid on 2,4,6-trinitrobenzene sulfonic acid-induced colitis in Wistar rats: Design, kinetics and biological evaluation. *World Journal Gastroenterology* 2017; 23(7): 1147-1162.
- Schmiech M., Lang SJ., Ulrich J. Comparative Investigation of frankincense nutraceuticals: correlation of boswellic and lupeolic acid contents with cytokine release inhibition and toxicity against triple-negative breast cancer cells. *Nutrients* 2019; 11(10): E2341.
- Sengupta K., Golakoti T., Marasetti AK., Tummala T., Ravada SR., Krishnaraju AV., Raychaudhuri SP. Inhibition of *tnf $\alpha$*  production and blocking of mitogen-activated protein kinase/nf $\kappa$ b activation in lipopolysaccharide-induced thp-1 human monocytes by 3-o-acetyl-11-keto- $\beta$ -boswellic acid. *Journal of Food Lipids* 2009; 16(3): 325-344.
- Shadfar S., Khanal S., Bohara G., Kim G., Sadigh-Eteghad S., Ghavami S., Choi H., Choi DY. Methanolic extract of *Boswellia serrata* gum protects the nigral dopaminergic neurons from rotenone-induced neurotoxicity. *Molecular Neurobiology* 2022; 59(9): 5874-5890.
- Siddiqui MZ. *Boswellia serrata*, a potential antiinflammatory agent: an overview. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences* 2011; 73(3): 255-261.
- Siegel R., DeSantis C., Virgo K., Stein K., Mariotto A., Smith T., Cooper D., Gansler T., Lerro C., Fedwa S., Lin C., Leach C., Cannady RS., Cho H., Scoppa S., Hachey M., Kirch R., Jemal A., Ward E. Cancer treatment and survivorship statistics, 2012, *Cancer Journal for Clinicians* 2012; 62(4): 220-241.
- Siegel R., Naishadham D., Jemal A. Cancer statistics, 2012, *Cancer Journal for Clinicians* 2012; 62(1): 10-29.
- Sung H., Ferlay J., Siegel RL., Laversanne M., Soerjomatram I., Jemal A., Bray F. Global cancer statistics 2020: Globocan estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians* 2021; 71(3): 209-249.
- Turkoglu E., Uysal M. Investigation of hepatitis B serology in oncological patients receiving chemotherapy. *Clinic Journal* 2020; 31(2): 101-105.



- Vanden Berghe T., Grootjans S., Goossens V., Dondelinger Y., Krysko DV., Takahashi N., Vandenabeele P. Determination of apoptotic and necrotic cell death in vitro and in vivo. *Methods* 2013; 61(2): 117-129.
- Wang S., Wang H., Sun B. Acetyl-11-keto- $\beta$ -boswellic acid triggers premature senescence via induction of DNA damage accompanied by impairment of DNA repair genes in hepatocellular carcinoma cells in vitro and in vivo. *Fundamental Clinical Pharmacology* 2020; 34(1): 65-76.
- Yokuş B., Çakır DÜ. Kanser biyokimyası. *Dicle Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2012; 1: 7-18.
- Zhou X., Cai JG., Zhu WW., Zhao HY., Wang K., Zhang XF. Boswellic acid attenuates asthma phenotype by downregulation of GATA3 via inhibition of PSTAT6. *Genetics and Molecular* 2015; 14(3): 7463-7468.

## Müşteri Şikâyet Değerlendirme Süreçlerinde Kullanılacak Optimum Eleman Sayısının Tespiti İçin Simülasyon Optimizasyonu Yaklaşımı

Vedat ÇEKİCİ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana-Türkiye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-6489-5080>

\*Sorumlu yazar: vedatcekici5@gmail.com

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 04.10.2023

Kabul tarihi: 11.01.2024

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Müşteri şikâyetlerini değerlendirme  
Kuyruk sistemi  
Simülasyon optimizasyonu  
Şikâyeti çözme süresi  
Müşteri memnuniyeti

### ÖZ

Firmalar, katma değerli ve kaliteli ürün-servis sunarak müşterilerini memnun eder ve işlerini sürdürürler. Müşteri memnuniyeti çok sayıda parametreden etkilenir. Bu faktörlerden biri müşteri şikâyetlerinin hızlı ve beklenen kalitede çözülmesidir. Şikâyetlerin hızlı ve doğru bir şekilde çözümlenmesi için gerekli kaynakların sağlanması büyük önem taşımaktadır. Daha önceki birçok çalışmada simülasyon optimizasyon yöntemi uygulanmış olmasına rağmen, müşteri şikâyet sisteminde görevli kişi sayısını ve çalışma saatlerini değiştirerek şikâyet kapatma sürelerini belirleme çalışması yapılmamıştır. Bu araştırma çalışmasında bir şikâyetin alınmasından kapanmasına kadar olan safhalar incelenerek her süreçte harcanan zaman ve kaç eleman kullanılacağı belirlenmektedir. Kurulan model yardımıyla bir miktar personelin azaltılması veya artırılması durumunda şikâyetin kapanma zamanının nasıl değişeceği de belirlenebilmektedir. Çalışmada, personel sayısındaki değişime bağlı olarak personel iş yükündeki değişimler elde edilmiştir, bununla ilgili olarak da şikâyetlerin çözülmesi için ihtiyaç duyulan en uygun personel sayısı ve günlük çalışma saatleri de tespit edilmiştir. Araştırmanın sonucunda çalışan sayısında ve günlük toplam çalışma saatlerinde ~ %49 oranında azalma olduğu ortaya çıkmıştır.

## Simulation Optimization Approach to Determine the Optimum Number of Staff to be Used in Customer Complaint Handling Processes

### Research Article

#### Article History:

Received: 04.10.2023

Accepted: 11.01.2024

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

Customer complaint handling  
Queue system  
Simulation optimization  
Complaint resolution time  
Customer satisfaction

### ABSTRACT

Companies satisfy their customers by offering value-added and quality products-services and continue their business. Customer contentment is impressed by numerous parameters. One of these factors is the prompt and expected quality resolution of customer complaints. Providing the necessary resources is crucial for resolving complaints quickly and accurately. Although the simulation optimization method has been applied in many previous studies, no study has been conducted to determine complaint closing times by changing the number of people and working hours in the customer complaint system. In this research study, the phases from receiving a complaint to its closure are examined, and the time and number of people spent in each process are determined. With the help of the established model, it can also be determined how the complaint closing time will change if the number of personnel is reduced or increased. In the study, depending on the change in the number of personnel changes in staff workload have been obtained, related to this, the optimal number of personnel and daily working hours needed to resolve complaints were also determined. As a result of the research, it was revealed that there was a 49% decrease in the number of employees and total daily working hours.

**To Cite:** Çekici V. Müşteri Şikayet Değerlendirme Süreçlerinde Kullanılacak Optimum Eleman Sayısının Tespiti İçin Simülasyon Optimizasyonu Yaklaşımı. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(3): 1074-1095.

## 1. Giriş

Firmalar, kaliteli ürün-servis sunduğu sürece müşterilerini mutlu eder ve ayakta kalabilirler. Müşteri mutluluğuna ise birçok parametre etki edebilmektedir. Müşteri tarafından satın alınan mal veya servisin kullanımının ve bakımının kolay olması, kaliteli, emniyetli, ekonomik olması, servis süresince problem oluşturmaması, problem oluştuğunda etkin çözümler üretilmesi bu parametrelere örnek olarak gösterilebilir. Bu kapsamda tüketici şikâyetlerinin değerlendirilerek memnuniyeti sağlanmayan tüketicilerin tekrar kazanılması çok anlamlıdır. Tüketici buna benzer nitelikleri sağlayan servis ve ürün şartlarında kendisini mutlu hissetmektedir.

Mutlu tüketici sayısını arttırmak firmalar için değerlidir. Bu kapsamda firmaların müşteri problemini çözmeye niyetli olması ve şikâyeti çözmek için uygun kaynak tahsis etmesi gereklidir. Müşteri, iş ilişkisinde olduğu şirkete problem bildirdikten sonra, problemi çözüldüğünde tekrar aynı firmayla ilişkisini devam ettirmektedir, bununla beraber sunulan servisten memnun olmayan müşterilerin yarısının alınan servisten dolayı memnun edilmedikleri düşünülmektedir, fakat bunun yanında, problemi etkin şekilde ele alan şirketlerin ürünlerini-servislerini iyileştirme şansı yakaladıkları ve sadık müşterilere sahip oldukları belirlenmiştir. Problem iletmeyen ve mutsuz olan müşteriler ise sadık kalmamaktadır. Buna rağmen işletmelerin birçoğunun şikâyetleri ele almak ve müşteriye yanıt vermek için yeterli kaynak tahsis etmediği tespit edilmiştir (Estelami, 2000).

Bunun yanında, Çekici ve Yüregir (2020) çalışmalarında, kurumsal şirketlerin, müşteri şikâyet değerlendirme sistemine atadığı eleman kaynağının kurumsal olmayanlardan daha fazla olduğu ve atanan elemanların çalışma zamanlarının yaklaşık yarısının bu iş için harcandığını belirlemiştir.

Müşterilerin ilettiği problemin etkin olarak ele alınması ve müşteriye geri dönüş yapılması, müşterilerin aynı firmadan yeniden satın almasında etkilidir. Çünkü verimli servisin kilit özelliğinden biri problemi olan müşteriye cevap verme hızıyla ilişkilidir, bunun yanında müşteri problemlerini ele alma kusurları, tüketici umutlarını olumsuz olarak etkilemektedir (Davidow, 2003).

Tüketici merkezilik için en anlamlı özelliklerden birisi tüketici sorunlarını gidermektir. Tüketici problemlerini zaman kaybetmeden ve etkili bir şekilde cevaplamak için ise firmanın uygun kaynak tahsis etmesi gereklidir. Bu nedenle en uygun kaynakların tespit edilmesi, atanması ve en yüksek verimde kullanılması önemlidir. Bu kapsamda bu çalışmada temel amaç olarak müşteri şikâyet değerlendirme sisteminde kullanılacak optimum eleman sayısını ve kullanılan elemanların günlük çalışma saatlerini belirlemek hedeflenmiştir.

Çalışmanın giriş kısmında konunun önemi ve amacı, ikinci bölümünde ise daha önce yapılan çalışmalar geniş kapsamlı olarak anlatılmıştır. Üçüncü bölümde kullanılan materyal ve metotlara yer verilmiştir. Çalışmanın zaman dağılımları, simülasyon ve optimizasyon yöntemleri, simülasyon uzunluğu, simülasyon replikasyon sayısı, simülasyon modelinin ısınma (warm-up) periyodu, simülasyon modeline ait amaç fonksiyonu, uygulama kısıtı belirlenmiş ve müşteri şikâyetlerini değerlendirme süreçlerine ait

simülasyon akış çizelgesi verilmiştir. Bu bölümde ayrıca Arena programının çalıştırma verileri ve temel modülleri belirtilmiştir. Dördüncü bölümde simülasyon-optimizasyon ile elde edilen bulgular tartışılmıştır. Beşinci bölümde ise çalışmadan elde edilen sonuçlar ve daha sonra yapılabilecek çalışmalar özetlenmiştir.

## 2. Önceki Çalışmalar

Araştırmacılar simülasyon ile uygulama yapmaya ilgi göstermiş, kurdukları modelin verimliliğini belirlemek ve iyileştirmek için uygulamada simülasyon optimizasyonu yönteminden faydalanmıştır. İmalat prosesleri üzerine oldukça fazla çalışma olmasına rağmen, servis modelleri ile ilgili simülasyon optimizasyonu çalışmaları sınırlı sayıdadır. Müşteri şikayetlerini değerlendirme ve şikâyet proseslerini iyileştirme ile ilgili yapılan önceki çalışmalar Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Müşteri şikâyetlerini değerlendirme ve şikâyet proseslerini iyileştirme ile ilgili çalışmalar

YIL	YAZAR	PROBLEM	ÇÖZÜM YAKLAŞIMI
1998	Greasley ve Barlow	Bir karakolda çalışacak en uygun kişi sayısını belirleme	Simülasyon yöntemi ile karakol prosesleri analiz edilmiş ve proses değiştirme ile en uygun sayıda personel yerleşimi bulunmuştur.
2002	Baykoç	Fast Food kuyruğunda uzun süre kalan müşteri problemi	Önce Fast Food kuyruk verileri incelenmiş, ardından simülasyon ile başka model içeren seçenek sunulmuştur.
2002	Im ve ark.	Sıfır kusur stratejiye sahip şirketlerde, müşteri şikayetlerini bitirmek	Çalışmada,1000 adet e-iş şikâyeti ve 500 adet anında ulaşılan şikâyet incelenmiştir. Anında ulaşılan müşteri şikayetlerinin çok hızlı çözülmesinin müşteri sadakati için daha önemli olduğu belirlenmiştir.
2003	Mattila ve Mount	Müşteri hizmet merkezlerinin şikâyet değerlendirme sürecine olan etkisinin tespiti	Otellerden anket yolu ile toplanan verilerin değerlendirilmesi ile elde edilen bulgular, şikâyetin ele alınmasının ve müşterinin yeniden satın alma niyetinin, şikâyetlere doğrudan yanıt vermek için geçen zamanla ilişkili olduğunu göstermektedir.
2005	Armaneri	Vantilatör montaj istasyonu için optimal işgücü dağılımının optimizasyon ile incelenmesi.	Arena OptQuest modülü yardımıyla yeni bir model oluşturularak çalışanlar üretim yerlerine dağıtılmış ve vantilatörlerin sistemde kaldığı zamanın en az olması sağlanmıştır.
2009	Akdeniz ve Tatar	İzmir Milletlerarası Üniversite Olimpiyatları nedeniyle uçuş yoğunluğunun optimizasyonu	Uçak hareketi en sık olan gün 100 uçak incelenmiş olup havaalanının olimpiyat yükünü karşılayamayacak derecede olduğu tespit edilmiştir. Kuyruk olmaması için ikinci piste ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir.
2010	Güler	Katma değer yaratmayan üretim süreçlerini belirleme	Tekstil makineleri için yedek parça üreten bir firmada Simülasyon ile süreçlerde değişiklik yapılmış ve verim artırılmıştır.
2014	Lee ve ark.	Müşteri şikayetlerine cevap verme ve müşteri sorunlarını çözme	Müşteri şikayetlerinin akıllı kullanımı için Ontoloji tabanlı akıl yürütme yapılmıştır. Çalışmada, bilgiye dayalı metodoloji ve kendi kendine öğrenme ile müşteri şikayetlerini çözmek için çözüm sunulmuştur
2015	Einwiller ve Steilen	Büyük şirketlerin sosyal medyadaki Facebook ve Twitter sayfalarında yer alan şikayetleri çözme problemi	Bu çalışmada, büyük şirketlerin Facebook ve Twitter sayfalarında şikayetleri nasıl ele aldıklarını analiz edilmiştir. Analiz düzeltici bir eylem teklif etmeyi, şikâyetçiyi problem çözümü sağlayabilecek biriyle ilişkilendirmeyi ve şikâyetçiye teşekkür etmeyi içermektedir.
2015	Faed ve ark.	Limanda müşteri olarak kabul edilen sürücülerden toplanan müşteri şikayetlerini çözme problemi	Avustralya'nın Fremantle Limanında sürücülerden toplanan şikâyet verileri, veri zarflama ile analiz edilmiştir. Analizde, tüm bakış açıları önem sırasına göre sıralanmış ve müşterilere fayda sağlamak ve liman verimliliğini artırmak amacıyla optimize edilmiştir.
2016	Liu ve Yen	Otobüs yolcularının şikayetlerini çözme problemi	Büyük veri analizi ile otobüs yolcularının şikayetlerini toplamış ve şikâyet yönetim süreçlerini iyileştirmiştir. Geliştirilmiş kamu sektörü yönetimi için sistem önermişlerdir.
2018	Belgin	İmalat sisteminde en uygun çalışan sayısını bulma	Belli sınırlamalar ile çalışma hatlarında çalışanların işe atanma optimizasyonu simülasyon tekniği ile tespit edilmiştir.
2019	Düzgüt ve ark.	Ev aletleri endüstrisinde satış sonrası teknik servisin verimliliğini artırma problemi	Etkinliği yükseltmek için personele iş atamasına odaklanılmıştır. Teknikerler iş atama için karmaşık tam sayılı programlama modeli oluşturulmuş ve harcanan süre en aza indirilmiştir.

2020	Ahmed ve ark.	Üniversite öğrencileri ve ev halkından 200 katılımcıya ait anket verilerin analizi	Şikayetlerin ele alınması ve anında yanıt verilmesinin, müşteri memnuniyet ve sadakatini arttırdığı ayrıca iş operasyonlarının ekonomik yönlerini arttırdığı sonucuna varılmıştır.
2020	Bahari ve Asadi	Hastane yöneticilerine, acil durumlarda taburculuk süresini optimize etmek ve verimliliği arttırmak	Bu çalışmada, acil servisteki kaynaklar araştırılmış ve acil servisteki hastaların bekleme süresini azaltmak için simülasyon optimizasyon yaklaşımına dayalı olarak bu kaynakların optimal kombinasyonunu sağlanmıştır.
2020	İşgüder	Çalışmada tekrarlı girişli, K-kapasiteli ve üç heterojen kanallı bir kuyruk sisteminin incelenmesi hedeflenmiştir.	Çalışmada 3 kanallı (GI/M/3/K) kuyruk sistemi modellenmiştir. Gelişler arası süre dağılımı üstel, Erlang alınarak matematiksel olarak tanımlanmıştır. Müşteri geliş sürecine göre en iyileme yapılarak, gelişler arası süre dağılımı deterministik olduğunda müşterinin kuyrukta kaybolma olasılığının en küçük olduğu teorik olarak gösterilmiştir.
2021	Baş ve ark.	Bir bulaşık makinesi fabrikasında robot çalışma alanı belirleme ve istasyona çalışan kişileri atama	Çalışma alanlarının seçimine ait yeni bir tam sayılı programlama modeli önerilmiştir. Çalışmada benzer işler sınıflanarak meydan getirilen çalışma yeri miktarı 68%, işçi sayısı 10% düşürülmüş ve vardiya başı üretilen makine sayısı %43 arttırılmıştır
2021	Şenses ve ark.	Bir madencilik şirketi için en az maliyetle yedek parça envanter optimizasyonu	Endüstriyel yağlar için bir vaka çalışması yapılarak optimizasyon modeli kurulmuş. Modelin uygulanmasıyla şirket ekonomik kazançlar sağlanmıştır.
2022	Ordu ve Korhan	Bir tekstil firmasında darboğazları tespit etmek ve malzeme akışını iyileştirmek	Simülasyon yöntemi kullanılarak firmanın kesim departmanına tesis yerleşimi için yerleşim planlaması önerilmiş ve departmandaki üretim verimliliği yaklaşık %14 artmıştır.
2022	Mutlu ve ark.	Ulaştırımda ürünlerin arz noktasından talep noktalarına minimum maliyetle taşınması	Çalışmada, ulaştırma problemi için maksimum maliyetten kaçınma yöntemi önerilmiştir. Sonuçlar önerilen optimizasyon yönteminin tutarlı ve iyi çözümler ürettiğini göstermiştir.
2022	Kirli Akin ve Ordu	Bir pandemik acil servisinde hemşireleri planlama sorunu için simülasyon-optimizasyon yaklaşımı	Çalışmada hasta değişkenliğine göre haftalık hemşire ihtiyacını tespit etmek için simülasyon modeli geliştirildi. Haftalık vardiya sayısını belirlemek için ve pandemi servisinde adil hemşire vardiya takvimi için matematiksel model uygulanmıştır.
2022	Chen ve ark.	Ultrason muayenesi yapılan hastaların randevu planlama ve muayene odası atama sorunlarını araştırma	Simülasyon optimizasyonu ile, radyoloji uzmanlarının iş yükünü dengelemek, ekipman kullanım oranlarını korumak ve ultrason muayenesi olan hastaların bekleme sürelerini azaltmak için randevu planlama ve muayene odalarına atama sağlanmıştır.
2022	Tian ve ark.	Hollanda'da bir su şirketine gelen müşteri şikâyet metinlerini değerlendirme.	Derin öğrenmenin sağladığı doğal dil işleme (NLP) ve evrimsel sinir ağlarının kullanımı ile müşteri şikâyetlerine ait süreçler belirlenmiştir. Şikâyeti ele alma süreci otomatikleştirilmiştir.

Bu çalışmada fiili olarak uygulanmakta olan müşteri şikâyet değerlendirme sistemindeki prosesler analiz edilmiş, mevcut kısıt değeri ile sistemde çalışması gerekli personel sayısı ve personellerin günlük çalışma saati kullanılarak müşteri şikâyetlerine bulunacak ortalama çözüm süresi belirlenmiştir. Daha önce birçok sisteme simülasyon optimizasyon yöntemi uygulanmıştır, fakat şikâyet değerlendirme sisteminde yer alacak optimum eleman sayısını ve elemanların günlük çalışma saatlerini simülasyon optimizasyonu ile tespit etme çalışmalarına rastlanmamıştır. Bu nedenle bu uygulama çalışmasının literatürdeki boşluğu kapatacağı amaçlanmıştır.

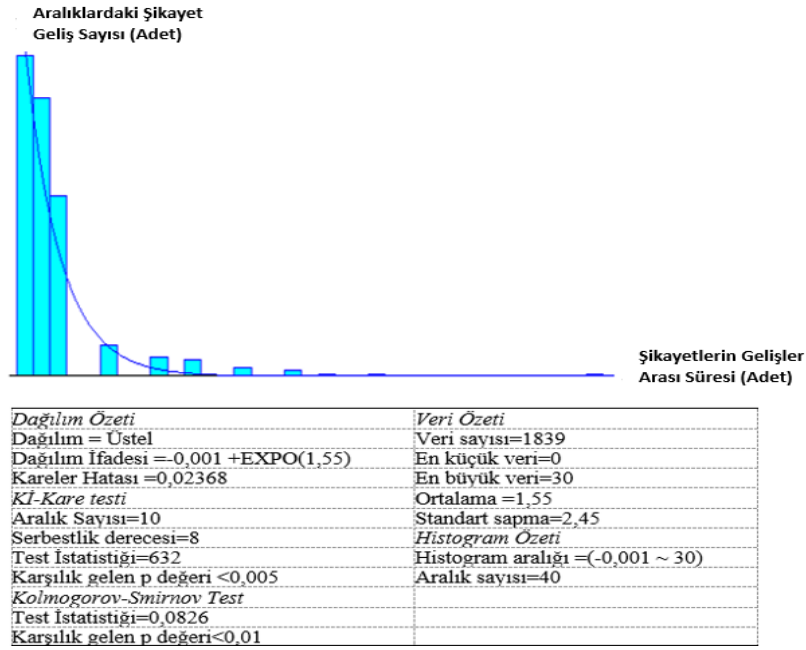
### 3. Materyal ve Metot

#### 3.1. Materyal

Çalışmada, müşteriden alınan 1839 adet gerçek şikâyetin zaman verileri ve uzman görüşlerinden elde edilen bilgilerden yararlanılmıştır. Şikayetlerin gelişler arası zamanları, kök sebep araştırma için ilgiliye atama zamanları, kök sebebini bulma zamanları, çözümü bulacak ilgiliye atama zamanları, şikâyete çözüm bulma zamanları, vs. analiz edilmiştir. Analiz sırasında şikâyeti çözme masrafını en az yapmak için modelde yer alan optimum kişi sayısı bulunmaya çalışılmıştır. En doğru çözümü bulmak amacıyla

personel adetleri ve personellerin günlük çalıştığı saatlerin değiştirilmesi ile simülasyon optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Lisanslı Arena yazılımına ait OptQuest modülü kullanılarak simülasyon optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın Zaman Dağılımları: Çalışmada uygulamadan elde edilen gerçek şikayetlerin süreleri (rastgele ve sürekli), incelenmiş ve ana süreçlerin zaman dağılımı istatistiksel olarak tespit edilmiştir. Giriş verisi olan şikayetlerin varışlar arası süreleri üstel dağılıma uygun çıkmıştır. Üstel dağılımın standart sapması 2,45 gün ve ortalaması 1,55 gün olmuştur. Uygulamadaki müşteri şikayet varışları arasındaki sürelerin dağılımına ait histogram grafiği ve zaman dağılımının detaylı bilgisi Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Şikayet gelişleri arasındaki zamanların histogramı ve zaman dağılımının detayı

Normalde şikâyet modelindeki her ana prosesin zaman dağılımı için sıklık dağılım fonksiyonu kullanılır. Bu çalışmada ise Arena simülasyon programının olumlu bir özelliği olan Input Analyzer OptQuest modülünden faydalanılmış ve şikâyet süreleri analiz edilmiştir, OptQuest ile elde edilen teorik dağılımlar simülasyon programı ile uyumlu ve etkili çalıştığı için özellikle seçilmiştir.

Tablo 2. Müşteri şikâyet süreçlerinin zaman dağılımı ve uygulanan testler

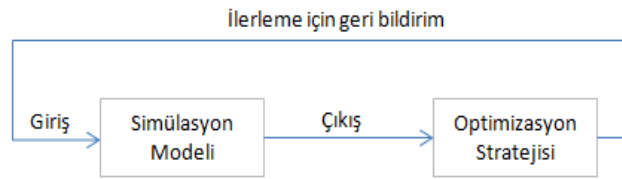
Süreç ismi	Süreç dağılımı	p değeri		Kareler Hatası
		$\chi^2$ test	K-S test	
Şikâyet gelişleri	EXPO(1,55)	< 0,005	< 0,01	0,02368
Kök neden araştırma için görev atama	0,771*BETA(0,705 , 1,36)	= 0,00531	> 0,15	0,00520
Kök neden araştırma	EXPO(1,08)	< 0,005	< 0,01	0,00514
Çözüm birimine görev atama	0,821*BETA(0,712 , 1,41)	= 0,245	> 0,15	0,00304
Ar-Ge çözüm araştırma	WEIB(13,2 , 1,07)	= 0,131	= 0,101	0,00234
Satın alma çözüm araştırma	GAMM(14 , 0,746)	< 0,005	= 0,0811	0,00201
Üretim/Servis çözüm araştırma	WEIB(6,49 , 0,877)	= 0,5	0,0263	0,00090
Kalite çözüm araştırma	LOGN(8,68 , 14,1)	< 0,005	> 0,15	0,01067

Müşteri şikâyet değerlendirme süreçlerinin zaman verileri Ki-kare ( $\chi^2$ ) ve Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testleri ile istatistiksel olarak analiz edilmiştir (Tablo 2).

### 3.2. Metot

Bu araştırmada müşteri şikâyet değerlendirme sisteminin başlangıçtaki prosesleri tespit edilmiş ve incelenmiştir. Başlangıçtaki süreçlere ait zamanlar ise süreç dağılımlarına dönüştürülmüştür. Bu dağılımlar simülasyon modelinde başlangıç verileri olarak kullanılmıştır. Kurulan model, farklı kişi sayısı ve çeşitli çalışma saat değerleriyle çalıştırılarak, en uygun çözüm zamanlarını veren personel adetleri tespit edilmiştir. Etkinlik analizi belirtilen ölçütler (Kök sebebini araştırma zamanı, çözüm araştırma zamanı, atanan kişi adedi, bir günde çalışılan saat vs.) için gerçekleştirilmiştir. Sonuçta kısıt ve amaç fonksiyonu doğrultusunda müşteri şikâyetlerini ele alma modelindeki kişi sayıları ve çalışma saatleri optimize edilmiştir.

i. Simülasyon ve Optimizasyon Yöntemleri: Simülasyon, giriş değişkenlerini değiştirerek, çıkış değişkenlerinin nedenlerini belirlemek için gerçekleştirilen testlerdir. Simülasyon optimizasyonu, her ihtimali incelemeye ihtiyaç duymadan, bütün ihtimaller içindeki en uygun giriş değerlerini bulma prosesidir. Simülasyon-optimizasyon yönteminin amacı, simülasyondan sağlanan verileri en fazla yaparken, kullanılan kaynakları en az yapmaktır. Optimal olmayan girdi değerleri ile başlanırsa hesap maliyeti artacaktır. Şekil 2’de gösterildiği gibi simülasyon modelinin ürettiği çıktı, optimal çözüm araştırırken devam etmek için geriye dönük bilgi veren bir optimizasyon tekniği kullanır (Carson ve Maria, 1997). Bilgisayar simülasyonu, servis ve üretim modelinin tasarlanması ve incelemesinde geniş çaplı kullanılmaktadır. Simülasyon girdi değişkenlerinin miktarı çok ve sistem karmaşık ise simülasyon denemesinin çözümüne engel olur.

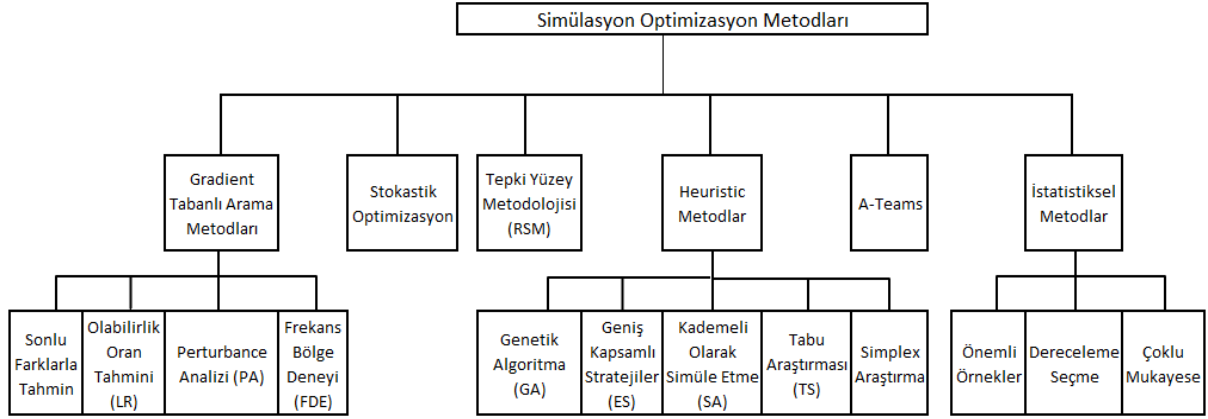


Şekil 2. Simülasyon optimizasyonu tekniği.

Simülasyon optimizasyon metodunun sunduğu en anlamlı fayda, gerçek modeli tanımlayacak matematiksel ifadelerle gerek duymadan modeli bilgisayarda çalıştırarak bulunan çıktılarla simülasyon optimizasyonu gerçekleştirebilmektir. Gerçek sistem problemi çözüldükten sonra daha az kabul ile gerçeğe yakın olan neticeler bulunacak ve sonuçların değerlendirilmesi kolaylaşacaktır.

Karmaşık, büyük ölçekli ve rastgele (stokastik) modellerin amaç fonksiyonunu formüle etmek zahmetlidir. Ama, regresyon modeli ile tahmini olarak formüle edilebilir. Kapalı formülü oluşturulamayan problemlerin yaklaşık modeline meta model denir. Meta modellerde en sık kullanılan yöntem tepki yüzeyi yöntemidir (RSM); Diğeri ise sürekli parametrelili problemlerde kullanılan, fonksiyonda türev alan gradiyent (eğim) tabanlı araştırma yöntemleri ve rastgele yaklaşımlardır.

Gradyent tabanlı metotlar içinde pertürbasyon analizi metodu ve olabilirlik kestirimi (Likelihood ratio) metotları daha az simülasyon yapması gerektireceğinden diğerlerinden üstündür. Simülasyon optimizasyon metotlarının sınıflandırılması Şekil 3'te verilmektedir (Carson ve Maria, 1997). Hiçbir sezgisel (heuristik) metot problemlerin optimum çözümünü bulmayı garantilemez, optimum çözümlere daha yakın çözümler bulabilmeyi amaçlar. Sezgisel algoritmalar, problemlerin kabul edilebilir çözümlerini gerçekleştirir, ama bu çözümlerin doğruluğunu matematiksel olarak ispat edemez.



Şekil 3. Simülasyon optimizasyon yöntemleri

ii. Arena OptQuest Modülü: Bu çalışmada, ortalama şikâyet çözüm süresini minimum yapacak personel adedini ve çalışma saatlerini tespit etmek amacıyla simülasyon optimizasyonu yapılmıştır. Simülasyon optimizasyonu için meta sezgisel yöntem tercih edilmiş ve Arena programının OptQuest modülünden faydalanılmıştır. Arena nesne esaslı simülasyon gerçekleştirir. Arena içinde optimizasyonu gerçekleştiren modül OptQuest, serpilme arama, tabu arama, doğrusal programlama ve yapay sinir ağlarından meydana gelen bir programdır ve simülasyon modelindeki optimum çözümleri arar. OptQuest'te girdi verileri değiştirilir ve istenen optimal performans kriterlerine varmaya çalışılır. Modelde amaç fonksiyonu ve kısıtlar programa eklenebilir. OptQuest, sezgisel metotlar kullanır ve simülasyon modelindeki optimal çözümleri araştırır. Heuristik, karmaşık problemlerin tahmini çözümlerini üretir. OptQuest, simülasyon modelinin çıktısından faydalanarak optimizasyon modeline girişleri değerlendirir. Önceki ve şimdiki değerlendirmeleri inceler, yeni giriş değerlerini seçer ve tekdüze olmayan aramalar gerçekleştirir. Seri halde oluşturulan girişler ile değişken veriler elde eder (Fakat verilerin tümünü iyileştirmez) ve zaman geçtikçe en uygun çözüm yolunu bulur kullanılır.

Tabu arama metodunda ise ilk çözüm rastgele olarak bulunur, sonra bu çözümde değişiklik yapılarak yeni çözüm elde edilir. Yerel optimumdan uzaklaşmak için kötü sonuçlara bir daha gelmez. Simülasyon burada muhtemel çözümün amaç fonksiyonuna yakınlık değerini belirlemek için kullanılır.

Serpilme arama (Scatter search) genetik algoritmaya benzer birçok felsefeye sahiptir. Referans noktalar adıyla bilinen kümede çalışarak çıktılar elde eder. Yaklaşım referans noktadaki bilgilerden faydalanarak farklı noktalar ve çözümler elde eder kullanılır (User's Guide, OptQuest for Arena 2010).



Yapay sinir ağları (YSA) çok boyutlu, bilgi eksiği olan, doğrusal olmayan ve sorunun çözümü matematik ifadelerle tanımlanamayan şartlarda kullanılır. YSA bir öğrenme yöntemi şeklinde tanımlanabilir. Örneklemlerden yararlanarak öğrenim prosesini uygular. Biyolojik öğrenmeye benzer sinir sistemi yapısını sahiptir. YSA desteği yardımıyla karar verilebilmek amacıyla öncelikle ağı eğitimi gereklidir. YSA’da eksik bilgiler işlenerek sonuç alınabilir. Makul ağ yapısını denemelerle belirlediğinden lokal çözüme bağlanabilir, bu da sistemin dezavantajıdır. Örnekler YSA’nın eğitilmesi için değerlidir ama örnek seçiminde yaygın bir yöntem bulunmamaktadır. Ayrıca, bilgi ağ içine gömüldüğünden yorumlanması karmaşıktır (Nabiyev, 2010).

iii. Simülasyon Uzunluğu: Oluşturulan modelin çalıştığı zamandır. Herhangi bir değer verilmezse simülasyon modeli devamlı çalışır. Çalışmanın simülasyon zamanı Little formülü ile hesaplanmıştır. Formül basit olup kuyruk süreçlerini doğrulamak için kullanılır. Eş. 1’deki formül, sistemde bilinmeyen nedenle kalan gelişleri bulmak için de kullanılır (Altıok ve Melamed, 2007). N, proseslerdeki ortalama iş miktarıdır, W işin model içinde kaldığı zamanın ortalamasıdır ve  $\lambda$  sadece etkili geliş değeridir.

$$N = \lambda W \quad (1)$$

Simülasyon modelinin doğruluğu, uygulamadan alınan verilerin kontrol edilmesiyle ve kurulan modelin alt bölümlerinin doğruluğunun Little formülü ile test edilmesiyle gerçekleştirilmiştir (Tablo 3). Sonrasında tüm simülasyonun uygunluğu kontrol edilmiştir. Uygulama çalışmasında müşteri şikâyetlerine çözüm için görevlerin %40’ı Ar-Ge , %32’si satın alma, %19’ü üretim/servis, %9’u kalite birimlerine yönlendirilmiştir.

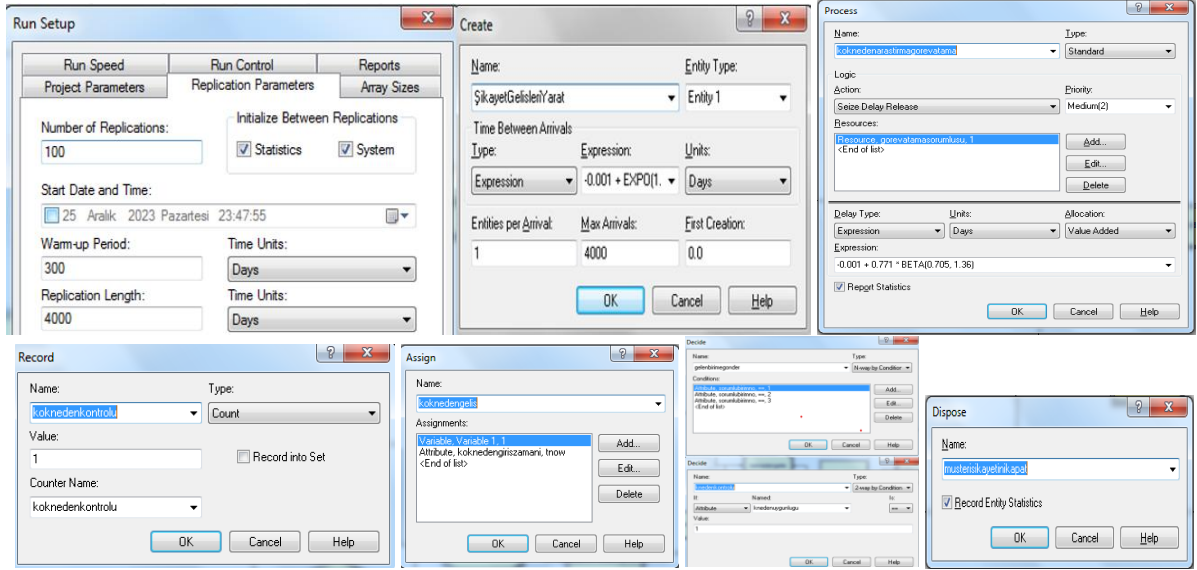
**Tablo 3.** Simülasyon optimizasyonu modelinin doğruluğunun Little formülü ile kontrolü

No	Süreç ismi	Başlangıca ait süreç zamanları (gün)	Kişi sayısı (adet)	Günlük Çalışma saati	Günlük Toplam Çalışma saati	Servis süreleri	Süreç zamanları 1839 geliş için (gün)	Servis süreleri	Süreç zamanları 4000 geliş için (gün)
1	Kök neden bulma için görev atama	0,4789	1	3	3		0,4789		0,4712
2	Kök neden bulma	2,2229	2	5	10		2,2229		2,2381
3	Çözüm birimine karar verme	0,4699	1	3	3		0,4699		0,4617
4	Ar-Ge çözüm bulma	28,6408	18	4	72	0,4*28,6408	11,456	0,4*29,11	11,644
5	Satın alma çözüm bulma	31,9543	12	3	36	0,32*31,9543	10,225	0,32*32,934	10,539
6	Üretim çözüm bulma	15,1310	4	2,5	10	0,19*15,1310	2,875	0,19*14,263	2,710
7	Kalite çözüm bulma	13,1087	3	3	9	0,09*13,1087	1,180	0,09*13,10	1,179
8	Ortalama Şikâyet kapatma süresi	29,2345	41		143	Toplam	28,908		29,243
						Modelin doğruluğu	98,89%	Modelin doğruluğu	99,97%

Kurulan simülasyon optimizasyon modeli, proseslere, her birimde çalışan kişi sayısına ve ortalama şikâyet kapatma hedef gününe duyarlıdır. Simülasyon uzunluğu yeterince yüksek alınarak hassasiyet elde edilmiştir. Uygulama verilerine göre ortalama müşteri şikâyet kapanma süresi 29,2345 gündür. Simülasyon modelinin başlangıç verilerine göre müşteri şikâyet geliş adedi 1839 olduğunda şikâyet kapanma süresi 28,908 gün ve model doğruluğu %98,89 oranında olmuştur, geliş sayısı 4000 adet olduğunda ise şikâyet kapanma süresi 29,243 gün ve model doğruluğu %99,97 oranında olmuştur.

iv. Arena Simülasyon Modelinin Kurulum Modülleri: Kurulan modele ait tekrar değeri ve simülasyon modelinde kullanılan modüllerin ekran görüntüleri Şekil 4’te tanımlanmıştır. Program çalıştırma verileri

Run Setup ekranında verilmiştir, Create modülü ile müşteri şikâyet gelişleri yaratılmıştır (Expression: EXPO:1.55). Process modülüne servis süreçlerin dağılımı tanımlanmıştır (0,771\*BETA(0,705 , 1.36). Decide modülü ile karar verilmesi gereken durumlar tanımlanmıştır. Evet/Hayır gibi 2 seçenek gerektiren durumlarda 2-way by condition, 2 seçenekten fazla olan durumlarda (çözüm birimlerine görev atama) N-way by condition kullanılmıştır. Record modülünün istenen süreçlere bağlanması ile gerekli kayıtlar yaratılmış ve rapor çıktısında her bir sürecin verileri yazdırılmıştır. Dispose modülü ile de çözülen müşteri şikâyetlerinin kapatılması ve sistemden çıkarılması sağlanmıştır.



Şekil 4. Simülasyon modelinde kullanılan modüllerin örnek ekran görüntüleri

v. Simülasyon Modelinin Replikasyon Sayısı: Simülasyon bir sisteme ait verimliliğin örnekleme metoduyla yaklaşık olarak hesaplanmasıdır. Replikasyon ise simülasyonun tekrar edilmesidir. Replikasyon değerini belirlemek amacıyla Eş. 2’de verilen formülden yararlanılmıştır (Rossetti, 2010). Bu araştırma çalışmasında t dağılımı temel alınarak iterasyon metodu ile her proses için farklı replikasyon değeri bulunmuştur.

$$n \geq ((t \alpha/2, (n - 1)^S) / E)^2 \quad (2)$$

Replikasyon yinelenirse modelin güvenilirliği artar. Güven aralığı, tahminin ne kadar güvenilir olduğunu gösterir. Bu çalışmada %95 olan güven aralığı kullanılmıştır.  $\alpha=1-0,95=0,05$  (Yarım genişliğe sahip güven aralığında  $\alpha/2=0,025$ ), S=verilere ait “standart sapma”, E=Verilere ait ortalama, n=Başlangıçtaki replikasyon değeri. Formülde “ $t_{\alpha/2}$ , n-1” n’e bağlıdır, bu nedenle iterasyon yapılması gereklidir. Hesaplamalar sonucunda şikâyeti kapatma zamanı için n=2, kök neden bulma için görev atama zamanı için n=5, kök neden araştırma süresi için n=10, çözüm için birime görev atama süresi için n=6, Ar-Ge çözüm araştırma için n=6 (Tablo 4), satın alma çözüm araştırma süresi için n=7, üretim/servis çözüm

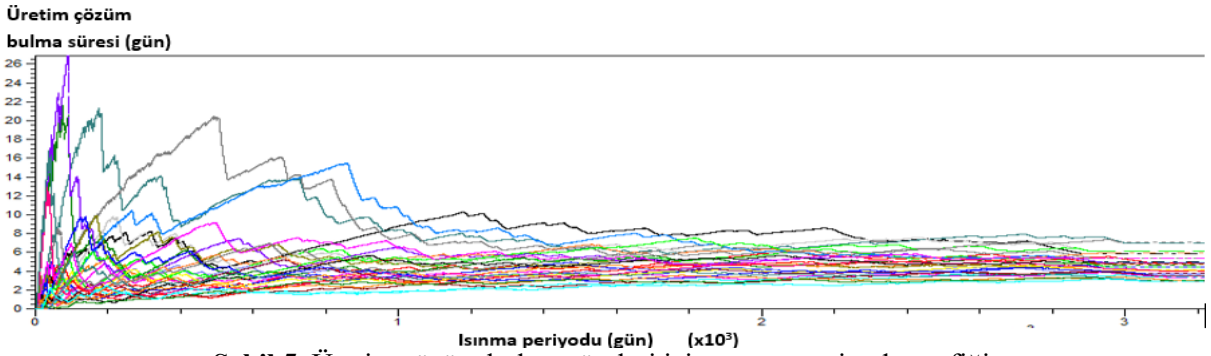
araştırma süresi için n=8, kalite çözüm araştırma süresi için n=7 replikasyon yeterli çıkmıştır. Doğruluk değerini artırmak için 100 replikasyon ile program çalıştırılmıştır.

**Tablo 4.** Ar-Ge çözüm bulma süresi için replikasyon sayısı

Başlangıç replikasyon sayısı (n)	Ortalama	ort*hata=ort*0,99	Standart sapma	$t_{\alpha/2, n-1}$	n (Formül)	Açıklama
2	11,900	11,781	11,00	12,70	140,61	$6 \geq 5,76$
3	11,900	11,781	11,00	4,303	16,14	
4	11,900	11,781	11,00	3,182	8,83	n=6
5	11,900	11,781	11,00	2,776	6,72	replikasyon
6	11,900	11,781	11,00	2,571	5,76	yeterli

vi. Simülasyon Modelinin Isınma (Warm-up) Periyodu: Isınma periyodunun bulunması için farklı metotlar vardır. Araştırmamızda ise Welch Grafik metodu ile ısınma periyodu belirlenmiştir (Rossetti, 2010). Metodun özeti aşağıda verilmiştir.  $R > 5$  replikasyon yapılması önerilir. ve  $r=1,2, \dots, R$  ve  $i=1,2, \dots, n_r$  için replikasyonda yer alan i'inci gözlemin değerine “ $Y_{ri}$ ” diyelim. Her bir  $i=1,2, \dots, n$  değeri için replikasyona ait ortalama belirlenir (Eş. 3).  $i=1,2, \dots, n$  değerine ait  $\hat{Y}_{.i}$  grafiğinin şekli oluşturulur.  $\hat{Y}_{.i}$ ,  $i=1,2,3, \dots, n$ 'e düzleştirme yöntemleri tatbik edilir (Rossetti, 2010). Göz ile grafiklerin düzleşmeye başladığı yer belirlenir. Görüntü bakımından düzleşmeye başlayan bölge Warm-up değeri kabul edilir. Üretim çözüm bulma süreleri için elde edilen ısınma periyodu grafiği Şekil 5'te verilmiştir. Modeldeki tüm süreçler için Arena programı ile çizilen grafikler incelenmiş Warm-up sayısı 300 gün olarak belirlenmiştir.

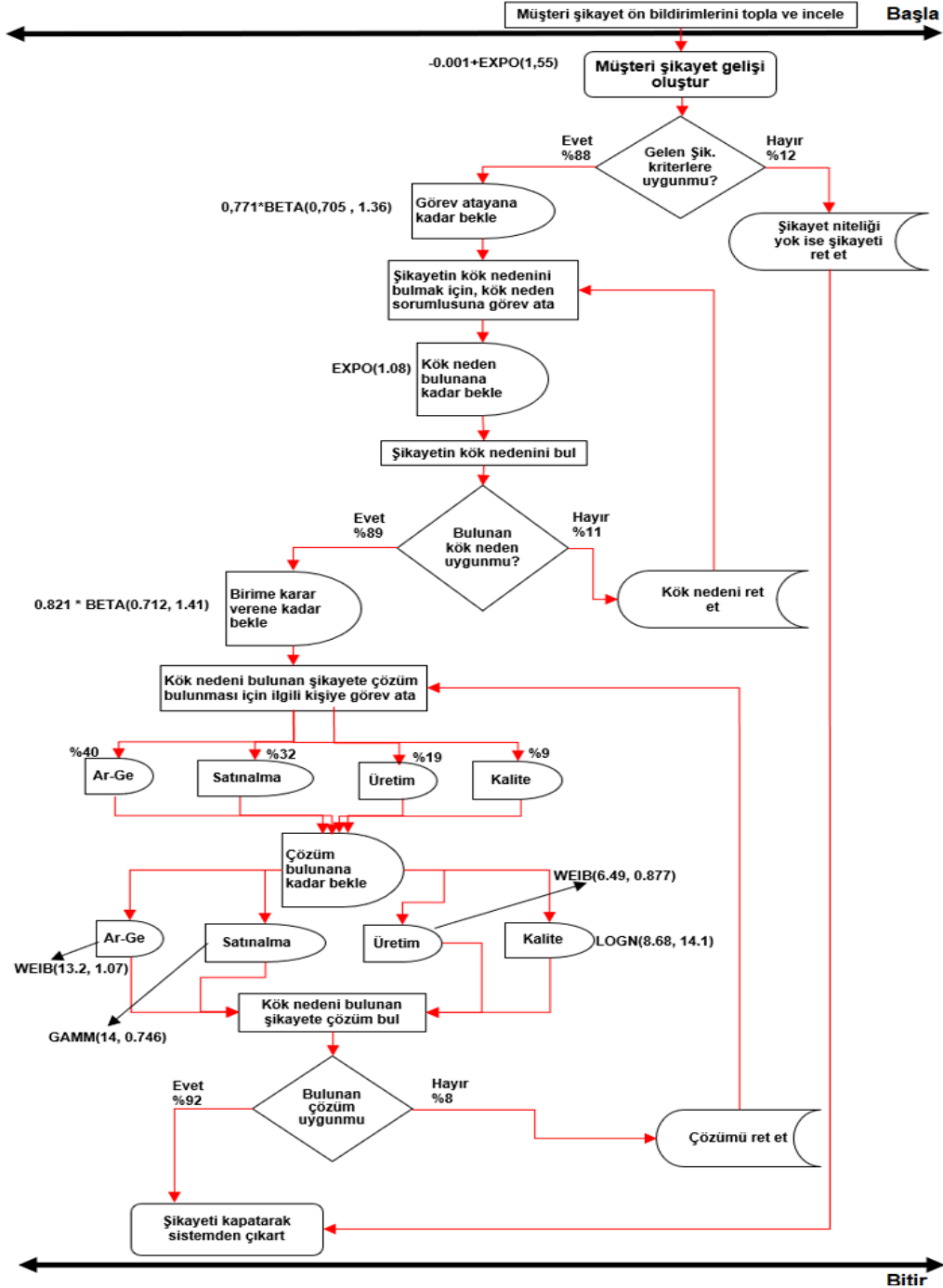
$$\hat{Y}_{.i} = (\sum_{r=1}^R Y_{ri}) / R \quad (3)$$



**Şekil 5.** Üretim çözüm bulma süreleri için ısınma periyodu grafiği

vii. Müşteri şikayetlerini değerlendirme süreçlerine ait simülasyon akış çizelgesi Şekil 6'da verilmiştir. Uygulama verilerine göre, şikayetlerin bazıları kriterlere uygun olmadığı için şikâyet olarak kabul edilmemiştir. Bu nedenle simülasyon modeli kurulurken iletilen şikayetlerin kriterlere uygun olup olmadığı kontrol edilmektedir ve kriterlere uymayan şikayetler sistemden kaldırılmaktadır. Uygulama çalışmasında toplam şikayetlerin %12'si kriterlere uygun olmadığı için program tarafından sistemden

kaldırılmaktadır. Uygulamanın başlangıç durumunda şikâyetin kök nedenini ilk seferde doğru olarak bulma oranı %89 ve şikâyetin çözümünü ilk seferde doğru olarak bulma oranı %92'dir.



Şekil 6. Müşteri şikâyetlerini değerlendirme süreçlerine ait simülasyon akış çizelgesi

viii. Simülasyon Modeline Ait Amaç Fonksiyonu ve Uygulama Kısıtı: Şikâyetin ortalama kapanma süresi ' $W$ ' (Eş. 4), ortalama servis süresi ' $W_s$ ' ve kuyrukta bekleme süresinin ' $W_q$ ' toplamı olarak alınmıştır. Ortalama şikâyet kapanma zamanı kısıt değeri 60 günün üzerinde olmayacak biçimde (Eş. 5) programa tanıtılmıştır.

$W$  : Şikâyetin sistemde beklediği ortalama toplam zaman (servis+ kuyrukta bekleme zamanı– gün)

$Wq$  : Şikâyetin ortalama kuyrukta bekleme zamanı (servis zamanı dahil değil - gün)

$Ws$  : Kuyrukta bekleyen şikâyete ait ortalama servis zamanı (gün)

$$W = Wq + Ws \quad (4)$$

$$W < 60 \quad (5)$$

#### 4. Bulgular ve Tartışma

Uygulanan modele ait proseslerde çalışacak en uygun personel adetlerini bulmak için Arena programına farklı personel sayıları ve çalışma saatleri tanımlanmış ve çözümler elde edilmiştir. Daha sonra elde edilen çözüm süreleri grafiklere dönüştürülerek karşılaştırma yapılmıştır.

Sistemin Başlangıç Durumu: Müşteriden gelen şikâyetlerin ele alınması ve problemi çözme zamanı tahsis edilecek kişi sayısına ve elemanların günde kaç saat çalışacağına bağlıdır. Sisteme en uygun sayıda kişi atama ile problemin giderilme hızında iyileşme sağlanacaktır. Uygulama verilerine göre başlangıçta, 41 personel bir günde 143 saat problem çözmek için atanmıştır.

**Tablo 5.** Optimizasyon işlemlerinin başlangıç verileri

Süreçler	Çözüm Süresi (gün)	Kişi Sayısı (adet)	Kişilerin Çalışma Saati	Toplam Çalışma Saati
Kök neden bulma için görev atama	0,47890	1	3	3
Kök neden bulma	2,22290	2	5	10
Çözüm birimine karar verme	0,46990	1	3	3
Ar-Ge çözüm bulma	28,6408	18	4	72
Satın alma çözüm bulma	319,543	12	3	36
Üretim çözüm bulma	15,1310	4	2,5	10
Kalite çözüm bulma	13,1087	3	3	9
Ortalama çözüm bulma	26,0103	37		127
Ortalama şikâyet kapatma	29,2345	41		143

Uygulamada hedef olarak ortalama şikâyet kapanma süresinin 60 günü geçmemesi beklenmektedir, bu nedenle maksimum süre kısıtımız olan 60 gün değeri ile birimlerde görevli kişi sayıları ve amaç fonksiyonu Arena programına uygulama değerleri olarak tanımlanmıştır. Uygulamaya ait sürelerin başlangıç değerleri Tablo 5 ile verilmiştir. Sonraki aşamalarda farklı miktarda kişi sayıları ve çalışma saatleri tanımlanarak program tekrar çalıştırılmış ve sonuçlar incelenmiştir. Çıktı olarak, her süreçteki kişi sayısı, proses zamanı, kuyruk içinde kalma süresi elde edilmiştir. Firma bu verilerden faydalanarak uygun personel sayısı ile en makul çözüm süresi elde edebilir. Çalışmada yine uygulamadaki veriler dikkate alınarak eleman atama planı yapılmıştır (Tablo 6). Her bölümde çalışan kişi adedi ve çalışma saatleri uygulamadaki fiili duruma göre planlanmıştır. Çekici ve Yüregir (2020) tarafından yapılan bir araştırmada, proseslerde görevli personellerin gün içindeki çalıştığı zamanı artırmanın etkin olmadığı, toplam çalışılan zamanın daha fazla personele yayılması ile, çözüm süresinin ve kuyrukta bekleme süresinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu araştırmada da toplam çalışma süresi daha fazla sayıda kişiye

yayılmış ve bu kişilerin tam zamanlı çalışma yapması yerine belirli saatlerde çalışma yapması planlanmıştır. Tablo 6’da gösterilen personel sayısı ve çalışılan saatleri kullanılarak simülasyon optimizasyonu yapılmıştır. Örneğin Tablo 6’da verilen ilk satırda (başlangıçta), 41 kişi toplamda 143 saat çalışmıştır. Tablodaki satın alma çözüm bulma kolonundaki 12/3 verisi, 12 kişi günde 3’er saat çalışıyor demektir. Bu kapsamda çalışmada şikâyet çözme zamanı kısıtına göre kaç kişiyle ve ne kadar saat çalışmaya ihtiyaç olduğu belirlenecektir. Şikâyet çözme zaman kısıtı karşılandığı sürece optimum eleman sayısı bulunacaktır. Kısıt karşılanmaz ise simülasyon optimizasyon denemesi tamamlanacaktır.

**Tablo 6.** Birimlerde çalışan kişi sayısı ve bu kişilerin çalışma saatleri

Toplam kişi sayısı	Toplam çalışma saati	Görev atama	Kök neden bulma	Çözüm için birime karar verme	Ar-Ge çözüm bulma	Satın alma çözüm bulma	Üretim çözüm bulma	Kalite çözüm bulma
41	143	1/3	2/5	1/3	18/4	12/3	4/2,5	3/3
37	126	1/3	2/5	1/3	15/4	11/3	4/2	3/3
33	111	1/3	2/5	1/3	12/4	10/3	4/2	3/3
31	107	1/3	2/5	1/3	12/4	8/3	4/2,5	3/3
30	104	1/3	2/5	1/3	12/4	8/3	4/2,5	2/3
27	96	1/3	2/5	1/3	12/4	8/3	2/2,5	1/3
25	89	1/3	2/5	1/3	11/4	7/3	2/2,5	1/3
22	77	1/3	1/5	1/3	10/4	6/3	2/2,5	1/3
21	73	1/3	1/5	1/3	9/4	6/3	2/2,5	1/3
20	70	1/3	1/5	1/3	9/4	5/3	2/2,5	1/3
19	66	1/3	1/5	1/3	8/4	5/3	2/2,5	1/3
18	63	1/3	1/5	1/3	8/4	4/4	2/2,5	1/3
16	58	1/3	1/4	1/3	7/4	4/3	2/2,5	1/3

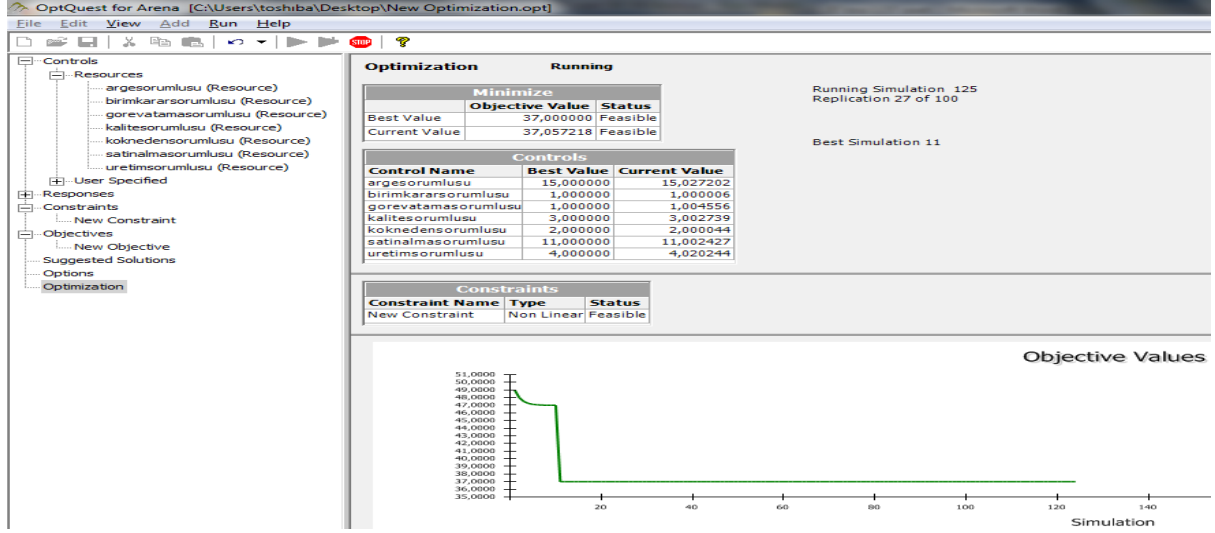
Sonraki denemede toplam kişi sayısı 37 ve bu kişilerin günlük 126 saat çalışmasıyla elde edilen çözüm, kuyrukta kalma ve proses süresi ile çalışan kişilerin iş yoğunluk yüzdesi belirlenmiştir (Tablo 7).

**Tablo 7.** 37 personelin günde toplam 126 saat çalışmasına ait analizler

Ana süreçlerin ortalama zamanı (gün)	Çözüm süresi (gün)	Kuyrukta bekleme süresi (gün)	Proses süresi (gün)	İş yoğunluğu (%)	Kişi sayısı (adet)	Kişilerin günlük çalışma saati	Günlük toplam çalışma saati
Kök neden araştırma için görev atama	0,5328	0,2638	0,2690	15,28	1	3	3
Kök neden araştırma	2,2599	1,1822	1,0777	51,29	2	5	10
Çözüm birimine görev atama	0,5172	0,2359	0,2813	15,98	1	3	3
Ar-Ge çözüm araştırma	29,1116	19,6028	9,5088	97,97	15	4	60
Satın alma çözüm araştırma	32,9444	17,1418	15,8026	95,22	11	3	33
Üretim/Servis çözüm araştırma	12,8089	7,0913	5,7176	68,34	4	2	8
Kalite çözüm araştırma	13,0551	4,1422	8,9129	41,29	3	3	9
Ortalama çözüm araştırma	25,7955	15,0466	10,7489	86,36			
Şikâyet Kapatma	29,9254	16,7285	12,3769	83,69			

Şekil 7’de personel sayısı 37 iken Arena OptQuest modülü ile elde edilen sonuçlar görülmektedir, hesaplanan değerlere göre 37 personel ile modelin uygulanabilir olduğu görülmüştür. Analiz sonuçlarına göre, 41 adet personel yerine 37 adet personel kullanıldığında, şikâyet kapanma süresi ortalama olarak 29,2345 günden 29,9254 güne çıkmıştır. Şikâyet kapanma süresinde küçük bir miktar artış olmuştur. Ayrıca, bulunan sonuçlardan kök neden araştıran personelin iş yoğunluğu %51,29 (41 elemanla %53,06

idi), Ar-Ge çözüm personellerinin iş yoğunluğu %97,97 (41 elemanla %97,52 idi). Üretim çözüm personellerinin iş yoğunluğu %68,34 (41 personelle %67,56 idi) olmuştur. Satın alma çözüm bulan personellerin iş yoğunluk yüzdesi %95,22 (41 personelle %94,85 idi) bulunmuştur (Tablo 7). Kalite çözüm bulan personelin iş yoğunluğu %41,29 (41 personelle %41,56 idi) bulunmuştur.



Şekil 7. Personel sayısı 37 iken Arena OptQuest ile elde edilen optimizasyon sonuçları

Sonuçta 41 personel yerine 37 personel kullandığımızda şikâyet kapatma proseslerinde görevli çözüm personellerinin iş yoğunluklarında aşırı değişkenlik gözlenmemiştir (Tablo 7). Bunun sebebi belirli zamanlarda yoğun olarak varan şikâyetler haricinde personellerin esnek çalışma yapmasıdır.

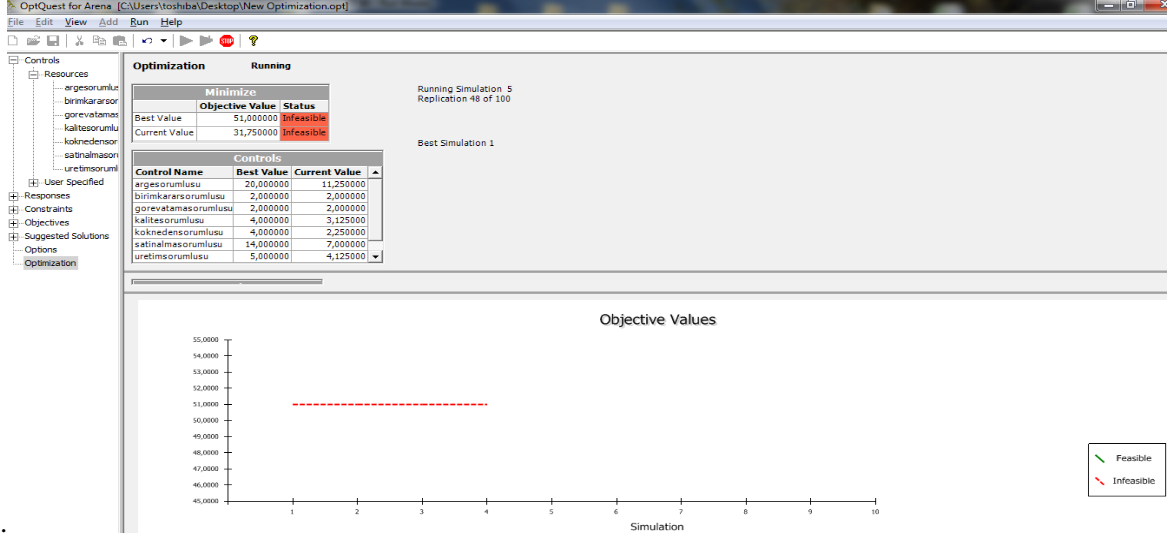
Daha sonra Tablo 6’da verilen kaynak planındaki çalışan personel adetleri 33, 31, 30, 27, 25, 22, 21, 20, 19, 18, 16 kişi için ilgili çalışılan saatlere göre program tekrar çalıştırılmıştır. Sistemde çalışan kişi sayısı ve çalışma saatlerine göre ortalama şikâyet kapatma zamanının değişimine ait sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 8. 19 personelin 66 saat çalışması ile elde edilen OptQuest sonucu

Süreç İsmi	Ortalama süre (gün)	Ortalama Kuyrukta bekleme süresi (gün)	Ortalama İş Yoğunluğu (%)
Kök neden araştırma için görev atama	0,4594	0,1890	0,1527
Kök neden araştırma	4,3873	3,0713	0,6188
Kök neden uygunluğuna karar verme	0,4413	0,1645	0,1589
Ar-Ge çözüm araştırma	125,7000	67,9938	0,9856
Satın alma çözüm araştırma	90,2877	69,3394	0,9815
Üretim/Servis çözüm araştırma	21,0606	13,2032	0,7156
Kalite çözüm araştırma	18,2244	13,4481	0,4546
Şikâyet Kapatma Süresi	87,2581		

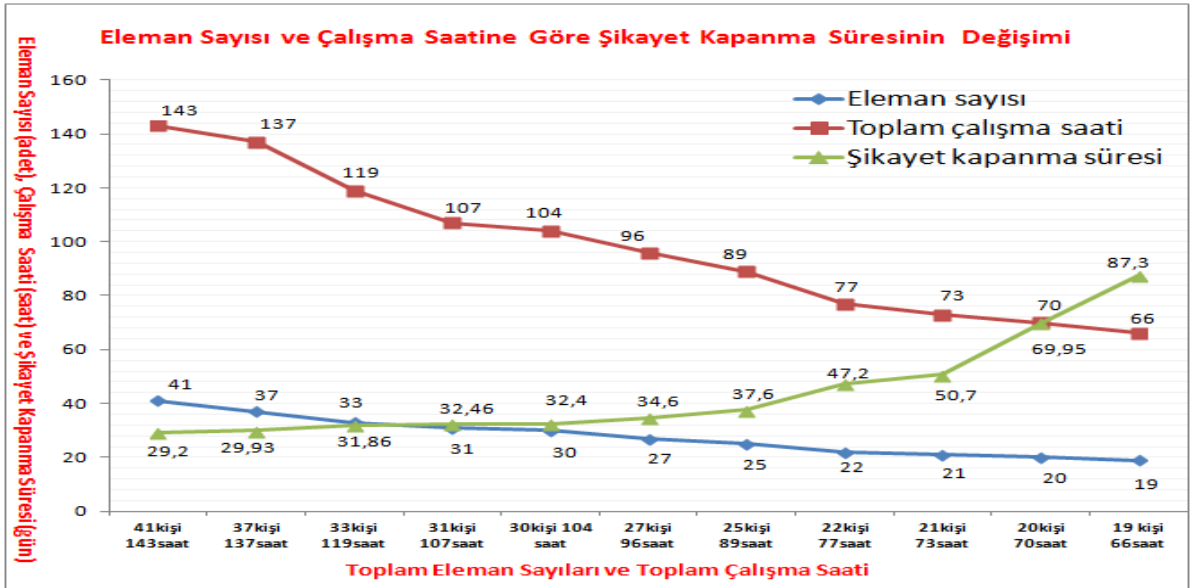
Örneğin 19 kişinin günlük 66 saat çalışma yapması ile 60 gün olan ortalama şikâyet kapanma süre kısıt hedefi geçilmiştir. Sonuçlar Tablo 8’de gösterilmiştir. Şikâyet çözme zamanı 16. replikasyonda 87,2581 gün olmuştur. 100 adet replikasyon tamamlanamadığı için deneme başarısız olmuştur. Bulunan 87,2581 gün sonucu, 60 gün olan kısıtımızı aştığı için uygulanabilir olmamıştır.

18 personel günlük toplam 63 saat çalıştığında ise model çözüm üretmemiştir (Şekil 8). Bu nedenle, 18 personelden daha fazla personeli çalıştırmak gereklidir. Arena OptQuest modülü ile elde edilen sonuçlara göre 18 kişi ile elde edilen değerlerin uygulanabilir olmadığı görülmüştür.



Şekil 8. 18 personelin 63 saat çalışmasıyla bulunan Arena OptQuest optimizasyon çıktısı

i. Şikâyet kapatma zamanının, personel adedi ve çalışılan saate göre değişimi: Tablo 6’da verilen tüm senaryolar için program yürütülmüştür. Elde edilen bulgular Şekil 9’da şikâyet kapatma zamanı, personel adedi ve toplam çalışma saati olarak gösterilmiştir.



Şekil 9. Şikâyeti kapatma zamanının, personel adedi ve çalışılan saate göre değişim grafiği

ii. Toplam Şikâyet Kapatma Süresi, Kuyrukta Bekleme Süresi ve Proses Süresine göre Personel Optimizasyonu: Personel adedi ve günlük çalışılan saatlere göre şikâyet kapatma zamanının grafiği Şekil 10’da verilmiştir. Şekilden toplam zamanın ne kadarının servis zamanı ne kadarının kuyrukta



kalma zamanı olduğu da görülebilmektedir. Çalışan kişi sayısındaki azalma ile şikâyet kapanma zamanı artmaktadır. Maksimum şikâyet kapanma zaman sınırı olan 60 gün, 20 kişinin kullanımı ile geçilmiştir. Bu durumda 20 kişinin üzerinde olan 21 ile 41 personel arasından seçim yapılmasının mümkün olduğu ortaya çıkmaktadır.

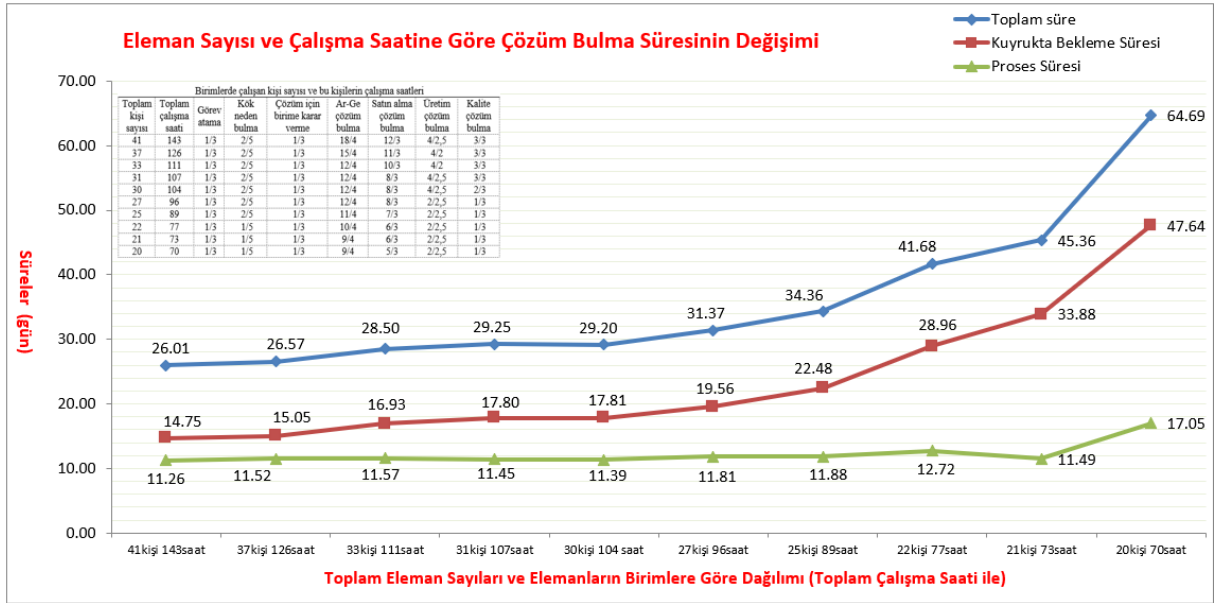


**Şekil 10.** Şikâyet kapanma zamanının personel adedi ve çalışılan saate göre değişim grafiği

Eğer firmanın kullanacağı kişi miktarı ve çalışma saati kısıtlıysa 21 kişi ile bir günde 73 saat çalışarak, ortalama 50,71 günde bir şikâyet kapatılabilir. Bu iş için kullanacağımız kişilerin sayısında kısıt yoksa problemi kısa sürede çözülebilir. Çalışan kişi adedinin azalması ile şikâyet kapanma ve kuyrukta kalma süreleri artış göstermektedir.

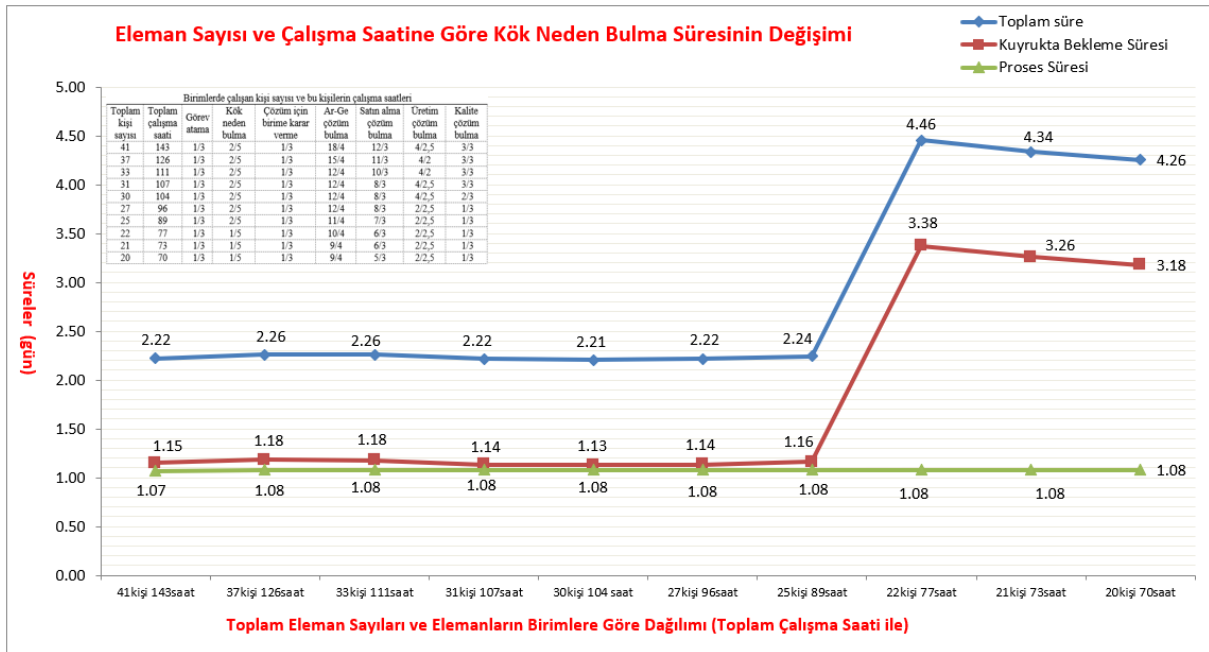
iii. Ortalama Çözüm Bulma Süresi, Çözüm için Kuyrukta Bekleme Süresi ve Çözümün Proses Süresine Göre Personel Optimizasyonu: Personel adedinin düşmesine bağlı olarak çözüm süresinin artış gösterdiği görülmektedir (Şekil 11).

Elde edilen şekildeki verilerden faydalanarak, firma sahip olduğu personel sayısına göre seçim yapabilir. Şikâyete çözüm üreten bölümlerdeki kişi sayısı azalınca çözüm araştırma zamanı uzamaktadır. Özellikle kişi adedi 25'ten az olan bölgelerde kuyrukta kalma zamanında belirgin bir artış görülmektedir.



Şekil 11. Ortalama çözüm bulma zamanının eleman sayısı ve çalışma saatine göre değişimi

iv. Kök Neden Bulma Zamanına Göre Personel Optimizasyonu: Şekil 12’den görüldüğü gibi kişi sayıları azalırken, kök neden bulma zamanı artmaktadır ve kuyrukta bekleme süresi uzamaktadır.



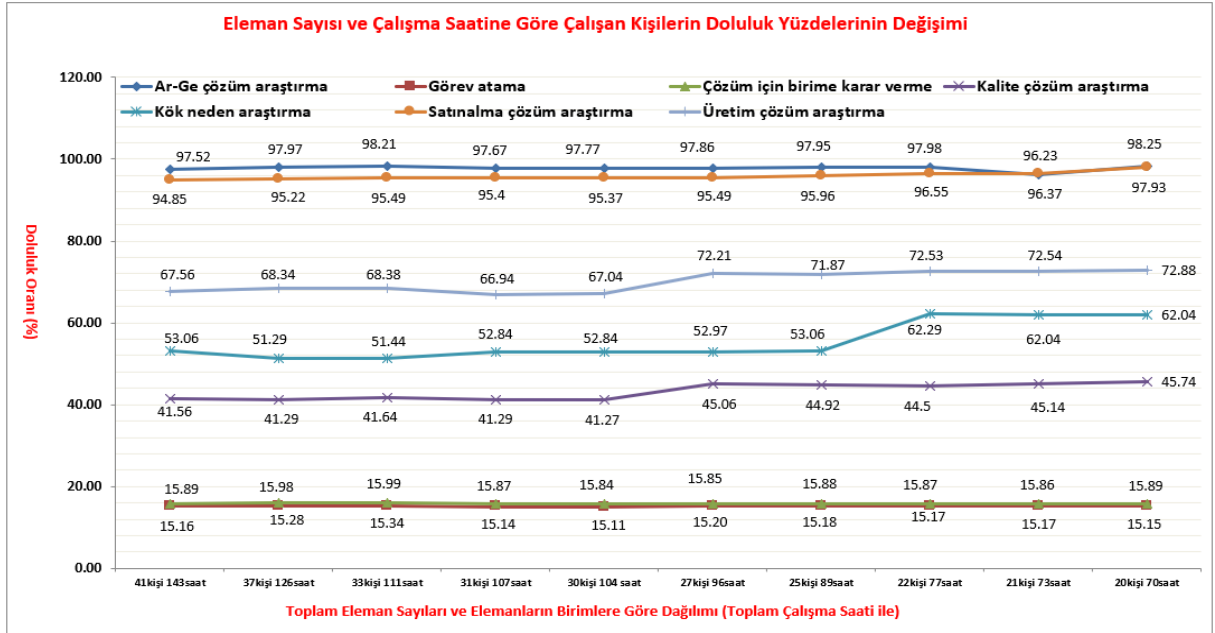
Şekil 12. Kök neden bulma süresinin kişi sayısı ve günlük çalışma saatine göre değişimi

Kök sebep bulma zamanını tespit etmek için uygun sayıda eleman seçimi yapılır. Kök neden bulma için iki kişi atanırsa, ortalama 2,2 günde bir adet kök sebep bulmak mümkündür. Bu sürenin 1,08 günü işlem zamanı, 1,15 günü ise kuyrukta kalma zamanıdır. Fakat kök neden bulma için bir kişi tahsis edilirse, ortalama 4,34 günde bir adet kök sebep bulmak mümkündür. Bu sürenin 1,08 günü işlem zamanı, 3,26 günü ise kuyrukta kalma zamanıdır.

v. Kişilerin İş Yoğunluğu Yüzdelerinin Değişimi: Eleman sayısı ve çalışma saatine göre, çalışan kişilerin iş yoğunluğu oranı Tablo 9’da verilmiştir.

**Tablo 9.** Bölümlerde çalışanların sayısı ve çalışma saatine iş yoğunluğu yüzdesi (%)

Toplam eleman sayısı ve çalışma saatleri	Görev atama	Kök neden araştırma	Çözüm için birime karar verme	Ar-Ge çözüm araştırma	Satın alma çözüm araştırma	Üretim çözüm araştırma	Kalite çözüm araştırma
41kişi 143saat	15,16	53,06	15,89	97,52	94,85	67,56	41,56
37kişi 126saat	15,28	51,29	15,98	97,97	95,22	68,34	41,29
33kişi 111saat	15,34	51,44	15,99	98,21	95,49	68,38	41,64
31kişi 107saat	15,14	52,84	15,87	97,67	95,4	66,94	41,29
30kişi 104 saat	15,11	52,84	15,84	97,77	95,37	67,04	41,27
27kişi 96saat	15,20	52,97	15,85	97,86	95,49	72,21	45,06
25kişi 89saat	15,18	53,06	15,88	97,95	95,96	71,87	44,92
22kişi 77saat	15,17	62,29	15,87	97,98	96,55	72,53	44,5
21kişi 73saat	15,17	62,04	15,86	96,23	96,37	72,54	45,14
20kişi 70saat	15,15	62,04	15,89	98,25	97,93	72,88	45,74



**Şekil 13.** Personel adedi ve çalışma saatine göre personellerin günlük iş yoğunluğu yüzdesi

Kök neden bulma için ilgiliye görev atama yapan çalışanların ortalama iş yoğunluğu (günlük çalışma doluluğu) yüzdeleri %14,77 ile %15,99 oranındadır. İş yoğunluk değeri, kalite çözüm bulma için ~%37,12 - %45,74, Ar-Ge çözüm bulma için ~%96,23 - %98,25, Satın alma çözüm bulma için ~%94,85 - %97,93, üretim-servis çözüm bulma için ~%67,56 - %72,88 arasındaki değerleri almaktadır (Şekil 13). Ortalama kök sebep bulma elemanlarının iş yoğunluğu tahsis edilen kişi adedine göre değişiklik göstermektedir. Kişi adedi 2 iken iş yoğunluğu ~%53,06, bir kişi iken ~%62,29 olmuştur.

## 5. Sonuç

Müşteri şikâyetlerini değerlendirme sistemini kurmuş kurumsal firmalarda, şikâyetlerin kaydedilmesi, analiz edilmesi, sorumlu bölümlere yönlendirilmesi, yapılan çözüm çalışması ile ilgili olarak müşteriye

bilgi verilmesi ve şikâyet sisteminin devamlılığı gereklidir. Müşteri şikâyet değerlendirme sistemine ait uygulama çalışmaları oldukça sınırlı sayıdadır. Ayrıca, yaptığımız literatür çalışmasına göre müşteri şikâyet değerlendirme sisteminde çalışan kişi sayısı ve bu kişilerin çalışma sürelerinin simülasyon optimizasyonu ile belirlenmesine yönelik çalışmaya rastlanmamıştır. Bu kapsamda müşteri şikâyetlerini beklenen hızda ve kalitede çözmek amacıyla, ülkemizde gerçekleştirilen bu uygulama çalışması bu konudaki boşluğu doldurmuştur. Çalışma hem üretim hem de servis sektörlerinde uygulanabilecektir. Bu araştırma çalışmasında, uygulamadaki müşteri şikâyet sistemi ile müşteri şikâyet zamanlarından faydalanılmıştır. Uygulamada yer alan ana süreçlerin zaman dağılımları istatistiksel olarak bulunmuş ve simülasyon modelinin kurulumunda kullanılmıştır. Simülasyon optimizasyonu programı değişik kişi sayısı ve çalışma saatleri ile çalıştırılmış ve her süreçte harcanan zaman ve kişilerin günlük iş yoğunluğu oranları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kişi sayısı ve toplam çalışma saati düşürüldüğünde çalışan kişilerin iş yoğunluk oranı artış göstermekte ve çözüm bulma zamanları da artmaktadır. Çalışma sonucunda sistemde çalışan elemanların optimizasyonu ile başlangıç durumuna göre fark edilir bir iyileşme elde edilmiştir. Başlangıçta, müşteriden gelen şikâyetler 41 kişi ile günde 143 saat çalışarak kapatılmaktaydı. Çalışma sonucunda, 21 kişi ile günde 73 saat çalışarak şikâyetlere çözüm bulunabileceği belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre eleman sayısında ortalama %48,78, günlük toplam çalışma saatinde ortalama %48,95 oranında iyileşme görülmüştür.

Uygulama çalışması sırasında karşılaşılan güçlüklerin başında bölümlere atanacak eleman sayısının yetersizliği gelmektedir. Çünkü firma fazla eleman tahsis etmede isteksiz davranmaktadır. Bu nedenle müşteri şikâyet sisteminde çalışacak elemanların sayısı ve günlük çalışma saatinin önceden tahmin edilmesi ve atanması çok önemlidir. Şikâyeti kapatma hedef süre kısıtı optimum sayıda eleman atanmasında kilit rol oynamaktadır. Müşteri şikâyet kapatma hedef süresini yakalamak ve daha fazla kuyruk oluşmasını önlemek için atanan elemanların gün içinde daha fazla sürede çalışma ihtiyacı oluşmuştur.

Müşteri şikâyetlerini değerlendirme sistemindeki personel kaynağının atanması için Arena yazılımının OptQuest modülünden faydalanılmıştır. Yapay sinir ağları, bulanık mantık gibi yöntemler kullanarak farklı çözümler bulmaya çalışılabilir ve sonuçlar karşılaştırılabilir. Ayrıca, daha sonraki çalışmalarda araştırmacılar müşteri şikâyet geliş süreleri ve servis sürelerine bağlı olarak kuyruk modelini belli varsayımlarla matematiksel olarak modelleyebilir. Örneğin gelişler arası süreler ve servis süreleri üstel dağılım kabul edilerek kuyruk modeli matematiksel olarak formüle edilip çözülebilir ve aynı şartlarda simülasyon modeliyle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılabilir.

### **Teşekkür**

Çalışmayı MMF2011D1 numaralı proje ile destekleyen Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

## **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarı olarak herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederim.

## **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Makalede yazar fikrin ve modelin oluşturulması, simülasyon optimizasyon modelinin kurulması ve uygulanması, verilerin analizi, bilimsel literatür taraması, sunulan şekillerin tasarlanması, sonuçların değerlendirilmesi, makale yazımı, denetimi ve kapsam kontrolünde katkı sağlamıştır.

## **Kaynakça**

- Ahmed RR., Vveinhardt J., Warraich UA., Hasan SS., Baloch A. Customer satisfaction & loyalty and organizational complaint handling: economic aspects of business operation of airline industry. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics* 2020; 31(1): 114–125.
- Akdeniz HA., Tatar B. Hava limanında kuyruk simülasyonu: İzmir-Gazimir Adnan Menderes Havalimanı uygulaması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 2009; 11(3): 03-12.
- Altıok T., Melamed B. *Simulation modelling and analysis with arena*. USA, Academic Press, Elsevier, 2007.
- Armaneri Ö. Bir montaj hattı üretim sisteminde optimal işgücü dağılımının arena proses analyzer (PAN) ve OptQuest kullanılarak belirlenmesi. *Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik Dergisi* 2005; 11(1): 1-16.
- Baş İ., Tosun Ö., Bayram V. Robot yer seçimi ve işçi-istasyon ataması düşünceleri altında hat dengeleme optimizasyonu. Bir bulaşık makinesi fabrikası vaka analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2021; 27(4): 495-503.
- Bahari A., Asadi F. A simulation optimization approach for resource allocation in an emergency department healthcare unit. *Global Heart* 2020; 15(1): 1-6.
- Baykoç ÖF., Abacı S., Duyar M. Tam zamanında üretim sisteminin servis sistemlerine uygulanabilirliği. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi* 2002; 17(4): 139-155.
- Belgin Ö. Hybrid approach in a production line for multi-objective simulation optimization. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 2019; 34(4): 1847-1859.
- Carson Y., Maria A. *Simulation optimization: Methods & applications*. Winter Simulation Conference 1997; 118-125.
- Chen PS., Chen GYH., Liu WL., Zheng CP., Huang WT. Using simulation optimization to solve patient appointment scheduling and examination room assignment problems for patients undergoing ultrasound examination. *Healthcare* 2022; 10(1): 164.
- Çekici V. Müşteri şikayet değerlendirme süreçleri için kavramsal bir model ve simülasyon optimizasyon yöntemi ile değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, sayfa no:247, Adana, Türkiye, 2013.

- Çekici V., Yüregir OH. Investigation and analysis of customer complaints handling system of the companies in Turkey. *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture* 2020; 35(3): 753-768.
- Çekici V., Yüregir OH. Process optimization of the customer complaints handling system and a new customer oriented model proposal. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 2021; 36(2): 855-869.
- Davidow M. University of Haifa, organisational responses to customer complaints: What works and what doesn't. *Journal of Service Research* 2003; 5(3): 225-250.
- Düzgüt Z., Toy AÖ., Çoban S., Alibaşoğlu Z., Tok Ö., Özkeskin Ö.T., Karakaya M., Bayrak Y. Hizmet lojistiğinde iş atama ve rotalama politikaları tasarımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2019; 25(9): 1071-1079.
- Einwiller SA., Steilen S. Handling complaints on social network sites – An analysis of complaints and complaint responses on Facebook and Twitter pages of large US companies. *Public Relations Review* 2015; 41(2): 195–204.
- Estelami H. The profit impact of consumer complaint solicitation across market conditions. *Journal of Professional Services Marketing* 2000; 20(1): 165-195.
- Fae A., Chang E., Saberki M., Hussain OK., Azadeh A. Intelligent customer complaint handling utilising principal component and data envelopment analysis (PDA). *Applied Soft Computing* 2016; 47(1): 614-630.
- Greasley A., Barlow S. Using simulation modelling for BPR: resource allocation in a police custody process. *International Journal of Operations & Production Management* 1998;18(9/10): 978-988.
- Güler ME. Application of simulation technique to provide forecasting in reengineering. *Celal Bayar University Social Science Institute* 2010; 8(1): 147-168.
- Im I., Hiltz Y., Fjermestad JR. An analysis of online customer complaints: implications for web complaint management. *Proceedings of the 35th Hawaii International Conference on System Sciences* 2002; (HICSS-35.02).
- İşgüder HO. GI/M/3/K kuyruk sisteminin yarı-markov süreciyle analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2020; 26(1): 195-202.
- Akın HK., Ordu M. A novel simulation-based two stage optimization approaches for nurse planning. *International Journal of Simulation Modelling* 2022; 21(4): 591-601.
- Lee CH., Wang YH., Trappey AJC. Ontology-based reasoning for the intelligent handling of customer complaints. *Computers & Industrial Engineering* 2015; 84(C): 144–155.
- Liu WK., Yen CC. Optimizing bus passenger complaint service through big data analysis. *Systematized Analysis for Improved Public Sector Management Sustainability* 2016; 8(12): 1-21.
- Mattila AS., Mount DJ. The impact of selected customer characteristics and response time on E-complaint satisfaction and return intent. *Hospitality Management* 2003; 22: 135–145.

- Mutlu Ö., Karagül., K, Şahin Y. Ulaştırma probleminin başlangıç uygun çözümünün belirlenmesi için en büyük maliyetten kaçınma yöntemi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2022; 28(4): 569-576.
- Nabiyev VV. Yapay zeka, İnsan Bilgisayar Etkileşimi. 3. Baskı. Ankara, Seçkin Yayıncılık, 2010.
- Ordu M., Korhan E. Simülasyon destekli tesis yerleşim tasarımı ve iyileştirme çalışmaları: Bir tekstil firması örneği. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(Özel Sayı): 26-39.
- Rossetti MD. Simulation modeling and arena. first ed, Danvers USA, John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- Şenses S., Gölbaşı O., Bakal İS. Madencilikte bir yedek parça envanter optimizasyonu çalışması. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2022; 28(1): 128-138.
- Tian X., Vertommen I., Tsiami L., Thienen,P., Paraskevopoulos S. Automated customer complaint processing for water utilities based on natural language processing. Case Study of a Dutch Water Utility Water 2022; 14, 674.
- User's Guide, OptQuest for Arena, Allen-Bradley, Publication Arena O-UM001G-EN-P–April 2010,

## Aydın, Türkiye'deki Müstakil Evler için Beton ve Kiremit Çatıların Yağmur Suyu Toplama Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Tevfik Denizhan MÜFTÜOĞLU<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği (İngilizce) Bölümü, 34295, İstanbul

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-5836-3689>

\*Sorumlu yazar: [tmuftuoglu@aydin.edu.tr](mailto:tmuftuoglu@aydin.edu.tr)

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 02.10.2023

Kabul tarihi: 17.01.2024

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Yağmursuyu hasadı

Hidrolik

Sürdürülebilirlik

Döngüsellik

Su yönetimi

### ÖZ

Bu çalışma, farklı çatı malzemeleri konusunda yağmur suyu hasadı (YSH) verimliliğinin kapsamlı bir analizini gerçekleştirmekte olup özellikle beton ve kiremit kaplı çatıları karşılaştırmaktadır. YSH stratejileri, Aydın, Türkiye'deki iki ayrı müstakil konut üzerinde uygulanmış olup farklı çatı senaryolarını temsil etmektedir. Uyarlanabilir prototip YSH sistemleri, hassas performans değerlendirmesini mümkün kılmıştır. Hidrolojik veriler ve belediye su kullanım istatistikleri, YSH etkinliğini ölçmek amacıyla analiz edilmiştir. Sistem bileşenlerini yönlendiren hidrolik prensipler açıklanmıştır. Sonuçlar, uygulanan YSH sisteminin suyun yeniden kullanımını önemli ölçüde artırdığını ve sürdürülebilir hedeflerle uyumlu olduğunu göstermektedir. Döngüsellik ve maliyetle ilgili düşünceler bütüncül bir görünüm sunmaktadır. Bu çalışma, YSH sistemlerine olan farkındalığı ilerletmekte olup malzeme etkisinin sistem performansına olan etkisini vurgulayarak su yönetimi gelişimine katkı sağlamaktadır.

## Evaluating Rainwater Harvesting Potential of Concrete and Tile Roofings for Detached Houses in Aydın, Türkiye

### Research Article

#### Article History:

Received: 02.10.2023

Accepted: 17.01.2024

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

Rainwater harvesting

Hydraulics

Sustainability

Circularity

Water management

### ABSTRACT

This study comprehensively analyzes of rainwater harvesting (RWH) efficiency concerning distinct roofing materials, specifically comparing concrete and tile-covered roofs. RWH strategies were applied to two separate detached residences in Aydın, Turkey, representing varied roof scenarios. Tailored prototype RWH systems enabled precise performance evaluation. Hydrological data and municipal water usage statistics were analyzed to measure RWH effectiveness. Hydraulic principles governing system components are outlined. Results indicate the implemented RWH system significantly enhances water reuse, aligning with sustainable goals. Circular and cost considerations provide a holistic view. This study advances RWH understanding, highlighting material influences on system performance and contributing to water management progress.

**To Cite:** Müftüoğlu TD. Evaluating Rainwater Harvesting Potential of Concrete and Tile Roofings for Detached Houses in Aydın, Türkiye. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(3): 1096-1115.



## **1. Introduction**

### **1.1. Rainwater Harvesting (RWH)**

Rainwater Harvesting (RWH) is a sustainable method for collecting and storing rainwater, promoting water conservation, reducing reliance on municipal supplies, and mitigating runoff by channeling precipitation into storage tanks for diverse uses. It is adaptable to both urban and rural settings, customizable to individual needs, and fosters an eco-friendly lifestyle.

In the realm of environmental consciousness, RWH emerges as a forward-thinking and eco-aware approach to water management. This method involves the collection and storage of rainwater, turning precipitation into a valuable resource. RWH addresses significant water-related challenges by actively promoting conservation and reducing reliance on traditional water supplies. Its adaptability to different settings, combined with the capacity for customization according to specific needs, positions RWH as a practical solution for various communities. Moreover, the environmentally conscious lifestyle associated with RWH extends beyond immediate water-related benefits. Through the redirection of rainwater into storage tanks, RWH actively contributes to conservation efforts, preventing erosion and supporting ecosystem health. The forthcoming exploration of RWH will delve into its historical origins, current applications, and the potential it holds for shaping a more sustainable water future.

The purpose of this study is to comprehensively analyze the efficiency of rainwater harvesting (RWH) by specifically examining its relationship with distinct roofing materials, particularly comparing concrete and tile-covered roofs. The study centers on two separate detached residences located in Aydın, Turkey, each representing different roof scenarios. The primary aim is to design and develop customized prototype RWH systems tailored to each residence for a meticulous evaluation of their performance. This evaluation encompasses the consideration of hydrological data and municipal water usage statistics to measure the effectiveness of the RWH systems. Additionally, the study seeks to enhance understanding by outlining the hydraulic principles governing the components of the implemented RWH system. In doing so, it aspires to contribute valuable insights that advance the knowledge of rainwater harvesting efficiency, particularly with a focus on the influence of roofing materials, thereby informing future developments in sustainable water management practices.

Extensive research focuses on RWH systems, emphasizing their potential and practical applications, particularly in preserving potable water through rooftop collection, e.g., for toilet flushing in a British residence (Fewkes, 1999). Another study investigates the water conservation benefits of rainwater tanks in Greater Sydney, Australia, using a daily temporal simulation model (Rahman et al., 2012). An optimization-based methodology aims to create resource-efficient and cost-effective RWH systems for residential areas, demonstrating their potential to fulfill significant household water needs while reducing expenses (Bocanegra-Martínez et al., 2014). Climate change's impact on residential RWH systems, considering aspects like water conservation, dependability, and safety, is studied, highlighting potential challenges due to shifting climatic conditions (Haque et al., 2016). Innovative approaches to RWH system creation are introduced, utilizing existing scarce data, such as monthly rainfall records, to

minimize errors and ensure accurate forecasts (Nguyen and Han, 2017). Shorter duration rainfall data (10 years of daily data) can produce results similar to a 30-year dataset (Geraldi and Ghisi, 2017). A recent study evaluates RWH viability in Central Europe, with a focus on Poland, and assesses potential long-term climate effects over 50 years in 19 Polish cities. It underscores the importance of integrating historical data for RWH system planning, considering evolving rainfall patterns (Gwoździej-Mazur et al., 2022). A recent study explored the quality of rainwater from private rooftops (roof-harvested rainwater or RHRW), aiming to uncover its unique physicochemical and microbiological traits. The research not only identified these characteristics but also explored potential connections among them. Additionally, the study assessed health risks for children interacting with this water during recreational activities. The findings significantly contribute to our understanding of RHRW quality and safety, serving as a valuable resource for examining potential hazards associated with this water source (Carpio-Vallejo et al., 2024). In another recent study, static rainwater storage experiments were conducted over approximately 60 days. The outcomes revealed a crucial finding: nutrients present in rainwater tended to accumulate in sediment during the storage process. This insight into nutrient behavior during the storage phase significantly contributes to a broader understanding of water quality dynamics within Rainwater Harvesting (RWH) systems, informing comprehension of the factors influencing the effectiveness and sustainability of such systems over time (Gao et al., 2024). In one of the recent studies, an assessment of the impact associated with the implementation of rainwater harvesting systems in urban buildings throughout their entire lifespan, spanning from manufacturing to disposal, was conducted. To achieve this goal, the researchers divided urban systems into components, encompassing the water treatment plant, potable water distribution, consumer water use, wastewater collection, and wastewater treatment plant. This comprehensive approach sought to yield insights into the effectiveness and environmental implications of rainwater harvesting systems at different stages within the urban environment (Teston et al., 2024).

## **1.2. Case Study City**

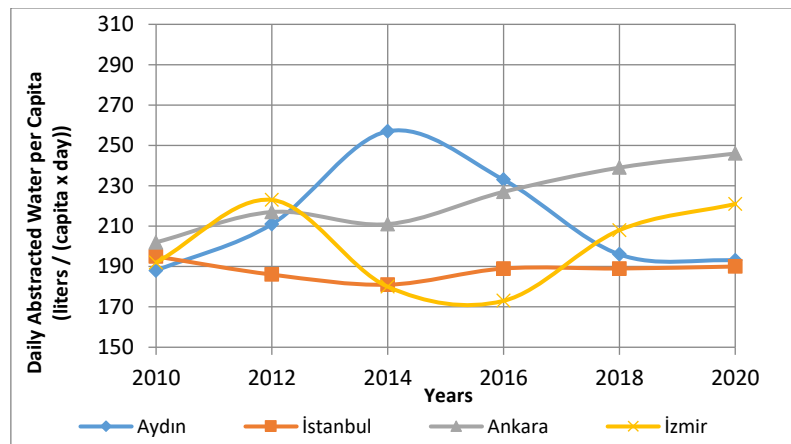
Aydın, located on Turkey's western coast, is a province bordered by İzmir, Denizli, and Muğla, covering 8116 sq km (Republic of Turkey, Ministry of National Defence, General Directorate of Mapping, 2023) with over a million inhabitants (TurkStat, 2023). It boasts a rich history seen in its ancient cities, ruins, and archaeological sites, attracting tourists. The Mediterranean climate with hot summers, mild winters, and beautiful Aegean beaches is appealing. Agriculture is vital to Aydın's economy, producing olives, cotton, and high-quality figs. Table 1 presents Aydın's meteorological data from 1941 to 2022, essential for assessing rainwater harvesting potential. Understanding the city's water consumption patterns is vital for assessing system efficiency. Table 2 compares Aydın's per capita daily water use with 17 other Turkish cities, including densely and sparsely populated ones. Aydın's per capita water usage even surpasses Istanbul's, a city 16 times its size, as shown in Figure 1. Geographically, Figure 2 maps these cities with red four-point stars.

**Table 1.** Meteorological Data between 1941 and 2022 (Republic of Turkey, Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, General Directorate of Meteorology, 2023)

Data Collection (1941 - 2022)													
AYDIN	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Yearly
Average Temperature (°C)	8.1	9.4	11.7	16.0	20.9	25.6	28.3	27.7	23.7	18.6	13.5	9.5	17.7
Average of Maximum Temperatures (°C)	13.0	14.8	17.9	22.7	28.3	33.4	36.2	35.8	32.1	26.3	19.9	14.5	24.6
Average of Minimum Temperatures (°C)	4.3	5.1	6.7	10.1	14.3	18.2	20.6	20.4	16.8	12.8	8.9	5.8	12.0
Average Sun Hours	3.7	4.2	5.4	6.4	7.8	9.3	9.9	9.3	8.2	6.2	4.3	3.4	6.5
Average Number of Rainy Days	12.93	10.41	9.76	8.28	6.17	2.55	0.72	0.60	1.96	5.56	8.22	12.82	80.0
Average Monthly Total Rainfall (mm)	118.9	92.3	70.6	47.5	35.9	16.4	7.5	5.7	17.3	43.5	81.7	122.6	659.9
Maximum Temperature (°C)	23.2	27.4	32.4	35.4	42.6	44.4	44.8	45.1	43.3	39.5	31.1	25.9	45.1
Minimum Temperature (°C)	-11.0	-5.4	-5.0	-0.8	4.6	8.4	13.4	11.8	7.6	1.6	-4.7	-5.3	-11.0

**Table 2.** Daily Abstracted Water Amount per Capita in 18 Cities of Turkey (TurkStat, 2023)  
Selected Turkish Cities

	Aydın	Ankara	Antalya	Bayburt	Bursa	Denizli	Diyarbakır	Hakkari	Karabük	Manisa	Muş	Samsun	Sinop	Uşak	İstanbul	İzmir	Şanlıurfa	Şırnak
<b>2010</b>	188	202	293	281	157	207	235	163	180	156	364	247	215	183	195	192	257	128
<b>2012</b>	211	217	282	281	143	239	220	156	146	164	335	265	206	177	186	223	260	138
<b>2014</b>	257	211	280	219	125	180	125	119	294	154	347	229	324	177	181	180	172	139
<b>2016</b>	233	227	293	104	163	232	135	119	316	176	239	220	368	181	189	173	172	93
<b>2018</b>	196	239	329	231	171	245	147	117	287	153	403	246	240	178	189	208	171	234
<b>2020</b>	193	246	283	211	199	216	162	128	276	216	383	261	281	172	190	221	171	235



**Figure 1.** Comparison of Daily Abstracted Water per Capita in Aydın and the Most Crowded Three Cities of Turkey



**Figure 2.** Selected City Locations (D-Maps.com)

From Figure 1 and Table 2, it can be concluded that Aydın, despite being significantly smaller in population compared to densely populated cities in Turkey, exhibits a per capita daily water usage that surpasses even Istanbul, a city 16 times its size. Table 2 provides a comparative analysis of Aydın's per capita daily water use with 17 other Turkish cities, both densely and sparsely populated. The data in Figure 1 visually reinforces this observation, highlighting Aydın's higher water consumption in comparison to the more densely populated cities.

This stark contrast underscores the significance of the application of rainwater harvesting in Aydın. Despite its smaller population, the city's high water consumption emphasizes the importance of adopting sustainable water management practices. The comparison with other cities in Table 2 and the visual representation in Figure 1 accentuate the need for effective water conservation measures, making a compelling case for the implementation of rainwater harvesting to alleviate the strain on municipal water supplies and promote a more sustainable approach to water consumption in Aydın.

Aydın's high per capita water usage results from several factors, including its arid climate, water-intensive agriculture, coastal tourism, population growth, urbanization, and inadequate water management and infrastructure. Aydın relies primarily on wells for water abstraction, followed by springs and dams, with no abstraction from lakes, seas, or rivers. Table 3 presents the water abstraction volume for Aydın from 2018 to 2020.

**Table 3.** The Amount of Abstracted Water by Aydın Municipality from 2018 to 2022 (thousand m<sup>3</sup>) (TurkStat, 2023)

Years	Total	Spring	Lake / artificial lake / sea	River	Dam	Well
2022	81655	575	0	8122	24773	48185
2020	78951	21460	0	6843	11867	38781
2018	78499	57081	0	6682	11708	3028

It is observed that municipalities basically withdraw water from 5 different media (spring, artificial or natural lake/sea, river, dam, well). While the amount of water withdrawn from year to year increases in

parallel with the need, it is obvious that the construction and maintenance costs of the facilities used for this purpose will also increase. With the widespread use of RWH systems, the water demand pressure on these facilities, and thus on municipalities, will decrease and the financial resources transferred to these facilities will be used for other infrastructure works.

## 2. Methodology

### 2.1. Determination of RWH Potential

RWH begins on rooftops, emphasizing the importance of efficient design, including dimensions, slope, morphology, and maintenance. Diverse roof layouts can increase the collection surface area, while proper slope and maintenance are vital for system effectiveness. Accurate measurement of roof area and coefficients is essential for assessing RWH potential in existing structures and precise runoff calculations, as shown in Equation 1 (Gould and Nissen-Petersen, 1999).

$$S = R \times A \times Cr \tag{1}$$

S is the RWH potential (m<sup>3</sup>), R is monthly rainfall (m), A is roof area (m<sup>2</sup>), and Cr is runoff coefficient. Roof area calculation can be accomplished through on-site measurements or the use of satellite imagery for expedited analysis. Table 4 provides the runoff coefficients associated with various roofing materials.

**Table 4.** Runoff Coefficient for Different Roof Types (AFPRO, 2006)

Roof Type	Runoff Coefficient
Galvanized Iron Sheet	0.90
Asbestos Sheet	0.80
Tiled Roof	0.75
Concrete	0.70

Table 1 data reveals December as the wettest month with 122.6 mm of precipitation, while August is the driest with only 5.7 mm. This motivates an examination of rainwater harvesting (RWH) potential during these months.

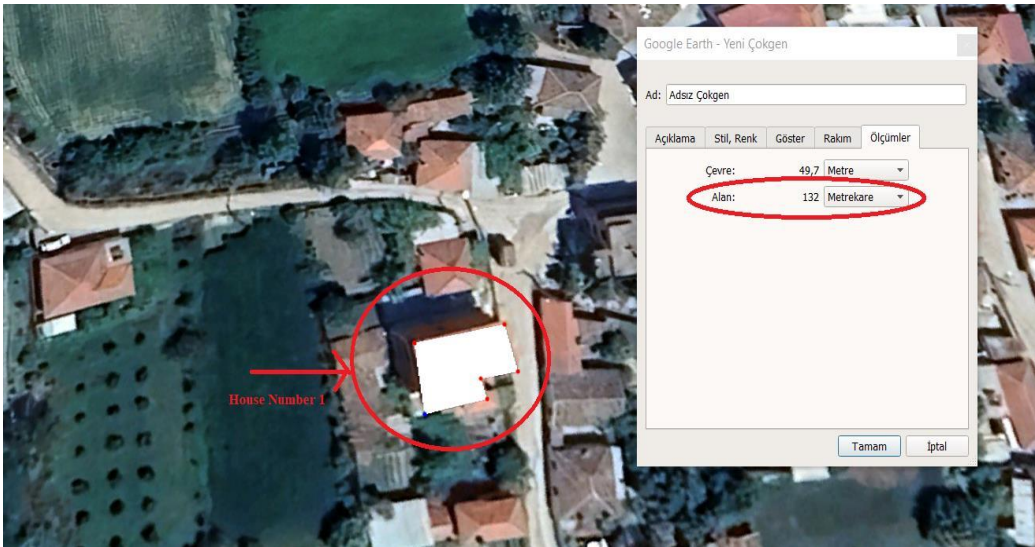
This study assesses RWH potential in two separate detached houses within the same district, accounting for variations in geometric attributes and roofing materials. In Scenario 1, we assume flat concrete roofs due to logistical constraints, providing a conservative estimate of RWH capacity. Scenarios 2 and 3 consider roof inclines and different materials for potentially enhanced harvesting. Figures 3 and 4 display satellite images of the two houses (House 1 and House 2), with roof areas assessed visually in Figures 5 and 6.



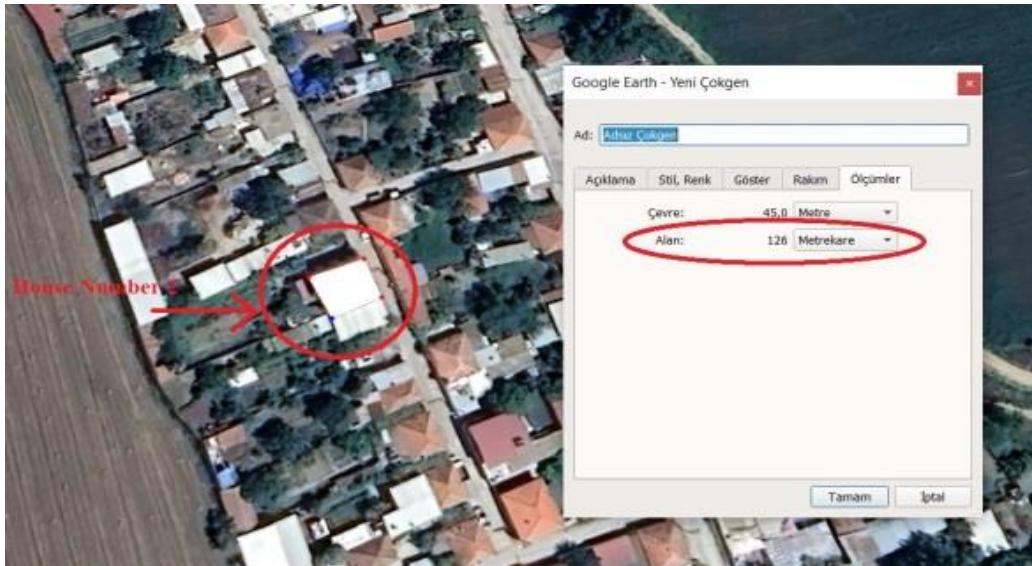
**Figure 3.** Satellite Image of House Number 1 (Google Earth Pro)



**Figure 4.** Satellite Image of House Number 2 (Google Earth Pro)



**Figure 5.** Roof Area of House Number 1 using the Polygon Function of Satellite Image Provider (Google Earth Pro)



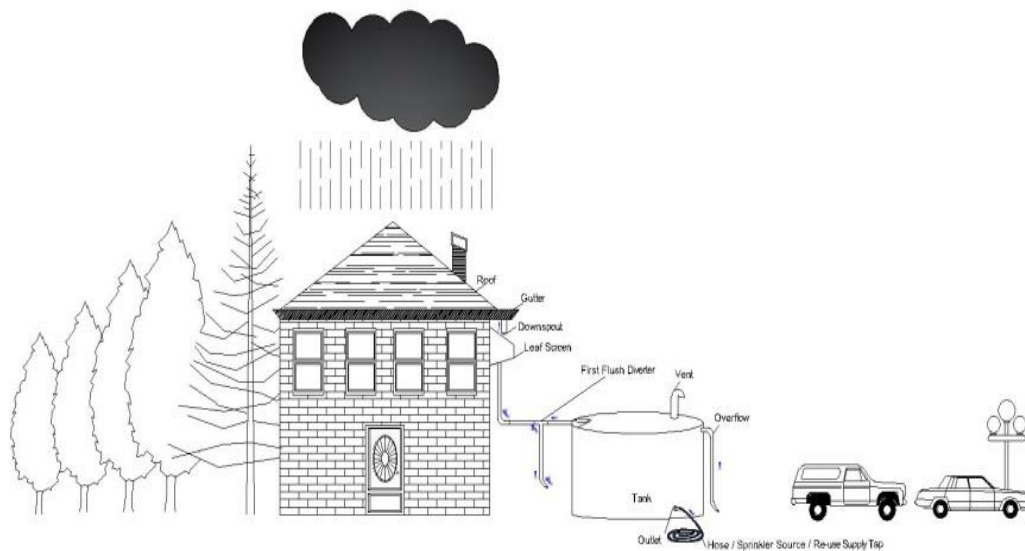
**Figure 6.** Roof Area of House Number 2 using the Polygon Function of Satellite Image Provider (Google Earth Pro)

## 2.2. RWH System Components

Figure 7 shows a standard standalone house, and Figure 8 illustrates the operational principles of a compact household water harvesting system designed for household appliances, drinking water, and garden irrigation.



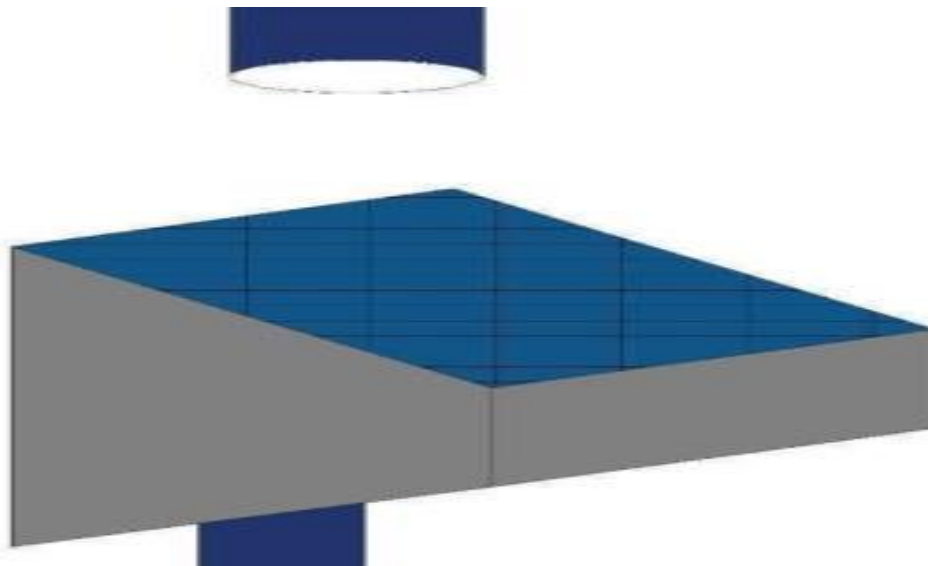
**Figure 7.** A Detached House



**Figure 8.** A Detached House with Fundamental RWH Components

As mentioned earlier, RWH starts at the rooftop, highlighting the importance of suitable roofing materials. Metal roofs are preferred due to reduced debris accumulation compared to wood or tile. Painted metal surfaces also minimize rust. Asphalt shingles can introduce chemicals into the water supply.

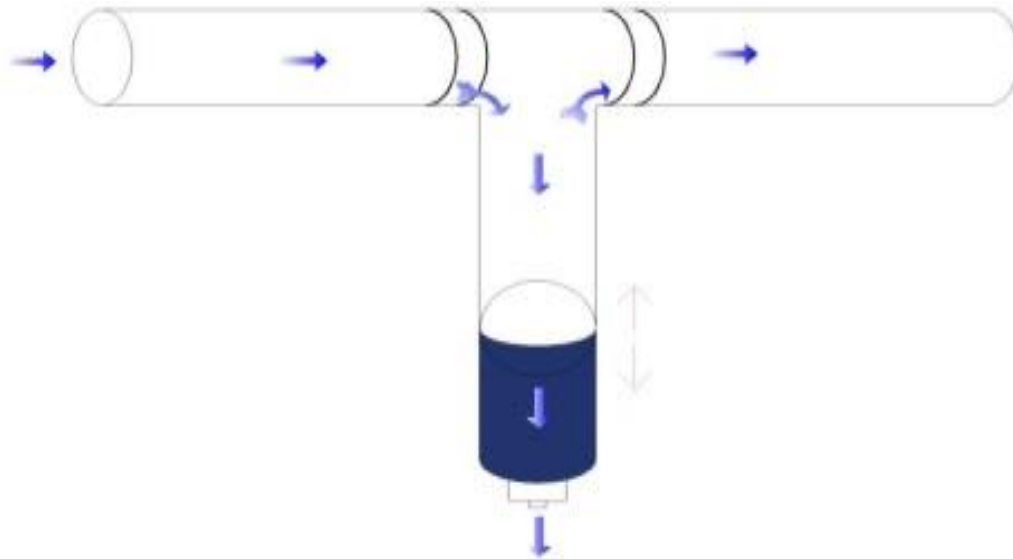
Roof runoff passes through gutters, which can get blocked by debris. To address this, a mesh leaf screen, as shown in Figure 9, filters particles, though some contaminants may remain.



**Figure 9.** The Leaf Screen

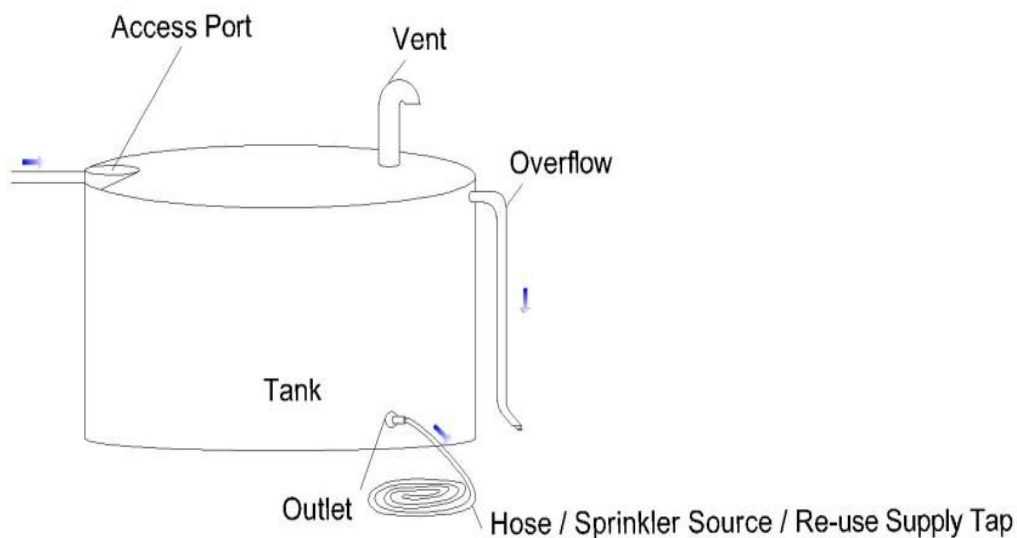
Before entering storage, water undergoes a preliminary/first flush diverter process, as shown in Figure 10, to remove heavier pollutants not captured by the leaf screen.





**Figure 10.** The First Flush Diverter

Using a vertical pipe with a ball valve, the initial flush diverter prevents contaminated water from mixing with the clean flow destined for the tank. The high-quality collected water is used for irrigation through a slow-release valve or tap. Additional water quality enhancement is achieved through filtration, desalination, and purification. Water storage tanks, made of various materials, share common components, as shown in Figure 11.



**Figure 11.** The Tank and Related Components

The maintenance access port is essential for cleaning and repairs, and the ventilation opening prevents vacuum formation during water flow. The overflow opening prevents pressure buildup and allows connections to neighboring tanks. The outlet serves various distribution needs. Tank material must resist environmental factors, and strategic outlet placement prevents clogging. Extending the inlet pipe minimizes sludge impact.

For household water pump selection, precise operational pressure determination is crucial. The chosen pump should exceed this pressure, considering factors like pipe attributes, length, diameter, fittings, and elevation, calculated using hydraulic power (Equations 2 and 3), shaft power (Equation 4), and motor power (Equation 5).

$$Power_{hydraulic}(kW) = \frac{Q \left( \frac{m^3}{hr} \right) \times \rho \left( \frac{kg}{m^3} \right) \times g \left( \frac{m}{s^2} \right) \times h(m)}{3.6 \times 10^6} \quad (2)$$

$$Power_{hydraulic}(kW) = \frac{Q \left( \frac{m^3}{hr} \right) \times dP(kPa)}{3600} \quad (3)$$

$$Power_{shaft}(kW) = \frac{Power_{hydraulic}(kW)}{\eta_{pump}} \quad (4)$$

$$Power_{motor}(kW) = \frac{Power_{shaft}(kW)}{\eta_{motor}} \quad (5)$$

$Power_{hydraulic}$  is hydraulic power,  $Q$  is flow rate,  $\rho$  is fluid density,  $g$  is gravitational acceleration,  $h$  is pressure head,  $dP$  is the pressure difference.  $Power_{shaft}$  is shaft power,  $\eta_{pump}$  is pump efficiency.  $Power_{motor}$  is motor power,  $\eta_{motor}$  is motor efficiency.

### 3. Results and Discussion

As previously mentioned, the study analyzed rainwater harvesting potential under different scenarios, considering roof material and slope variations. It compared results to assess potential water consumption reductions and cost savings. The research also suggests measures to improve compensation and highlights key factors for homeowners when choosing a pump.

#### 3.1. Compensation Amounts of Water Adopting RWH in Different Scenarios

##### 3.1.1. Scenario 1 (house number 1 and house number 2, flat roof surface made of concrete)

As shown in Figures 6 and 7, House Number 1 and House Number 2 have roof dimensions of 132 m<sup>2</sup> and 126 m<sup>2</sup>, respectively. Although they have sloped tile roofs, for calculations, they are assumed to have flat concrete roofs ( $Cr=0.70$ ). Therefore, the RWH potentials for these houses in December, August, and annually can be obtained using Eq. 1 as shown in Table 5.

**Table 5.** The RWH Potentials (December, August, annual) of House Numbers 1 and 2 in Scenario 1

	December (liters)	August (liters)	Annual (liters)
House 1	11320	520	60970
House 2	10810	500	58200

Referring to Table 2, the daily per capita water usage in the studied city for 2020 was 193 liters. Assuming an average household size of four individuals, daily household water consumption is 772

liters. This translates to 23,160 liters per month and 277,920 liters per year. Thus, the compensation percentage (Comp) of a fully functional rainwater harvesting system indicates how much it can offset household water consumption as shown in Table 6. The compensation percentage can be obtained by Equation 6;

$$\text{Comp}(\%) = \frac{\text{Consumption}}{\text{RWH Potential}} \quad (6)$$

**Table 6.** The Compensation Percentages (December, August, annual) of House Numbers 1 and 2 in Scenario 1

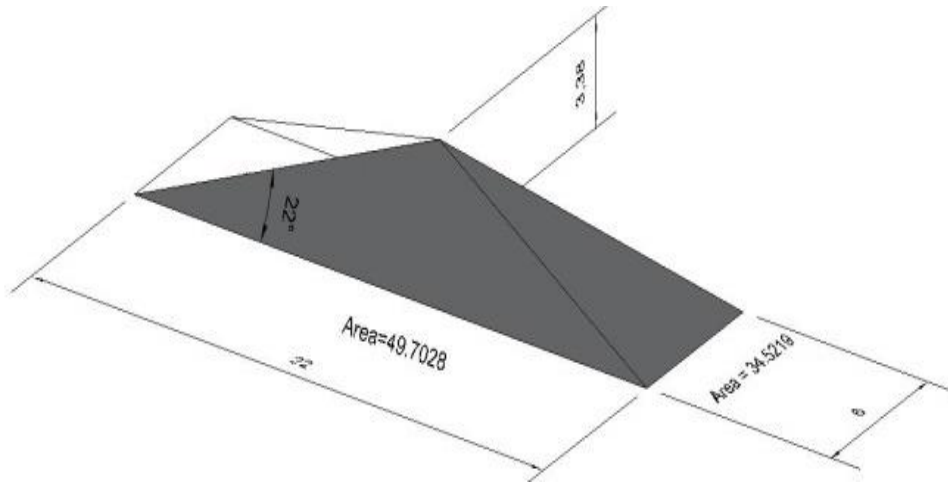
	December (%)	August (%)	Annual (%)
House 1	48.87	2.24	21.93
House 2	46.67	2.15	20.94

House Number 1, with a 132 m<sup>2</sup> flat concrete roof, can offset 48.8% of December water consumption and 2.2% in August. House Number 2, with a slightly smaller roof area, performs slightly lower due to reduced rainwater harvesting potential. While these calculations assume flat concrete roofs from satellite imagery, adjusting the roof slope and material can greatly improve harvesting. Further exploration of alternative scenarios is needed.

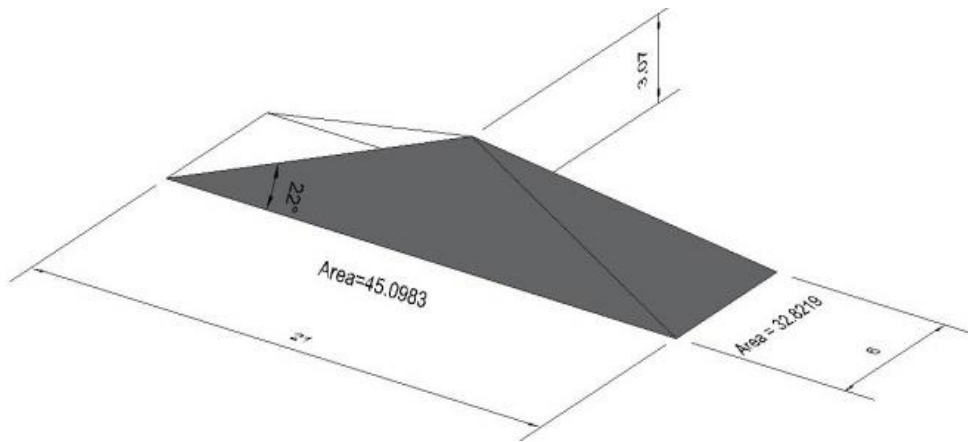
### 3.1.2. Scenario 2 (house number 1 and house number 2, sloped roof surface made of concrete)

As mentioned earlier, the roof areas for House Number 1 and House Number 2 were determined using a satellite image provider's polygon tool, resulting in measurements of 132 m<sup>2</sup> and 126 m<sup>2</sup>, respectively. For House Number 1, the roof is rectangular with dimensions of 6 m (shorter edge) and 22 m (longer edge). The introduction of a slope increases the area, yielding a ridge height of 3.38 m, as shown in Figure 12. The ridge height is determined by the maximum slope in accordance with Turkish zoning regulations (Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change of Turkey, Planned Areas Zoning Regulation, 2023). The cumulative hip roof area is 168.44 m<sup>2</sup>.

For House Number 2, the roof is rectangular with dimensions of 6 m (shorter edge) and 21 m (longer edge). Adhering to a slope compliant with Turkish zoning regulations results in an expanded area, with the maximum slope leading to a ridge height of 3.07 m, as seen in Figure 13. The cumulative hip roof area is 155.82 m<sup>2</sup>. In both scenarios, the roof surface is assumed to be concrete, as in Scenario 1, introducing the impact of the roof slope for the first time in the scenarios, similar to Scenario 2.



**Figure 12.** Sloped Roof and Concrete Surface for House Number 1



**Figure 13.** Sloped Roof and Concrete Surface for House Number 2

The RWH potentials for House Number 1 and House Number 2 in Scenario 2 are presented in Table 7. Scenario 2 differs from Scenario 1 by incorporating a sloped concrete roof instead of a flat concrete roof. The compensation percentages for Scenario 2 are presented in Table 8.

**Table 7.** The RWH Potentials (December, August, annual) of House Numbers 1 and 2 in Scenario 2

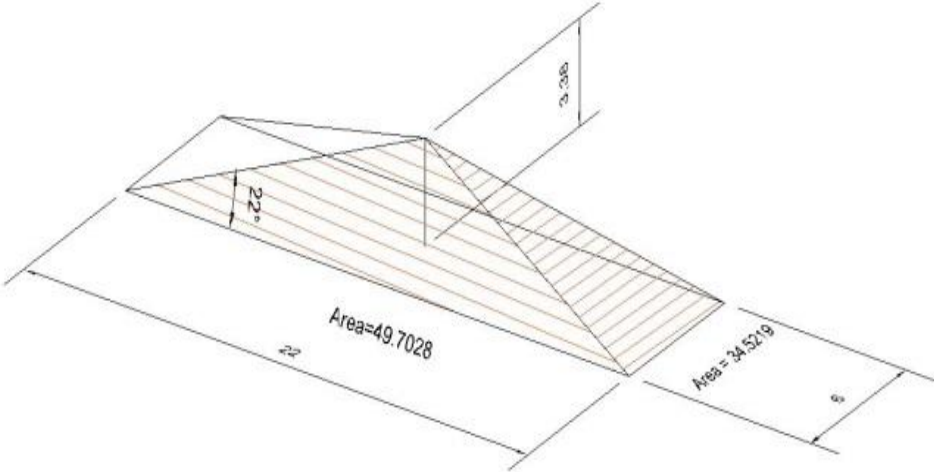
	December (liters)	August (liters)	Annual (liters)
House 1	14410	670	77600
House 2	13380	620	72060

**Table 8.** The Compensation Percentages (December, August, annual) of House Numbers 1 and 2 in Scenario 2

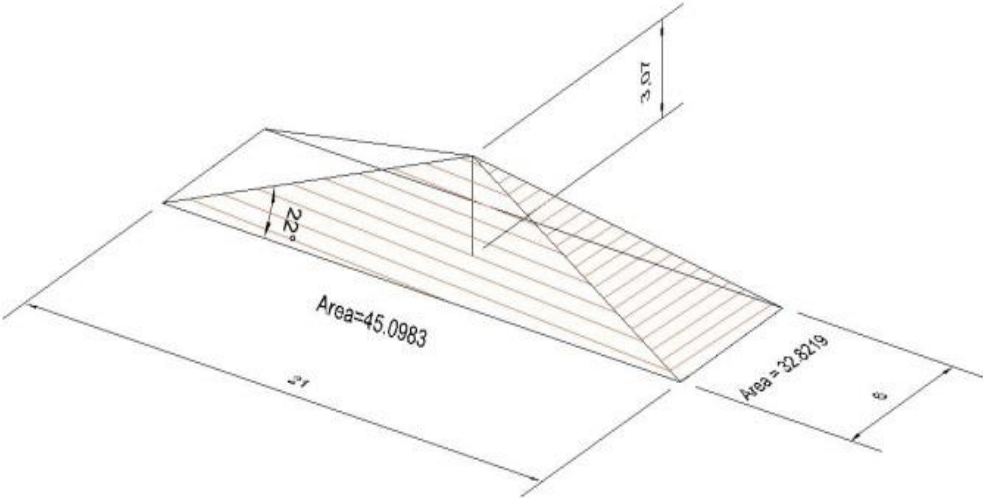
	December (%)	August (%)	Annual (%)
House 1	62.21	2.89	27.92
House 2	57.77	2.67	25.92

**3.1.3 Scenario 3 (house number 1 and house number 2, sloped roof surface made of tiles)**

As mentioned earlier, the roof areas for House Number 1 and House Number 2 were determined using a satellite image provider's polygon. The roof surfaces with tiles are presented in Figure 14-15.



**Figure 14.** Sloped Roof and Tile Covered Surface for House Number 1



**Figure 15.** Sloped Roof and Tile Covered Surface for House Number 2

The rainwater harvesting potentials for House Number 1 and House Number 2 in Scenario 3 are presented in Table 9. Scenario 3 differs from Scenario 2 in that it includes a sloped tile-covered roof surface instead of a sloped concrete roof surface. The compensation percentages for Scenario 3 are presented in Table 10.

**Table 9.** The RWH Potentials (December, August, annual) of House Numbers 1 and 2 in Scenario 3

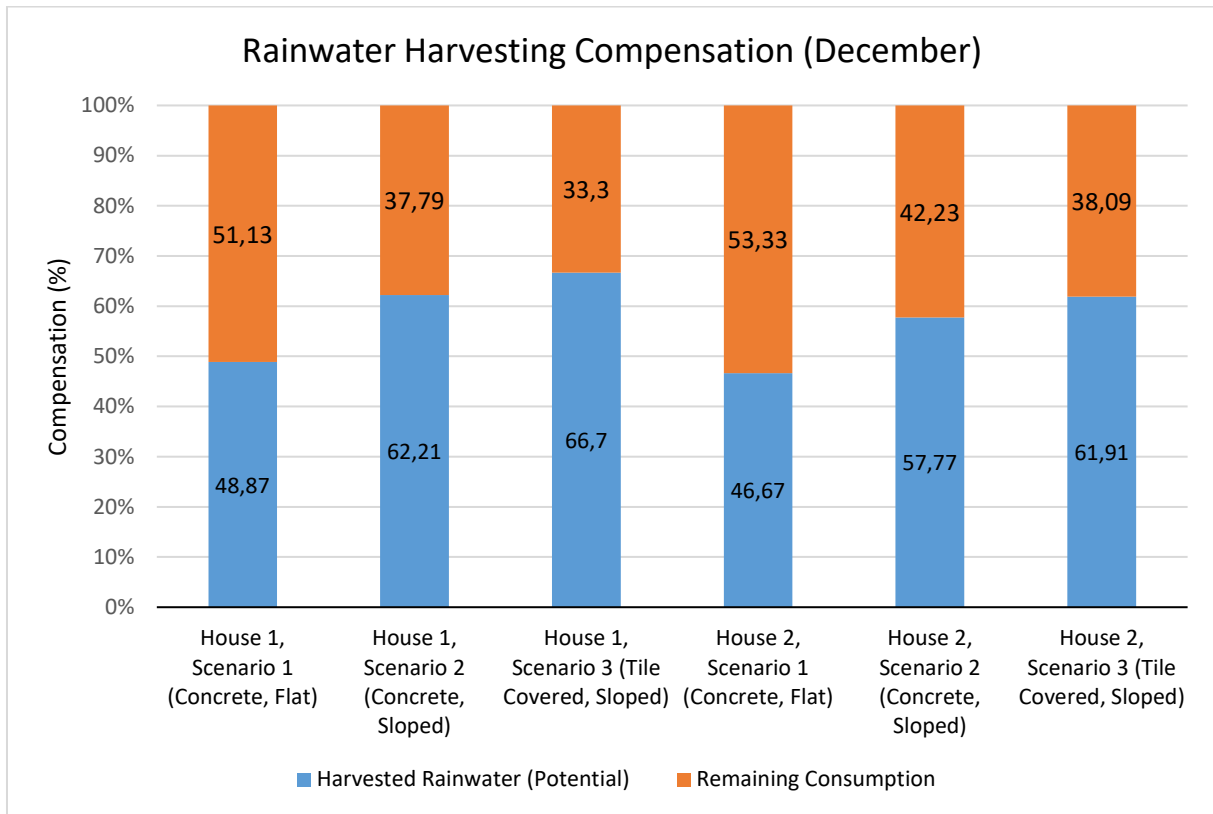
	December (liters)	August (liters)	Annual (liters)
House 1	15440	720	83140
House 2	14340	670	77200

**Table 10.** The Compensation Percentages (December, August, annual) of House Numbers 1 and 2 in Scenario 3

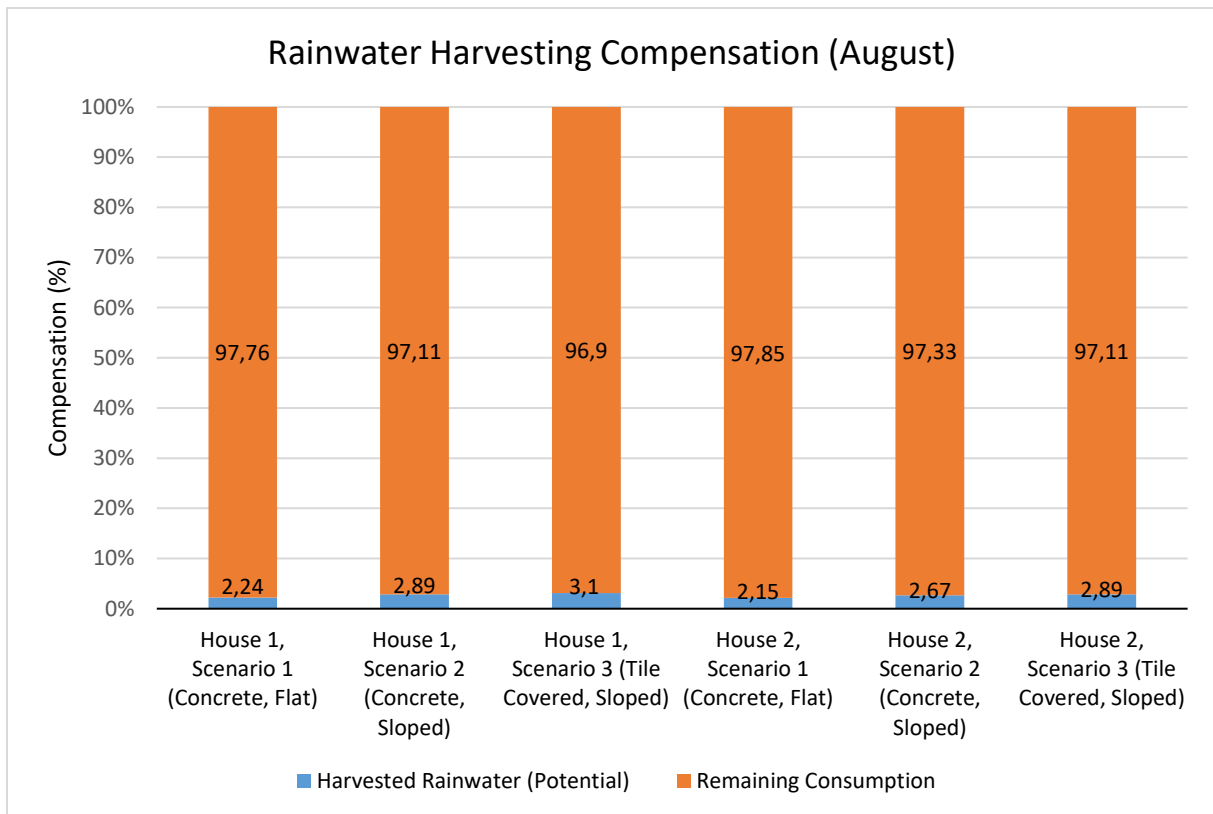
	December (%)	August (%)	Annual (%)
House 1	66.7	3.10	29.92
House 2	61.91	2.89	27.77

### 3.1.4. Comparison of compensation for all scenarios

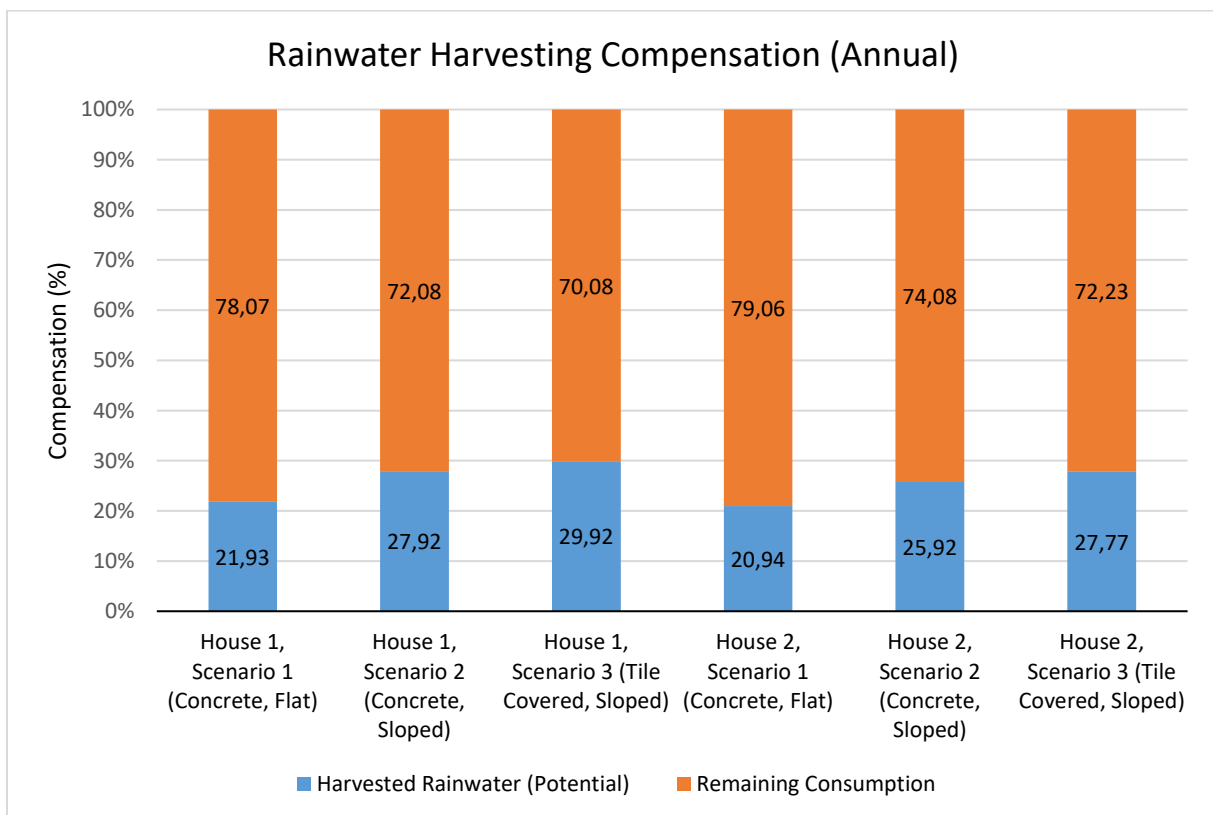
The comparison of compensation for all scenarios, considering the houses and monthly cases is presented by histograms in Figure 16-18.



**Figure 16.** Comparison of Compensation in all Scenarios for December



**Figure 17.** Comparison of Compensation in all Scenarios for August



**Figure 18.** Comparison of Compensation in all Scenarios Anually

### 3.2. Reduction in Water Bills based on RWH Scenarios

Calculating water bills is complex due to varying infrastructure distribution among district municipalities, impacting water unit prices. Additional charges, like taxes and solid waste collection fees, are included in the bills. Despite the absence of current unit prices and excluding taxes and fees, rainwater harvesting savings percentages remain consistent. This study calculates potential savings based on a 1000 TL invoice for both households in all three scenarios. The financial impact can be determined using the compensation values (Comp) from the scenario sections. For each dwelling, the calculation involves finding the percentage decrease in water costs for the best and worst rainwater harvesting months (December and August) and annually (1000 TL and 12000 TL, respectively). The calculation of the reduction in water bills relies on a quite simple formula, as shown in Equation 7, and the reductions in water bills (out of 1000 TL) for each scenario are presented in Tables 11-13.

$$\text{Reduction(TL)} = \text{Comp}(\%) \times 1000 \text{ TL} \quad (7)$$

#### 3.2.1. Reduction in water bills for scenario 1

**Table 11.** The reductions in water bills out of 1000 TL (December, August, annual) for House Numbers 1 and 2 in Scenario 1.

	December (TL)	August (TL)	Annual (TL)
House 1	489	24.15	2632
House 2	467	21.5	2513

#### 3.2.2. Reduction in water bills for scenario 2

**Table 12.** The reductions in water bills out of 1000 TL (December, August, annual) for House Numbers 1 and 2 in Scenario 2.

	December (TL)	August (TL)	Annual (TL)
House 1	622	30	3350
House 2	578	27	3110

#### 3.2.3. Reduction in water bills for scenario 3

**Table 13.** The reductions in water bills out of 1000 TL (December, August, annual) for House Numbers 1 and 2 in Scenario 3.

	December (TL)	August (TL)	Annual (TL)
House 1	667	31	3590
House 2	619	29	3332

### 3.3. Appropriate Pump Selection

Various factors affect pump selection, with frictional pressure drop being a key consideration. It determines the pump power needed to maintain flow in a pipe (Sorgun et al., 2022). The Darcy-Weisbach equation, widely used for assessing frictional pressure drop, considers pipe diameter, flow rate, length, and inner surface roughness to estimate pressure loss due to friction as fluid moves through the conduit. The equation is as follows:



$$\Delta P = f \times (L/D) \times (\rho \times V^2)/2 \quad (8)$$

Where  $\Delta P$  represents pressure drop due to friction,  $f$  represents Darcy friction factor,  $L$  represents the length of the pipe,  $D$  represents the diameter of the pipe,  $\rho$  represents the density of the fluid, and  $V$  represents the velocity of the fluid.

Selecting a pump requires detailed calculations, but fundamental attributes and guidelines assist homeowners in making the right choice. For multi-story buildings, a pump with a head pressure of 30 m to 50 m is generally suitable. Water pressure is crucial for appliance performance. Calculating flow rates helps in choosing the right pump, preventing unnecessary resource usage. Noise levels can be managed with enclosures or covers.

#### **4. Conclusion**

This study investigates rainwater harvesting potential in two detached houses in the same city, considering variations in roof size, design, and materials. It collected data on monthly precipitation from 1941 to 2022 and daily per capita water consumption from 2010 to 2021. Seventeen other cities were chosen for comparison, including densely populated (Istanbul, Ankara, and Izmir), sparsely populated (Bayburt), and cities similar in size and location to the study area. After analyzing the data, the study assessed rainwater harvesting potential in three scenarios with different roof designs and materials. It found that, in some cases, rainwater could meet household water needs by a great percentage, particularly in winter. However, the Mediterranean climate reduces effectiveness in the summer. Nevertheless, the capacity to cover nearly 30% of annual water consumption through rainwater harvesting is noteworthy.

The research also examined potential cost savings on water bills from rainwater harvesting and provided insights into selecting pump systems for water distribution within houses, emphasizing key features for efficiency.

#### **Conflict of Interest Declaration**

The author of the article declares that there is no conflict of interest.

#### **References**

- AFPRO-UNICEF. Manual on construction and maintenance of household based rooftop water harvesting systems. Report prepared by AFPRO (Action for Food Production) for UNICEF 2006.
- Bocanegra-Martínez A., Ponce-Ortega JM., Nápoles-Rivera F., Serna-González M., Castro-Montoya AJ., El-Halwagi MM. Optimal design of rainwater collecting systems for domestic use into a residential development. *Resources, Conservation and Recycling* 2014; 84: 44-56.
- Carpio-Vallejo E., Düker U., Waldowski J., Nogueira R. Contribution of rooftop rainwater harvesting to climate adaptation in the city of Hannover: Water quality and health issues of rainwater storage

- in cisterns and ponds. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 2024; 256: 114320.
- D-Maps.com. [https://d-maps.com/carte.php?num\\_car=4146&lang=en](https://d-maps.com/carte.php?num_car=4146&lang=en) 19/03/2023.
- Fewkes A. The use of rainwater for WC flushing: the field testing of a collection system. *Building and Environment* 1999; 34(6): 765-772.
- Gao Z., Zhang Q., Wang Y., Jv X., Dzakpasu M., Wang XC. Evolution of water quality in rainwater harvesting systems during long-term storage in non-rainy seasons. *Science of The Total Environment* 2024; 912: 168784.
- Geraldi MS., Ghisi E. Influence of the length of rainfall time series on rainwater harvesting systems: A case study in Berlin. *Resources, Conservation and Recycling* 2017; 125: 169-180.
- Google Earth Pro Software.
- Gould J, Nissen-Petersen E. Rainwater catchment systems for domestic supply. Design, construction, and implementation. London: Intermediate Technology Publication; 1999.
- Gwoździej-Mazur J., Jadwiszczak P., Kaźmierczak B., Kózka K., Struk-Sokołowska J., Wartalska K., Wdowikowski M. The impact of climate change on rainwater harvesting in households in Poland. *Applied Water Science* 2022; 12(2): 15.
- Haque MM., Rahman A., Samali B. Evaluation of climate change impacts on rainwater harvesting. *Journal of Cleaner Production* 2016; 137: 60-69.
- Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change of Turkey, Planned Areas Zoning Regulation. <https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=23722&mevzuatTur=KurumVeKuruslusYonetmeligi&mevzuatTertip=5> 19/03/2023.
- Nguyen DC., Han MY. Proposal of simple and reasonable method for design of rainwater harvesting system from limited rainfall data. *Resources, Conservation and Recycling* 2017; 126: 219-227.
- Rahman A., Keane J., Imteaz MA. Rainwater harvesting in Greater Sydney: Water savings, reliability and economic benefits. *Resources, Conservation and Recycling* 2012; 61: 16-21.
- Republic of Turkey, Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, General Directorate of Meteorology, General Statistical Data of Our Provinces. <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=MUGLA> Last 19/03/2023.
- Republic of Turkey, Ministry of National Defence, General Directorate of Mapping, Provincial and District Areas. <https://www.harita.gov.tr/il-ve-ilce-yuzolcumleri> 19/03/2023.
- Sorgun M., Muftuoglu TD., Gucuyener IH. Friction factor estimation for turbulent flow of Herschel-Bulkley and power law fluids in pipes. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 2022; 211: 110044.

Teston A., Ghisi E., Vaz ICM., Scolaro TP., Severis RM. Modular life cycle assessment approach: Environmental impact of rainwater harvesting systems in urban water systems. *Science of The Total Environment* 2024; 908: 168281.

TurkStat, Central Distribution System, Municipal Water Statistics, Daily Abstracted Water per Capita. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr> 19/03/2023.

TurkStat, Population of provinces by years, 2000-2022. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2022-49685> 19/03/2023.

TurkStat, The amount of abstracted, distributed water and discharged wastewater by municipalities. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-ve-Atiksu-Istatistikleri-2020-37197> 19/03/2023.

## Öğrencilerin Sınavlardaki Performansının Makine Öğrenmesi Teknikleriyle Tahminlenmesi

Ayşe ALKAN<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Samsun Bilim ve Sanat Merkezi, 55070, Samsun

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-9125-1408>

\*Sorumlu yazar: ayse.alkan55@gmail.com

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 16.01.2024

Kabul tarihi: 14.02.2024

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Makine öğrenmesi

Bilişim

Eğitim

Sınıflandırma

Tahminleme

### ÖZ

Yapay zekânın bir alt dalı olan makine öğrenmesi eğitim alanında hızla popülerlik kazanan bir bilgisayar bilimi dalıdır. Eğitimde öğrenci gelişiminin, eğitim programlarının etkisinin, öğretim yöntemlerinin etkililiğinin belirlenmesi adımı olan değerlendirme aşamasının önemi büyüktür. Öğrencilere ait veri yığınlarından anlamlı sonuçlar üretilmesini sağlayan makine öğrenmesi, değerlendirme aşamasında yön gösterici olmaktadır. Bu çalışmada kamuya açık olarak paylaşılan, “Students Performance in Exams” veri seti kullanılmıştır. Öğrencilere ait bilgilerin bulunduğu 8 öznitelikten oluşan veri seti üzerinde öğrenci başarısının tahminlenmesine yönelik makine öğrenmesi temelli sınıflandırmalar gerçekleştirilmiştir. K-en Yakın Komşu (KNN), Karar Ağacı (KA), Naive Bayes (NB), Rastgele Orman (RO), Destek vektör makinesi (DVM), Lojistik regresyon (LR), Lineer Diskriminant Analizi (LDA) ile toplamda yedi ayrı yöntemle ve 5 kat çapraz doğrulamayla yapılan sınıflandırma işlemleri sonucunda en yüksek doğruluk 0,67 ile DVM algoritması ile elde edilmiştir.

## Predicting Students' Performance in Exams with Machine Learning Techniques

### Research Article

#### Article History:

Received: 16.01.2024

Accepted: 14.02.2024

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

Machine learning

Informatics

Education

Classification

Estimation

### ABSTRACT

Machine learning, a sub-branch of artificial intelligence, is a computer science branch that is rapidly gaining popularity in the field of education. The evaluation phase, which is the step of determining student development in education, the effect of educational programs, and the effectiveness of teaching methods, is of great importance. Machine learning, which enables the production of meaningful results from data stacks belonging to students, is guiding in the evaluation phase. In this study, the publicly shared “Students Performance in Exams” data set was used. Machine learning-based classifications were carried out to predict student success on the data set consisting of 8 attributes containing information about students. K-nearest neighbor (KNN), Decision tree (KA), Naive Bayes (NB), Random forest (RO), Support vector machine (DVM), Logistic regression (LR), Linear Discriminant Analysis (LDA) The highest accuracy was obtained with the DVM algorithm as a result of the classification processes made with the method and 5-fold cross-validation.

**To Cite:** Alkan A. Öğrencilerin Sınavlardaki Performansının Makine Öğrenmesi Teknikleriyle Tahminlenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(3): 1116-1128.

## 1. Giriş

Bilim ve teknolojideki hızlı ilerleme ve gelişimler hayatımızın her alanına da aynı hızla girmektedir. Bireysel olarak yapılması çok uzun zaman ve maliyet gerektiren işlemler teknolojik araç gereçlerle kısa zamanda ve düşük maliyette gerçekleştirilebilmektedir. Günümüzün popüler gelişmelerinden birisi de yapay zekânın bir dalı olan makine öğrenmesidir. Makine öğrenmesinin yapay zekâ alanındaki konumu Şekil 1’de gösterilmektedir (Machine, 2017). Tarih sürecince bilim insanları “makinelere düşünebilir mi?” sorusuna cevap aramışlardır (Turing, 1950). Makine öğrenmesi ile bilgisayarların geçmiş verilerdeki deneyimlerinden faydalanılarak geleceğe yönelik tahminlerde bulunulurken istatistiksel modeller kullanılmaktadır (Alpaydin, 2020; Koza ve ark., 1996).



Şekil 1. Yapay zekâ ve makine öğrenmesi ilişkisi

Farklı disiplinlerde kullanılabilme imkânı sunan bu teknoloji, verilerden öğrenme yoluyla bilgi çıkarabilme ve tahminler yapabilme yeteneğine sahiptir. Makine öğrenmesi, veri analitiği ve karar verme süreçlerinde büyük veri setlerini işleyerek değerli bilgiler çıkarabilmekte ve stratejik planlamalara yardımcı olabilmektedir. Ayrıca kişiselleştirilmiş deneyimler sunma, sağlık hizmetlerini geliştirme, iş süreçlerini otomatikleştirme, doğal dil işleme, ulaşım ve finans sektöründe verimliliği artırma gibi birçok alanda önemli katkıları bulunmaktadır. Son zamanlarda eğitim alanında büyük veri yığınlarının bulunması makine öğrenmesinin eğitim alanında kullanılması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Takvim yaşına göre aynı sınıf ortamında bulunan öğrencilerin sosyo-demografik özellikleri ve öğrenme yetenekleri birbirinden farklılık gösterebilmektedir. Olası problemlere karşı önceden alınabilecek önlemlerle öğrenci başarılarının artması sağlanırken, özel yetenekli öğrenciler önceden belirlenerek bireylere özel programların hazırlanmasında makine öğrenmesi avantajlar sunmaktadır. Eğitim alanında, yapay zekâ ve veri bilimindeki hızlı gelişmelerle birlikte, doğru ve zengin öğrenme verileri toplanabilmekte ve özel öğrenme ihtiyaçlarını ortaya çıkarabilmektedir. Herkese uyan tek bir yaklaşımdan hassas eğitime geçiş sağlanabilmektedir (Lu ve ark., 2018; Tsai ve ark., 2020). Ayrıca; Xie ve ark., (2019), şimdiye kadar, kişiselleştirilmiş sistemlerin büyük bir kısmının geleneksel bilgisayarları veya cihazları kullandığını, buna karşılık giyilebilir cihazların, akıllı telefonların ve tablet bilgisayarlar gibi akıllı cihazların daha az tercih edildiğini belirtirken yapay zekânın ise; bu kişiselleştirilmiş öğrenme sistemleri üzerinde önemli etki yarattığını belirtmektedirler.

Eğitimde makine öğrenmesinin kişiselleştirilmiş öğrenme, öğrenci takibi, erken müdahale, verimlilik ve tasarruf sağlaması, öğretmenlere destek olması, sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik gibi yeni teknolojilerle birleştirilerek eğitimde yenilikçi yaklaşımların geliştirilmesine olanak tanınması sebebi ile bu çalışmada da öğrenci başarılarının tahminlenmesine yönelik makine öğrenmesi temelli sınıflandırmalar gerçekleştirilerek karşılaştırmalı bir şekilde incelenmiştir.

## 2. Yapılmış Çalışmalar

Djulovic ve Li (2013) üniversite birinci sınıf öğrencilerinin öğrenimlerine devam durumunu tahminlemek için farklı algoritmalarını kullanarak modeller geliştirmişlerdir. %86,27 ile en yüksek genel doğruluğa elde etmişlerdir. Iam-On ve Boongoen (2017) üniversite öğrencilerinin öğrenimi bırakma eğilimlerini belirlemek için çalışmışlar ve araştırma sonucunda başarılı bir akademik geçmişi olan öğrencilerin devam durumlarının yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Lise öğrencilerinin okulu terk etme durumlarının tahmini üzerine çalışan Chung ve Lee (2019) çalışmalarında %95 doğruluk oranı ile sonuçlar üretmiştir. Iatrellis, Savvasi, Fitsilis ve Gerogiannis (2021) yükseköğrenim programlarındaki öğrencilerin sonuçlarını tahmin etmek için çalışmalarında iki aşamalı bir makine öğrenimi yaklaşımı ile yüksek doğrulukta tahminler üretildiğini belirtmişlerdir. Badal ve Sungkur (2022) öğrencilerin performansını tahmin etmek ve çevrimiçi öğrenme platformunun özelliklerini analiz etmek amacıyla yapmış oldukları çalışmada öğrenci profili ve etkileşimle ilgili özniteliklerle not ve katılım tahmini için %85 ve %83 ile başarılı sonuçlar elde etmişlerdir. Çakıt ve Dağdeviren (2022) üniversitenin akademik itibarı, üniversitenin bulunduğu şehrin imkânları, üniversitenin tesisleri ve kültürel imkânları ile ilgili verilere dayalı olarak öğrenci yerleştirme yüzdesini tahmin etmeye yönelik yapmış oldukları çalışmada farklı farklı makine öğrenimi yaklaşımlarının başarılarını karşılaştırmışlardır. Guleria ve Sood (2023) öğrencilerin kariyer danışmanlığı için bir çerçeve önerdikleri çalışmalarında farklı makine öğrenimi yaklaşımlarının performanslarını incelemişlerdir. Chen ve Zhai (2023) çalışmalarında farklı uygulama senaryolarında makine öğrenimi yöntemlerinin performansını araştırmak için üç farklı türde göreve yönelik eğitim verisi kullanılmışlardır. Çalışmaları sonucunda deneysel sonuçlarda makine öğrenimi algoritmalarının başarılarını incelemişlerdir. Seveli ve Başer (2020) akademik başarıyı tahmin ettikleri çalışmalarında %86,4 doğrulukla rastgele orman algoritması en yüksek performansı sergilemiştir.

## 3. Materyal ve Metot

Bu çalışmanın amacı, öğrencilerin sınavlardaki performansının farklı sınıflandırıcılar kullanılarak tahmin edilmesini sağlamaktır. Çalışmada kullanılan “Students Performance in Exams” veri setine, Kamuya açık bir veri deposundan erişilmiştir (Web1). Veri setinde öğrencilerinin sosyo-demografik bilgileri ile matematik, okuma ve yazma derslerine ait notları bulunmaktadır. Çalışma, veri setinde farklı makine öğrenmesi algoritmaları kullanarak öğrencilerin sınavlardaki performansının tahminine yönelik sınıflandırma çalışmalarını içermektedir. Sınıflandırma işlemleri için K-en Yakın Yomşu

(KNN), Karar Ağacı (KA), Naive Bayes (NB), Rastgele Orman (RO), Destek Vektör Makinesi (DVM), Lojistik Regresyon (LR), Lineer Diskriminant Analizi (LDA) yöntemleri kullanılmış ve performansları değerlendirilmiştir.

### 3.1. Veri Seti

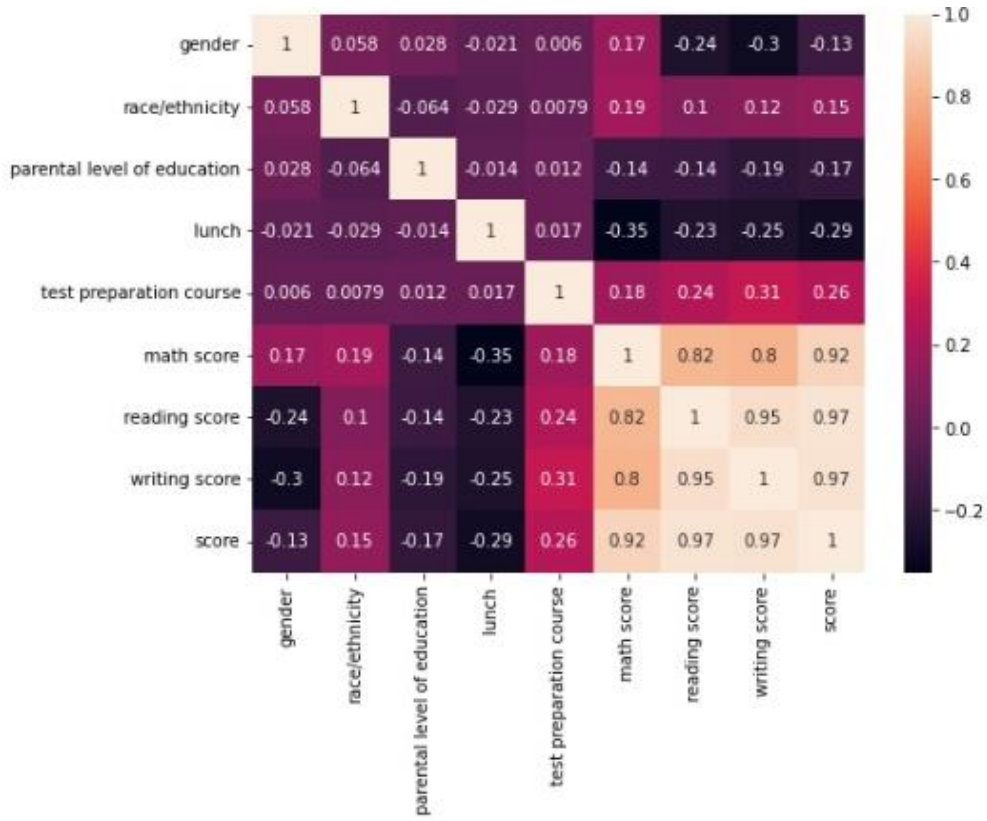
Veri seti 1000 örnekten ve 8 tane öznelikten oluşmaktadır. Veri setinde bulunan özneliklerin ayrıntıları Tablo 1’de verilmektedir. Veri setinde bulunan özneliklerin istatistiki bilgileri de Tablo 2’de yer almaktadır. İki değişken arasındaki ilişkinin gücünü ve yönünü ölçmek amacıyla veri seti özneliklerinin korelasyon ilişkileri Şekil 2’de verilmiştir. Korelasyon katsayısı değer aralığı -1 ile 1 arasında olmaktadır. 1: Mükemmel pozitif korelasyonu, 0: İlişkisizliği ve -1: Mükemmel negatif korelasyonu göstermektedir. Şekil 2 incelendiğinde, writing score ve reading score arasında yüksek oranda ilişki olduğu görülmektedir. Bu durumda bir öğrencinin iyi okuması durumunda iyi yazdığı söylenebilir. Math\_score’un çok yüksek bir korelasyonu bulunmamaktadır, bu sebeple bir öğrencinin matematikte iyi performans göstermesi durumunda okuma ve yazma da iyi performans göstermesinin gerekli olmadığı söylenebilir. Math score, writing score ve reading score arasındaki korelasyon ilişkileri ayrıntılı olarak Şekil 3’te gösterilmektedir.

**Tablo 1.** Veri setinde bulunan öznelikler

Öznelik Adı	Açıklama
gender	[erkek/ kadın]
race/ethnicity	[A’dan E’ye gruplar]
parental level of education	[ebeveyn eğitimi]
lunch	[okula yerleşim türü]
test preparation course	[test hazırlık kursu]
math score	[matematik skoru]
reading score	[okuma skoru]
writing score	[yazma skoru]

**Tablo 2.** Veri setindeki özneliklerin tanımlayıcı istatistikleri

Öznelik	Ortalama	Standart Sapma	En Küçük	En Büyük
gender	0,482	0,499	0,0	1,0
race/ethnicity	2,174	1,157	0,0	4,0
parental level of education	2,486	1,829	0,0	5,0
lunch	0,645	0,478	0,0	1,0
test preparation course	0,642	0,479	0,0	1,0
math score	46,145	14,980	0,0	80,0
reading score	41,212	14,382	0,0	71,0
writing score	44,104	15,043	0,0	76,0



Şekil 2. Öznitelikler arasındaki korelasyon



Şekil 3. Math score, writing score ve reading score arasındaki korelasyon

### 3.2. Sınıflandırma Yöntemleri

Bu bölümde çalışma kapsamında kullanılan sınıflandırma modelleri açıklanmıştır.

**K-En Yakın Komşu (K-Nearest Neighbors, KNN) Algoritması**, sınıflandırma ve regresyon problemlerini çözmek için kullanılan basit ve temel bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. Veri noktalarını uzayda birbirine olan yakınlıklarına göre gruplamak ve tahmin yapmak için kullanılır. Öklide göre mesafenin belirlenmesinde Denklem 1'deki formül kullanılmaktadır (Kilinç ve ark., 2016).



$$d(i,y) = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{yk})^2} \quad (1)$$

Denklemdaki sembollerin açıklamaları şu şekildedir:

d: İki nokta arasındaki uzaklık.

i: Birinci noktanın indis değeri.

y: İkinci noktanın indis değeri.

p: Özellik vektörlerinin boyutu (özellik sayısı).

x<sub>ik</sub>: Birinci noktanın "i" indisli özelliğinin değeri.

x<sub>yk</sub>: İkinci noktanın "k" indisli özelliğinin değeri.

**Karar Ağacı (Decision Tree) algoritması**, veri kümesindeki özelliklerin değerlerine göre yapılan basit kararlarla verileri sınıflandıran ve regresyon yapabilen bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. Karar ağaçları, hem sınıflandırma (classification) hem de regresyon (regression) problemleri için kullanılabilir. Karar ağacı karar düğümleri, dallar ve yapraklardan oluşmaktadır (Han ve Kamber, 2006).

**Naive Bayes algoritması**, makine öğrenmesi ve istatistiksel sınıflandırma için kullanılan olasılık temelli bir algoritmadır. Sınıflandırma problemlerini çözmek için yaygın olarak kullanılır ve genellikle doğal dil işlemede, spam filtrelemede, duygu analizinde, medikal teşhislerde ve diğer sınıflandırma görevlerinde etkili sonuçlar verir. Algoritma Bayes teoremini kullanır ve sınıf değişkeninin değeri dikkate alındığında tüm değişkenlerin bağımsız olduğunu varsayar (Dimitoglou ve ark., 2012). Bayes teoreminde kullanılan matematiksel formül Denklem 2'de açıklanmıştır.

$$P(A \setminus B) = (P(A \setminus B) * P(A)) / P(B) \quad (2)$$

Denklemdaki sembollerin açıklamaları şu şekildedir:

P(A|B): A olayının, B olayı gerçekleştiğindeki koşullu olasılığı.

P(B|A): B olayının, A olayı gerçekleştiğindeki koşullu olasılığı.

P(A): A olayının önceden bilinen marjinal olasılığı.

P(B): B olayının önceden bilinen marjinal olasılığı.

**Rastgele Orman (Random Forest) algoritması**, makine öğrenmesi alanında yaygın olarak kullanılan ve sınıflandırma, regresyon ve kümeleme gibi çeşitli görevler için etkili sonuçlar veren bir ensemble

(topluluk) öğrenme yöntemidir. Rastgele Orman, birçok karar ağacının (decision tree) bir araya gelmesiyle oluşturulur ve bu ağaçların tahminlerinin ortalaması veya en çok oy alan sınıf veya değerle sonuç alınarak sınıflandırma veya regresyon yapar. Rastgele Ormanlar, tahmin ortalamasının temel gerçeğe (sınıflandırma) veya gerçek değere (regresyon) yaklaşacağı şekilde, her bir karar ağacının sahip olduğu tahmin varyansının üstesinden gelebilir (Liang ve ark., 2020).

**Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine - SVM)**, makine öğrenmesi alanında sınıflandırma ve regresyon problemlerini çözmek için kullanılan güçlü bir algoritmadır. SVM, veri noktalarını uzayda sınıflara ayıran bir hiper düzlem (hyperplane) bulmaya odaklanır ve bu düzlem, sınıflar arasındaki en büyük marjı (maksimum marj) elde etmek için optimize edilir. Sınıflar arasındaki marjın maksimize edilmesi, SVM'nin yüksek genelleme performansına ve iyi bir ayırt edici güce sahip olmasına olanak tanır.

**Lojistik Regresyon (Logistic Regression)**, istatistik ve makine öğrenmesi alanlarında sınıflandırma problemlerini çözmek için kullanılan bir istatistiksel modeldir. Temel olarak, bir girdi verisi alır ve bu veriyi bir veya daha fazla kategoriye (sınıfa) atar. Bu nedenle, genellikle iki sınıflı (binary) sınıflandırma problemleri için kullanılır, ancak çoklu sınıflı sınıflandırmaya da genişletilebilir.

**Linear Diskriminant Analizi (Linear Discriminant Analysis - LDA)**, istatistik ve makine öğrenmesi alanlarında, sınıflandırma problemlerini çözmek için kullanılan bir örüntü tanıma ve boyut azaltma yöntemidir. LDA, çok boyutlu veri setlerini daha düşük boyutlu bir alt uzaya dönüştürerek sınıflar arasındaki farklılıkları vurgulayarak sınıflandırma yapar.

## 2.2. Performans Değerlendirme

Çalışma kapsamında performans değerlendirilmesinde karmaşıklık matrisi ve çapraz doğrulama uygulanmıştır. Sınıflandırma işlemlerinin performansını ölçmek için Tablo 3'te gösterilen karmaşıklık matrisi (confusion matrix) kullanılmıştır. Karmaşıklık matrisi, bir algoritmanın performansını değerlendirmek için kullanılan bir metrik tablodur. Özellikle sınıflandırma problemlerinde, algoritmanın gerçek değerler ile tahmin ettiği değerler arasındaki farkı anlamak ve modelin performansını anlamak için kullanılmaktadır. Karmaşıklık matrisindeki metrikler arasında doğruluk (accuracy), kesinlik (precision), duyarlılık (recall), F1-puanı (F1-score) gibi önemli değerler bulunmaktadır. Bu değerler, algoritmanın hangi durumlarda ne kadar başarılı olduğunu ve hangi sınıfları daha iyi veya daha kötü sınıflandırdığını anlamaya yardımcı olur.

**Tablo 3.** Karmaşıklık matrisi

TAHMİN	GERÇEK	
	Pozitif	Negatif
	DP	YP
Pozitif	DP	YP
Negatif	YN	DN

Karmaşıklık matrisi, 4 farklı değeri gösteren bir tablodur:

Doğru Pozitif (DP): Gerçek sınıfı pozitif olarak doğru bir şekilde sınıflandırılan örnek sayısı.

Yanlış Pozitif (YP): Gerçek sınıfı negatifken yanlış bir şekilde pozitif olarak sınıflandırılan örnek sayısı.

Doğru Negatif (DN): Gerçek sınıfı negatif olarak doğru bir şekilde sınıflandırılan örnek sayısı.

Yanlış Negatif (YN): Gerçek sınıfı pozitifken yanlış bir şekilde negatif olarak sınıflandırılan örnek sayısı.

*Doğruluk (Accuracy)* : Bir sınıflandırma modelinin doğru tahminlerinin toplam veri sayısına oranını ifade eden bir performans metriğidir. Denklem 3'te verilen matematiksel ifade ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Doğruluk} = \frac{DP + DN}{DP + YP + DN + YN} \quad (3)$$

*Kesinlik (Precision)*: Sınıflandırma modelinin doğruluk oranını ifade eden metriktir. Denklem 4'te verilen matematiksel ifade ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{DP + YP} \quad (4)$$

*Duyarlılık (Recall)*: Sınıflandırma modelinin gerçek pozitiflerin tespit edilme oranını veren metriktir. Denklem 5'te verilen matematiksel ifade ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP + YN} \quad (5)$$

*F1-puanı (F1-score)*: Sınıflandırma modelinin doğruluğunu ve hassasiyetini aynı anda değerlendiren bir performans metriğidir. F1 puanı kesinlik ve duyarlılık arasındaki dengeyi ifade etmektedir (Canibey ve Sevli, 2022). Denklem 6'da verilen matematiksel ifade ile hesaplanmaktadır.

$$\text{F1 - Puanı} = 2 * \frac{\text{Kesinlik} * \text{Duyarlılık}}{\text{Kesinlik} + \text{Duyarlılık}} \quad (6)$$

Çapraz doğrulama ise; modelin güvenilir bir şekilde değerlendirilmesini sağlamak için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Çapraz doğrulama yönteminde veri kümesi parçalara ayrılarak, bu veriler farklı eğitim ve farklı test veri kümelerini oluşturmaktadır. Bu çalışmada da 5 kat çapraz doğrulama uygulanmıştır.

### 3.3. Uygulama Adımları

Toplam 1000 adet örnekten oluşan veri seti üzerinde 8 öznitelik incelenerek, veri dağılımları analiz edilmiş ve öznitelikler sayısal değere dönüştürülerek deneysel işleme hazır hale getirilmiştir. Her öğrenci için math score, reading score ve writing score özniteliklerinin ortalaması alınarak 40 ve üzeri

not alması durumu geçer not olarak kabul edilmiştir. Öğrencinin geçip kalma durumu için result öz niteliği oluşturulmuş ve yeni oluşturulan tabloya eklenmiştir. Oluşturulan yeni tablo Tablo 4'te gösterilmektedir.

**Tablo 4.** Tahminleme işlemi için kullanılacak öz nitelikler

Öznitelik Adı	Açıklama
gender	[erkek/ kadın]
race/ethnicity	[A'dan E'ye gruplar]
parental level of education	[ebeveyn eğitimi]
lunch	[okula yerleşim türü]
test preparation course	[test hazırlık kursu]
result	[başarı durumu geçti/kaldı]

Öğrencilere ait olan başarı durumu (result) tahminlenmeye çalışılmıştır. Veri seti üzerinde KNN, KA, NB, RO, DVM, LR, LDA sınıflandırıcıları kullanılmıştır. Bütün sınıflandırma işlemlerinde 5 kat çapraz doğrulama uygulanmıştır. Sınıflandırıcıların performansları doğruluk, duyarlılık, kesinlik ve F1-puanı metrikleri açısından incelenmiştir. Sınıflandırıcılar için kullanılan parametreler ve değerleri Tablo 5'te gösterilmektedir.

**Tablo 5.** Sınıflandırıcılar için kullanılan parametreler ve değerleri

Sınıflandırıcı	Kullanılan parametre ve değerler
DVM	kernel='rbf', C=2
LR	max_iter=250
KNN	n_neighbors=13
RO	n_estimators =100
NB	Default
KA	Default
LDA	Default

#### 4. Bulgular ve Tartışma

Öğrencilerin sosyo-demografik bilgileri ile matematik, okuma ve yazma derslerine ait notları bulunduran veri seti K-en Yakın Komşu (KNN), Karar Ağacı (KA), Naive Bayes (NB), Rastgele Orman (RO), Destek Vektör Makinesi (DVM), Lojistik Regresyon (LR), Lineer Diskriminant Analizi (LDA) modelleri ile tek tek sınıflandırılmıştır. Her sınıflandırma işlemi için 5 kat çapraz doğrulama yapılmıştır. Modellerin doğruluk, duyarlılık, kesinlik ve F1-puanı değerleri belirlenmiş ve Tablo 6'da gösterilmiştir.

**Tablo 6.** Modellerin sınıflandırma başarıları

Sınıflandırıcı	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F1-puanı
KNN	0,61	0,59	0,53	0,50
KA	0,59	0,62	0,58	0,58
NB	0,66	0,64	0,62	0,62
RO	0,61	0,62	0,59	0,59
DVM	0,67	0,64	0,61	0,61
LR	0,65	0,65	0,63	0,63
LDA	0,65	0,65	0,62	0,62

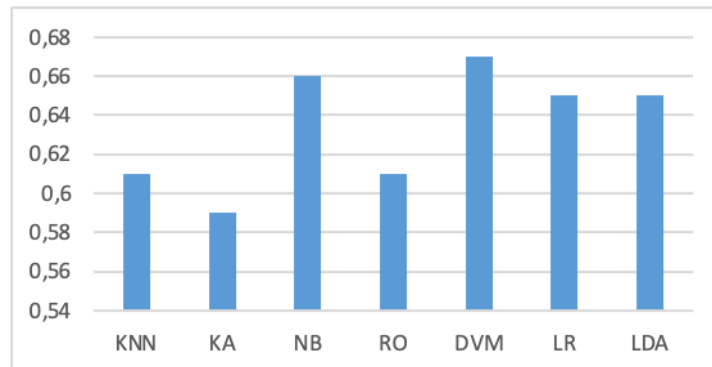
Tablo 6’da verilen sonuçlar incelendiğinde en yüksek doğruluk %67 ile DVM modelinden elde edilmiştir. KA, %59 ile en düşük doğruluğu sağlamıştır. Ölçülen doğruluk, modellerin genel başarısını temsil etmektedir. Modellerin genel başarı sıralaması şu şekilde yapılabilir: DVM>NB>LR, LDA>RO, KNN>KA.

Modelin doğru bir şekilde tahmin ettiği örneklerin oranını ifade eden kesinlik değeri LR ve LDA’da %65 ile en yüksek puana sahiptir. NB ve DVM %64 ile ikinci sırada bulunmaktadır. KA ve RO %62 ile üçüncü sırada yer alırken, KNN modeli, dördüncü sırada yer almaktadır.

Hassasiyet veya gerçek pozitif oranı olarak adlandırılan Duyarlılık değeri bakımından %63 ile LR modeline aittir. Bu modeli %62 ile NB ve LDA, %61 ile DVM, %59 ile RO, %58 ile KA ve %53 ile KNN takip etmektedir.

Modelin doğru pozitifleri ve yanlış pozitifleri ele alırken ki başarısını gösteren F1-puanı açısından en yüksek başarı %63 ile LR modeline aittir. Bu modeli %62 ile LDA ve NB, %61 ile DVM, %59 ile RO, %58 ile KA ve %47 ile KNN takip etmektedir.

Çalışma kapsamında kullanılan modellerin doğruluk başarı durumları Şekil 5’te gösterilmektedir. Sınıflandırma sonucunda modellerin doğruluk metriği bakımından en başarılı model DVM olarak belirlenmiştir.



**Şekil 5.** Modellerin Doğruluk (Accuracy) başarı değerleri

Veri setindeki değişkenler arasındaki ölçek farklarını gidererek, algoritmaların daha iyi performans göstermesine yardımcı olabilmek amacıyla normalizasyon tekniği kullanılarak modellerin doğruluk (Accuracy) başarı değerleri karşılaştırılmalı olarak Tablo 7’de gösterilmiştir.

**Tablo 7.** Modellerin normalizasyon öncesi ve sonrası doğruluk başarı değerleri

Sınıflandırıcı	Normalizasyon Öncesi	Normalizasyon Sonrası
KNN	0,61	0,61
KA	0,59	0,59
NB	0,66	0,66
RO	0,61	0,63
DVM	0,67	0,68
LR	0,65	0,65
LDA	0,65	0,65

Tablo 7’de verilen sonuçlar incelendiğinde normalizasyon öncesi ve sonrası doğruluk başarı değerleri incelendiğinde RO’nun doğruluk başarı değeri %61’den %63’e yükselirken, DVM’nin doğruluk başarı değeri de %67’den %68’e yükselmiştir.

## 5. Sonuç ve Öneriler

Makine öğrenmesinin kullanımı birçok alanda çözümler sunmaktadır. Özellikle büyük veri miktarlarının arttığı, karmaşık problemlerin ele alındığı ve daha akıllı sistemlerin ihtiyaç duyulduğu günümüz dünyasında, makine öğrenmesinin farklı disiplinlerde kullanımı ve bilimsel araştırmalara konu olması bakımından daha da artmaktadır. Öğrencilere ait büyük veri yığınlarının bulunması makine öğrenmesinin eğitim alanında da kullanımını mümkün kılmaktadır. Öğrencilerin performansının tahmin edilebilmesi ve öğrenme hedeflerine ulaşmadaki potansiyel başarısızlığa erken önlem alınabilmesi için kullanılacak makine öğrenmesi eğitimin tüm paydaşlarına avantajlar sağlayacaktır. Bu çalışmada öğrencilerin sosyo-demografik bilgileri ile matematik, okuma ve yazma derslerine ait notları bulunduran 1000 adet örnekten oluşan veri seti yedi ayrı makine öğrenmesi ile sınıflandırılmış ve farklı metrikler ile incelenmiştir.

K-en yakın komşu (KNN), Karar ağacı (KA), Naive Bayes (NB), Rastgele orman (RO), Destek vektör makinesi (DVM), Lojistik regresyon (LR), Lineer Diskriminant Analizi (LDA) modelleri ile yapılan Sınıflandırma sonucunda modellerin doğruluk metriği bakımından en başarılı model en başarılı model DVM olmuştur. Normalizasyon tekniği ile modellerin doğruluk başarı durumları incelendiğinde ise RO ve DVM’nin değerlerinde az da olsa yükselme olmuştur. Öğrencilere ait daha fazla özneliliğin bulunması, farklı sınıflama çalışmalarının yapılması ve incelenmesinin gelecekte yapılacak çalışmalarda yer alması önerilebilir.

## Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar, makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## Kaynakça

- Alpaydin E. Introduction to machine learning, fourth edition. MIT Press. 2020.
- Badal YT., Sungkur RK. Predictive modelling and analytics of students' grades using machine learning algorithms. *Educ Inf Technol* 2023; 28, 3027–3057.
- Canibey ST., Seveli O. Bireylerin gelir dağılım seviyelerinin makine öğrenmesi teknikleri ile belirlenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(2): 753-766.
- Chen Y., Zhai L. A comparative study on student performance prediction using machine learning. *Educ Inf Technol* 2023; 28, 12039–12057.
- Çakıt E., Dağdeviren M. Predicting the percentage of student placement: A comparative study of machine learning algorithms. *Education and Information Technologies* 2022; 27(1): 997-1022.
- Chung JY., Lee S. Dropout early warning systems for high school students using machine learning. *Children and Youth Services Review* 2019; 96, 346-353.
- Dimitoglou G., Adams JA., Jim CM. Comparison of the C4.5 and a naive bayes classifier for the prediction of lung cancer survivability (arXiv:1206.1121). arXiv. 2012; <https://doi.org/10.48550/arXiv.1206.1121>.
- Djulovic A., Li D. Towards freshman retention prediction: A comparative study. *International Journal of Information and Education Technology* 2013; 3(5): 494-500.
- Guleria P., Sood M. Explainable AI and machine learning: performance evaluation and explainability of classifiers on educational data mining inspired career counseling. *Education and Information Technologies* 2023; 28(1): 1081-1116.
- Han J., Kamber M. Data mining: Concepts and techniques (Second edition) (2nd bs). Kaufmann Publisher, 2006.
- Iam-On N., Boongoen T. Generating descriptive model for student dropout: A review of clustering approach. *Human-centric Computing and Information Sciences* 2017; 7(1): 1-24.
- Iatrellis O., Savvas IK., Fitsilis P., Gerogiannis VC. A two-phase machine learning approach for predicting student outcomes. *Education and Information Technologies* 2021; 26, 69-88.
- Kilinç D., Borandağ E., Yücel F., Tunali V., Şimşek M., Özçift A. KNN algoritması ve r dili ile metin madenciliği kullanılarak bilimsel makale tasnifi. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi* 2016; 28(3): Article 3. <https://doi.org/10.7240/mufbed.69674>.
- Koza JR., Bennett FH., Andre D., Keane MA. Automated design of both the topology and sizing of analog electrical circuits using genetic programming. İçinde J. S. Gero & F. Sudweeks (Ed.), *Artificial Intelligence in Design '96*, 1996; 151-170. Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-0279-4\\_9](https://doi.org/10.1007/978-94-009-0279-4_9)

- Liang YC., Maimury Y., Chen AHL., Juarez JRC. Machine learning-based prediction of air quality. *Applied Sciences* 2020; 10(24): Article 24. <https://doi.org/10.3390/app10249151>.
- Lu O., Huang A., Huang J., Lin A., Ogata H., Yang SJH. Applying learning analytics for the early prediction of students' academic performance in blended learning. *Educational Technology & Society* 2018; 21(2): 220-232.
- Machine A. The artificial use of the term "Intelligence". *Medium*. 2017. <https://becominghuman.ai/the-artificial-use-of-the-term-intelligence-c82878447dfd>.
- Sevli O., Başer VG. Prediction of student academic success in distance education using machine learning. Conference: Future-Learning 2020 - 8th International Conference on Future Learning and Informatics: Data Revolution, Muğla, Turkey.
- Tsai SC., Chen CH., Shiao YT., Ciou JS., Wu TN. Precision education with statistical learning and deep learning: A Case study in Taiwan. *International Journal of Educational Technology in Higher Education* 2020; 17(1): 1-13.
- Turing A. Computing machinery and intelligence. *Mind* 1950; 49(236): 433-460.
- Xie H., Chu HC., Hwang GJ., Wang CC. Trends and development in technology-enhanced adaptive/personalized learning: A Systematic review of journal publications from 2007 to 2017. *Computers & Education* 2019; 140, 103599. doi:10.1016/j.compedu.2019.103599.
- Web 1: Students performance in exams. <https://www.kaggle.com/datasets/spscientist/students-performance-in-exams>. Erişim tarihi, Kasım,2023.



## Impact of the COVID-19 Pandemic on Racehorse Breeders\*

Muhammet Hanifi SELVİ<sup>1\*\*</sup>, Yavuzkan PAKSOY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Necmettin Erbakan Üniversitesi Veteriner Fakültesi Zootečni ve Hayvan Besleme Bölümü Veteriner Zootečni Anabilim Dalı, Konya

<sup>2</sup>Necmettin Erbakan Üniversitesi Ereğli Kemal Akman MYO Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Konya

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-9785-9174>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-0935-7693>

\*\*Sorumlu yazar: mselvi@erbakan.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Article History:

Received: 02.10.2023

Accepted: 21.01.2024

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

Survey  
Pandemic  
Racehorse  
Breeder  
Covid-19

### ABSTRACT

In this study, a face-to-face survey study was conducted with 58 racehorse breeders and business owners located in Adana, Ankara, Mersin and Sanliurfa provinces about racehoring during the pandemic period. The study data were analyzed and evaluated with the SPSS 22.0 program. According to the results, according to the gender, horse breeding is largely carried out by men, participants have the most high school graduates as an education level, the average age is 38.6, and they have experienced the most financial losses during the pandemic period, the reason for which is the inability to hold competitions. When these results of breeders are evaluated, it is suggested that it would be beneficial for them to be evaluated regionally in a sub-branch of the ministry and to provide informative trainings for horsemanship in cooperation with the university, the ministry and TJK.

## COVID-19 Pandemisinin Yarış Atı Yetiştiricileri Üzerine Etkisi

### Research Article

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 02.10.2023

Kabul tarihi: 21.01.2024

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Anket  
Pandemi  
Yarış atı  
Yetiştirici  
Covid-19

### ÖZ

Bu çalışmada Adana, Ankara, Mersin ve Şanlıurfa ilinde bulunan 58 Yarış atı yetiştiricisi ve işletme sahibiyle pandemi döneminde yarış atılığı hakkında yüzyüze anket çalışması yapılmıştır. Çalışma verileri SPSS 22.0 programıyla değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre, cinsiyet olarak at yetiştiriciliğinin büyük oranda erkekler tarafından yürütüldüğü görülmektedir. Çalışmada yeralan katılımcıların eğitim seviyesi olarak en fazla lise mezunu oldukları, yaş ortalamalarının 38.6 olduğu ve pandemi döneminde en fazla maddi kayıp yaşadıklarını tespit edilmiştir. Bu maddi kaybın sebebi olarak da müsabakaların yapılamaması olduğu belirtilmiştir. Yetiştiricilerin bu sonuçları değerlendirildiğinde bir bakanlık alt şubesinde bölgesel olarak değerlendirilmeleri ve atılığa yönelik bilgilendirici eğitimlerin üniversite, bakanlık ve TJK işbirliği ile verilmesinin faydalı olacağı görüşü sunulmaktadır.

**To Cite:** Selvi MH., Paksoy Y. Impact of the COVID-19 Pandemic on Racehorse. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(3): 1129-1135.

\*The research is carried out with the permission of Necmettin Erbakan University Social and Human Sciences Scientific Research Ethics Committee, numbered 2021/395.

## **1. Introduction**

It is known that, the first people who domesticated the horse were societies in Asia to facilitate their nomadic life. As a result of research conducted in recent years, it is observed that, the Botai Culture in Kazakhstan has started to use the horse in human service by domesticating it. In the Copper Age in the north of Kazakhstan (3700 - 3100 BC), it turned out that people of this culture lived in large settlements, fed the horse both as a passenger animal and for its meat and milk (Nesterov, 1990; Levine, 1999; Zaharov, 2010). The horse has become the most important part of the lives of these nomadic societies as a horse, carrying a load, pulling a load, hunting, an animal whose meat and milk are used. After the domestication of the horse, the domestication of the horse and the introduction of the equestrian shepherd culture are observed in the first Turks. When historical documents are examined, the necessary conditions for the great state foundation were only when horses were domesticated and entered human service (Koppers, 1941). The Turks easily traveled through the geographically difficult steppes on their horses, again crossed high mountains and gorges, and carried out raids and conquest movements thanks to their horses (Sümer, 1983). Since the earliest times, the horse has played an important role in the political, religious, economic and social life of the Turks. The Turks ate the meat of the horse they raised in herds, offered it as a sacrifice and provided their economy by exporting thousands of war horses to foreign countries every year (Kafesoglu, 1989).

From the very beginning, important developments have emerged regarding the horse, which holds the most important place in the life of Turks. The Turks have a long-established tradition of equestrian sports, using the horse in battle, using the horse's meat and milk. Horse sacrifice also has a very widespread and decadent tradition among the Turks. The horse has taken an important place in the social, military, economic and religious life of the Turks.

Different races are held in many countries around the world. For flat racing, jump racing, harness racing, walking and trot running in general, it is a flat run that takes place on an oval and flat track that is at the very bow of the racer. All flat running, which is watched with interest in Turkey as well as in the world, is one of the oldest and most broadcast sports. In addition, he is a veterinarian, trainer, trainer, prankster, stable boy and breeder with the characteristics of the flat running industry it is an important source of direction for professions such as (Ünlüoğlu, 2022). With the public also it provides resources to the whole (Can, 2015).

Today, the official races are 6132. it is carried out by the Jockey Club of Turkey (TJK) with the authority obtained from the contract renewed by the Ministry of Agriculture and Forestry for certain periods based on the Law on numbered Horse Races. Applications and regulations made by TJK as a result, racing revenues have increased and large investments have been made thanks to these revenues. Horse breeding boarding houses, decoupling stations and modern hippodromes established for these investments are among them. As of 2022, in Turkey the number of hippodromes has increased to 10.

With the introduction of new animals into our lives and the development of technology, the purpose of feeding and transportation of the horse was prevented from breeding, but it continued to be used mostly

for training before the war, weddings, holidays and sports activities for entertainment. Today, with breeding related to the size, speed and body structure of horses, horses are used on racetracks, equestrian sports, therapy and children's entertainment. The racing sector occupies a large place in these areas.

Epidemics that spread over a very wide area in more than one country or continent in the world and show their effect are called pandemics. December 31, 2019, the Covid-19 pandemic in Wuhan, Hubei province, China, was classified as an “international public health emergency” on January 30, 2020, and was defined as a global pandemic on March 11 due to the occurrence, spread and severity of this virus in 113 countries outside of China (T.C. Ministry Of Health, 2020). Due to the pandemic, breeders and business owners working in this sector have experienced financial and spiritual losses with the cancellation of races in racehorses, as in every sector. The aim of this study is to make suggestions on what can be done by detecting the problems experienced by this sector in the pandemic.

## 2. Materials and Methods

The primary data of this research were formed by information obtained by survey method from racehorse breeding enterprises operating in Adana, Ankara, Mersin and Sanliurfa provinces. The data belong to the year 2021 and were obtained by applying a survey to business owners who were interviewed face-to-face. In addition to the primary data, previous research findings related to the subject with other institutions and organizations have also formed the secondary data of this research.

December 95% confidence interval and 10% margin of error limits were used in the research. As a result of the calculations made by applying the following simple random sampling method formula, it was deemed appropriate to conduct a survey in 58 enterprises (Çiçek and Erkan, 1996).

$$n = \frac{N * s^2 * t^2}{(N - 1)d^2 + s^2 * t^2} \quad (1)$$

In the Formula;

n = Sample volume

s = Standard deviation

t = the t value at the 95% confidence limit (1.96)

N = The total number of enterprises belonging to the sampling frame

d = Represents the acceptable error (10% deviation)

The data obtained from the survey study were analyzed using the SPSS 22.0 package program.

## 3. Results and Discussion

As a result of the evaluations, it is observed that a high proportion of breeders are male as a gender. The reason for this is shown to be a heavier job. But in recent years, it is seen that there have been increasing increases in the proportion of women in the world and in Turkey. It was found that the participants were between 18 and 67 years of age Decently and the average breeders were 38 years old (Table 1).

**Table 1.** Descriptive statistics

Structural Characteristics	Lowest	Highest	Average	Standard Deviation
The age of the breeding	18	67	38.50	11.14
Number of family members	2	25	5.85	3.56
Duration of horse breeding	2	51	18.53	10.66

It was observed that the highest participation was achieved from Şanlıurfa province as a province. The average number of family members with dependents is 5.8, the average duration of horse breeding is 18.5 years, when looking at the insurance status, it was found that a lone breeder is uninsured, as a matter of educational status, the most high school, middle school and college graduates are breeders.

It has been determined that breeders participate in more than 15 races throughout the year, and as racehorses, they have a maximum of 1-3 racehorses, and these horses are mostly (41%) Arabian horses. It was seen as a result of the evaluation that they mostly did not sell their horses and did not hire workers during the pandemic period. It is seen that they spend the most financially on feed and workers, but they still have problems with these two issues.

It was determined that there were decreases in the performance of horses who experienced financial difficulties during the period when the races were stopped due to the pandemic. The proportion of those who said that 50-100 thousand TL was lost during the pandemic period was found to be high (Table 2).

**Table 2.** Participant profile and identified problems

		(N)	%
Province	Adana	13	23.2
	Ankara	3	5.4
	Şanlıurfa	35	62.5
	Mersin	5	8.9
Sex	Male	56	96.6
	Female	2	3.4
Your other profession	Yes	34	63.0
	No	20	37.0
Monthly income	0-715\$	10	28.6
	716-1430\$	8	22.9
	1431-2145\$	7	20.0
	2146-2860\$	1	2.9
	2861\$+	9	25.7
Insurance status	Yes	36	63.2
	No	21	36.8
Educational Status	No education	2	3.5
	Primary school	8	14.0
	Middle school	13	22.8
	High school	15	26.3
	2- year university	10	17.5
	4- year university	9	15.8
The number of races they participated in during the year	1-5	12	21.4
	6-10	13	23.2
	11-15	11	19.6
	16+	20	35.7
Number of horses owned	1-3	29	50.0
	4-5	11	19.0
	6-10	12	20.7
	11-19	5	8.6
	20+	1	1.7
Breeds of horses owned	Arabian	24	41.4
	Thoroughbred	18	31.0

The number of horses sold in the pandemic	mixed	16	27.6
	1-3	22	39.3
	4-5	7	12.5
	6-9	2	3.6
	10+	2	3.6
The number of employees in the enterprise	Any	23	41.1
	1-3	29	54.7
	4-5	9	17.0
	6-9	9	17.0
	Family members are working	5	9.4
Monthly cost of workers	10+	1	1.9
	143-429\$	7	12.5
	430-715\$	7	12.5
	716-1430\$	22	39.3
	1431-2860\$	11	19.6
The situation of financial support during the pandemic	2861\$+	9	16.1
	Yes	14	25.9
	No	40	74.1
The most common disease in horses during the pandemic	Epidemic disease	3	6.8
	Orthopedic disease	22	50.0
	Loss of fitness and diseases	16	36.4
	Epidemic disease - Loss of fitness and diseases	2	4.5
The biggest problem in horse breeding in the pandemic period	All	1	2.3
	Feed and ration	11	21.6
	Technical staff	12	23.5
	Trainer	1	2.0
	Veterinary service	6	11.8
	Animal insemination (artificial and natural)	2	3.9
	Transportation	3	5.9
Abnormal behavior observed in horses during the pandemic	All	16	31.4
	Unrest	9	34.6
	Combativeness	11	42.3
	Inactive	3	11.5
	Low resistance	2	7.7
	All	1	3.8

N: The number of participants who responded

It is observed that they earn an average of 10-20 thousand \$ as annual earnings, and 70% of the participants did not receive any support from an institution during the pandemic period. They reported that their biggest financial losses during this period were racing competitions. They also reported that they are doing this profession as a source of livelihood at a high rate and that they will continue to do so. 70% of them reported that they did not receive any horsemanship-related training and 63% of them did not receive any specialist support. When asked about their expectations it was determined that they wanted the most technical staff and informative trainings.

When we ask what is the biggest problem in horse breeding most of them report that they have problems related to feeding and technical staff although they say a few problems together. When we asked about the diseases they saw in their horses during the pandemic period most of the participants reported that although there was no racing during this period orthopedic diseases were experienced in relation to performance.

According to the evaluations it is observed that horse breeders are mostly composed of high school graduates who are under the patronage of men as a gender and have an average age of 38. Although

similar results have been achieved in many studies (Martinson and Bartholomay 2009; Hartmann et al. 2017). found different results in terms of sex ratio (Martinson and Bartholomay 2009). Most of the information that they are raising in the profession of coming from the father and that they will continue has been confirmed from them.

There are differences in their economic levels and the number of horses is mostly seen in the range of 0-5. Similar results Tennah et al. (2014) it is seen in the study conducted in Algeria. In contrast to our study different results were obtained in the study conducted in New Zealand (Lillywhite and Wise 2009). It has been determined that they suffered losses especially performance due to their inability to participate in races during the pandemic period.

When the results are examined it is seen that universities where there is a very low level of education related to horse breeding do not have interviews with relevant departments and do not receive support or even do not even know that there is a department related to this topic in the city where they live.

### **Acknowledgements**

This study was supported by the Scientific Research Projects Coordination Unit of Necmettin Erbakan University ( NEUBAP 2023, 01).

### **Conflict of Interest Statement**

The authors have no conflicts of interest to declare.

### **Authors' Contributions**

The authors contributed equally to this study.

### **References**

- Can MF. An evaluation of horse racing revenues and factors affecting it. Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi 2015; 12(2): 123-131.
- Hartmann KS., Liburt NR., Malinowski K. Rutgers equine science center industry needs assessment survey 2016. Journal of Equine Veterinary Science, 2017; 48: 1-8.
- Kafesoğlu İ. Turkish national culture. Ötüken Neşriyat AŞ. 1977.
- Koppers W. Etnolojiye dayanan cihan tarihinin ışığı altında ilk türklük ve ilk indo germenlik. Belleten. 1941; 17(1): 439-480.
- Levine M. Botai and the origins of horse domestication. Journal of Anthropological Archaeology 18, Cambridge; 1999. <https://doi.org/10.1006/jaar.1998.0332>
- Lillywhite JM., Wise ME. Economic Impacts of racehorse ownership, breeding, and training on New Mexico's economy. New Mexico State University, Agricultural Experiment Station; 2009.
- Martinson K., Bartholomay T. Evaluating equine extension and outreach programs. Journal of Equine Veterinary Science 2009; 29(5): 454-455. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2009.04.149>

- Nesterov SP. Kon'v kul'tach tjurkojazyčnych plemen Central'noj Azii v èpochu srednevekov'ja. Nauka, Sibirskoe Otd. 1990.
- Sümer F. Horse riding and equestrianism in Turks. Turkic World Research Foundation 1983; 5.
- Tennah S., Farnir F., Kafidi N., Nsangou IN., Leroy P., Antoine-Moussiaux N. Selective breeding of Arabian and thoroughbred racehorses in Algeria: perceptions, objectives and practices of owners-breeders. Revista Brasileira de Zootecnia, 2014, 43, 188-196. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982014000400005>
- Zaharov SV.. K Vaprosu O Proishojdenii Botayskoy Kultury, Vestnik, Arheologii, Antropologii i Etnografii, No:1, Moskva, 2010.

## Effect of Microencapsulated Goat Clarified Butter on Free Fatty Acids and Physicochemical Properties in Cow Butter Production

Aslı ALBAYRAK KARAOĞLU<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Burdur Mehmet Akif Ersoy University Dairy Products and Technologies Application and Research Center, 15200, Burdur.

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-1636-148X>

\*Corresponding author: aalbayrak@mehmetakif.edu.tr

### Research Article

#### Article History:

Received: 19.10.2023

Accepted: 21.01.2024

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

Goat butter

Cow butter

Butter microencapsulation

Free fatty acids

### ABSTRACT

In the study, goat clarified butter was encapsulated using a concentric nozzle and the microencapsulation process. The cow creams were mixed with encapsulated goat clarified butter in various quantities and left for a week. The study looked at the physical and chemical qualities, as well as the levels of free fatty acids and  $\alpha$ -tocopherol, of cow butters that had different amounts of goat ghee microcapsules added to them. % Lactic acid, acid value, Polenske number and  $\alpha$ -tocopherol of cow butter all went up significantly, when encapsulated goat butter was added ( $p < 0,05$ ). There was no change in the amount of peroxide, the percentage of fat and the percentage of water. TBA value decreased inversely as  $\alpha$ -tocopherol level increased. Butters had been found to contain 18 free fatty acids. The highest concentrations of palmitic and myristic fatty acids were discovered. Goat butter contains a high concentration of oleic, caprylic, capric, and palmitic fatty acids. The amount of short and medium chain fatty acids has been discovered to be higher.

## Tereyağ Üretiminde Mikroenkapsüle Keçi Tereyağı Kullanılmasının Serbest Yağ Asitleri ve Fizikokimyasal Özellikler Üzerindeki Etkisi

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 19.10.2023

Kabul tarihi: 21.01.2024

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Keçi tereyağı

İnek tereyağı

Tereyağı mikroenkapsülasyonu

Serbest yağ asitleri

### ÖZ

Araştırmada keçi kremasından elde edilen sadeyağlar konsantrik nozelle kullanılarak mikroenkapsülasyon tekniği ile kapsülendirilmiştir. Konsantrik nozelle kullanılarak keçi sadeyağının mikroenkapsülasyonu yapılmıştır. İnek kremlerine farklı oranlarda kapsülendirilmiş keçi sadeyağı ilave edilmiş, bir hafta bekletilmiştir. Çalışmada farklı oranlarda kapsülendirilmiş keçi sadeyağı ilave edilmiş inek tereyağlarının fizikokimyasal özellikleri, serbest yağ asitleri ve  $\alpha$ -tokoferol düzeyleri karşılaştırılmıştır. Kapsülendirilmiş keçi sadeyağı ilave edilmesi ile inek tereyağlarının %laktik asit, asit değeri, Polenke sayısı ve  $\alpha$ -tokoferol önemli düzeyde artmıştır ( $p < 0,05$ ). Peroksit miktarı, % yağ içeriği ve % su içeriğinde herhangi bir değişiklik olmamıştır.  $\alpha$ -tokoferol düzeyinin artmasıyla ters orantılı olarak TBA değeri düşmüştür. Tereyağlarında 18 adet serbest yağ asidi tespit edilmiştir. Palmitik ve miristik yağ asitleri en yüksek düzeyde bulunmuştur. Keçi tereyağında oleik, kaprilik, kaprik ve palmitik yağ asidi düzeylerinin fazla olduğu görülmüştür. Kısa ve orta zincirli yağ asitleri miktarının daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



## **1. Introduction**

Butter is a dairy product that contains at least 82% milk fat and is made from milk, cream, and yoghurt (IDF, 2008). Milk cream is commonly used in the production of industrial butter. It is used to describe butter made from yoghurt using traditional methods, as there is no industrial production in our country. It is also possible to make it from goat, sheep, or buffalo milk. It has a pleasant and distinct flavor and aroma. It is easily digestible, soluble at body temperature, and contains essential fatty acids, vitamin A, and/or  $\beta$ -carotene. It is an important source of energy; short-chain fatty acids provide energy quickly and play an important role in human nutrition. TUIK (2022) figures show that 95655 kg of butter was produced. Seasonal fluctuations are known to impact the composition of milk. The scenario is found to effect the alteration in the monthly production amount of butter. The amount of butter produced falls during the summer months due to a drop in milk fat. The volume of butter produced in 2022 increased by 12,8% when compared to 2021.

The fat globules are small size in goat milk. It contains more vitamin A than other milks. Goat's milk butter is whiter because it contains less of the pigment carotenoids. Goat milk fat is composed of short-chain fatty acids like caproic, caprylic, and capric largely. These fatty acids give goat butter its characteristic aroma, flavor, and texture. (Barlowska et al., 2001; Poutzalis et al., 2016).

Albayrak Karaoğlu (2023) discovered that, semi-hard goat milk cheese is whiter than cow cheese. It was discovered that goat cheeses have higher levels of formic, succinic, and tartaric acid.

Previous research has shown that caprylic, capric, and short-chain fatty acids have therapeutic potential in managing several clinical conditions, including epilepsy, cystic fibrosis, coronary bypass surgery, gallstones, and poor newborn feeding (Kumar et al., 2012).

Because goat milk lacks agglutinins, it cannot form simple clumps during butter-making. Goat's milk fat has a soft consistency due to its lower melting point than cow's milk fat at room temperature (Pal et al., 2017).

Lipolysis and oxidation are undesirable during butter storage. As a result of these changes, the flavour of butter has changed significantly. Oxidation of lipids causes quality losses, including differences in appearance, shelf life, and nutritional profile (Öztürk and Çakmakçı, 2006).

Microencapsulation technology entails wrapping an active core material in a polymer to create tiny particles (microcapsules) with sizes ranging from 10-1000 nm (Corrêa-Filho et al., 2019). The main purpose of microcapsules is to encapsulate active substances so that their activity is not affected by the environment in which, they are used (Gonalves et al., 2016).

Encapsulation can be defined as the process of inserting one substance (internal phase, payload, or payload phase) into another (membrane, shell, capsule, carrier material, external phase, wall, or matrix) (Nedović et al., 2011; Vinceković et al., 2021).

Encapsulation technology was first introduced in the field of biotechnology to improve product efficiency (Vinceković and Jurić, 2022). Encapsulation technology is used in the food industry to improve the delivery of bioactive compounds (such as antioxidants, minerals, vitamins, phytosterols, lutein, fatty acids, lycopene, esters, aromas, and colors) and living cells (such as probiotics, yeast) in real food products (Vos et al., 2010; Belščak-Cvitanović et al., 2017; Jurić et al., 2021; Mrkonjić Fuka et al., 2021).

Encapsulation in biopolymeric particles has notable advantages, including enhanced food compatibility and safety due to the presence of polysaccharides, proteins, and lipids (Fathi et al., 2021).

Prepared microparticle formulations (microspheres/microcapsules) protect the active ingredients from the external environment. The microcapsule loses its effectiveness when it breaks down in a certain environment. This is its most distinctive feature. It can also boost bioavailability and prolong component release. It allows prolonged storage without activity loss (Li et al., 2019).

Microencapsulation reduces lipid autoxidation. Studies have demonstrated that microencapsulation can prevent oil oxidation and increase stability (Ribeiro and Veloso, 2021; Valle et al., 2021). Because they can keep lipids from oxidising, microencapsulated oils are better for storing (Ng et al., 2013). Microencapsulation of lipids can be accomplished using a variety of technologies or processes, the most common of which is emulsion-based systems (Decker et al., 2010). The microcapsules are transformed into a free flowing powder via spray drying or extrusion using various polymer agents.

Microencapsulated milk fat was developed by Keogh et al. (1999) according to the study, milk fat was converted into a more stable form, was protected from oxidation, and was efficient against spoiling.

Butter's physico-chemical properties depends on kinds of animal milk. In this study varying amounts of microencapsulated goat butter were mixed into cow cream. Cow butter was made from matured the cow creams. We analyzed effect of adding cow butter to microencapsulated goat butter. It has been attempted to expose the reflections of goat butter features on cow butter.

## **2. Material ve Methods**

### *2.1. Material*

Cow's and goat's milk creams were employed in this study. The creams were supplied by the Dairy Processing facility linked with the Burdur Mehmet Akif Ersoy University Dairy Products and Technologies Application and Research Center, as were the butters. Sigma Aldrich (USA) provided low viscosity sodium alginate (CAS Number: 9005-38-3; molecular weight: 80-120 kDa), while Merck provided calcium chloride (CAS Number: 10043-52-4, molar mass: 110,99 g/mol).

### *2.2. Microsphere preparation*

Sodium alginate was dissolved in 100 mL of distilled water using a magnetic stirrer. It was made with a 1% w/v concentration of sodium alginate. CaCl<sub>2</sub> concentration was prepared in the same manner as

sodium alginate concentration. 0,5 kg goat butter has been melted. The sediment was left at the bottom after it was filtered. The residue-free portion was filtered using filter paper. It was fed to the system at various rates with 1% sodium alginate.

The sodium alginate solution was subjected to a flow rate ranging from 5,5 to 7 mL/min. This was achieved by operating the encapsulator Büchi-B390, manufactured by BÜCHI Labortechnik AG in Switzerland, at a vibration frequency of 840 Hz and a pressure of 300 mbar. The encapsulation process was carried out using a Shell-core double-inlet nozzle head, with no additional heating used. The study conducted by Albayrak et al. (2017) determined the value of 1000 for the outer nozzle in a concentric nozzle system, while also considering the inner nozzle.

Microspheres were formed in the crosslinking solution under mechanical stirring, then washed several times with sterilized water and filtered through filter paper. Capsules were stored in deionized water until the next study.

### 2.3. Methods

As shown in Table 1, goat butters are encapsulated in three distinct formulations. 20 milliliter of melted goat butter was combined with 80 mL of 1% sodium alginate in the first group. The second group was blended with 50 mL of melted goat butter and 50 mL of sodium alginate at 1% concentration. 80 milliliter of melted goat butter was combined with 20 mL of 1% sodium alginate in the third group. Each formulation was separately homogenized using a magnetic stirrer (Daihan Scientific, Korea). As previously described, goat butters were encapsulated with Büchi-B390 using a concentric nozzle and the extrusion procedure. During microencapsulation, the core fluid (goat butter) and the shell fluid (1% sodium alginate) were simultaneously pumped into the concentric nozzle (300 µm /600 µm), at the vibration frequency (840 Hz), by the air pressure (300 mbar), to produce a core-shell fluid stream that was sprayed out of the nozzle.

**Table 1.** Formulations of Encapsulated Goat Butter

Methods	Formulations
1	Encapsulation of 20 mL of melted goat butter with 80 ml of 1% sodium alginate
2	Encapsulation of 50 mL of melted goat butter with 50 ml of 1% sodium alginate
3	Encapsulation of 80 mL of melted goat butter with 20 ml of 1% sodium alginate

#### 2.3.1. Butter Production

There were five types of butter produced. The first group, which was used as a control (T1), was made from 1 kg of 100% cow's cream. In the second group (T2), method 1 was used to add microencapsulated goat butter to 1 kg of cow cream. For Group 3 (T3), method 2 was used to add microencapsulated goat butter to 1 kg of cow cream. In the fourth group (T4), method 3 was used to add microencapsulated goat butter to 1 kg of cow cream. For Group 5 (T5) is produced from 1 kg of 100% goat's cream. Table 2 shows the groups that were made.

**Table 2.** Butter Production Groups

Groups	Production Method
T1	1 kg 100% cow's cream
T2	1 kg cow's cream+ Encapsulation of 20 mL of melted goat butter with 80 mL of 1% sodium alginate (50 g capsules)
T3	1 kg cow's cream Encapsulation of 50 mL of melted goat butter with 50 mL of 1% sodium alginate (50 g capsules)
T4	1 kg cow's cream+ Encapsulation of 80 mL of melted goat butter with 20 mL of 1% sodium alginate (50 g capsules)
T5	1 kg 100 % goat's cream

The creams in Table 2 matured after a week of addition of goat butter capsules. Then, they were malaxed separately in groups. Washed with cold water. 5 different butters were produced.

### 2.3.2. Chemical analysis

Titrate acidity (lactic acid, %), fat determination, and dry matter determination were analyzed according to (Anonymous, 2021). Downey (1975) was used to find the acid value and peroxide values. The Polenske number was arrived at using standard procedures (AOAC, 1995). Thiobarbituric acid value (TBA value) was determined as described by Öztürk and Çakmakçı (2006) as mg malonaldehyde/kg butter.

### 2.3.3. Determination of free fatty acids

*Sample preparation:* 30 mL of chloroform:methanol (2:1,v/v) was poured on 10 grammes of sample. It was incubated at 80°C for 2 hours after mixing 200 µL of extracted oil with 1 mL of 1,5 M methanolic HCl. After cooling to room temperature, the methyl esters of fatty acids were extracted using 1 mL of hexane and 0,5 mL of water (Yilmazer and Seçilmiş, 2006).

According to Yilmazer and Seçmiş (2006), free fatty acids in butters were analysed using a GC-MS system (mass spectrometry (MS) detector (Agilent 5975 C, Agilent Technologies, Wilmington, DE, USA) with integrated gas chromatography (GC) instrument (Agilent 7890A, Agilent Technologies, Wilmington, DE, USA).

The following GC operating conditions were used: detector: FID (Agilent Tech. Inc., CA, USA) at 240°C, column: DB WAX capillary column (fused silica, 50 m x 0,20 mm, 0,20 m film thickness; Chrompack, Midelburg, Netherlands).

The injection volume was 1 µL. Injection mode/volume: In Split Analysis, helium was utilised as the carrier gas, and the flow rate was set to 1 mL/min.

Temperature of the column oven 60°C for 4 minutes, then from 60°C to 175°C 13°C per minute temperature rise, hold at 175°C for 27 minutes, 4°C per minute temperature rise from 175°C to 215°C, and hold at 215°C for 5 minutes. Heat up from 215°C With a rate of 4°C per minute, it was set to reach 240°C and stay there for 15 minutes. It was set to 240°C for both the pump and the detection.

A standard mixture of fatty acid methyl esters (Supelco® 37 Component FAME Mix, Catalogue No: 47885 U, Sigma-Aldrich, USA) was used to identify fatty acids.

### 2.3.4. Determination of alpha-tocopherol

The HPLC technique of Havemose et al. (2004) was adapted for the analysis of  $\alpha$ -tocopherol. HPLC was used to analyse tocopherols ( $\alpha$ -tocopherol) by direct injection of samples in a heptane:tetrahydrofuran (THF) (95:5) solution. Tocopherols were detected and quantified using a Shimadzu CBM 20A prominence System controller (Kyoto, Japan), SIL-20AC HTA prominence Autosampler, LC-20AT prominence pump and RF-10AXL Fluorescence Detector (Ex 295 nm, Em 330 nm). The column Luna Silica (250\*4,6 mm, 5  $\mu$  Phenomonex, Torrance, USA) was employed. The temperature of the column was fixed to 40°C. The mobile phase was heptane/THF (95/5) (v/v) at 1,2 ml/min flow rate and 10  $\mu$ l injection volume.

Statistical analysis data were analyzed using SPSS version 10,0 statistical program (SPSS, 2017). One-way analysis of variance was made using the ANOVA.

### 3. Results and Discussion

Butter's titratable acidity is between 0,16% and 0,27%. The T5 sample showed the highest % lactic acid value. T5 butter differed from other butters in a statistically significant way ( $p < 0,05$ ). The Butter standard number TS 1331 says that butter should have no more than 0,27% lactic acid (Anonymous, 2021). Butter's acidity level, the cream's microbiological quality, pH level, lipolysis level, and animal species are all affected (Atamer, 2016).

**Table 3.** shows the results of the chemistry tests done on the samples.

Sample	Titratable acidity (%)	Fat(%)	Acid value (mg KOH/g fat)	Polenske number	PV (meq O <sub>2</sub> /kg fat)	Water content (%)	TBA value (mg malonaldehyde/kg fat)
T1	0,20±0,01 <sup>b</sup>	86,25±0,35 <sup>ab</sup>	1,68±0,01 <sup>a</sup>	1,15±0,07 <sup>b</sup>	0,04±0,01 <sup>a</sup>	13,85±0,80 <sup>a</sup>	0,21±0,02 <sup>a</sup>
T2	0,16±0,01 <sup>b</sup>	82,75±0,35 <sup>c</sup>	1,70±0,01 <sup>c</sup>	1,60±0,01 <sup>b</sup>	0,04±0,01 <sup>a</sup>	15,13±0,25 <sup>a</sup>	0,14±0,01 <sup>b</sup>
T3	0,18±0,01 <sup>b</sup>	87,75±0,35 <sup>a</sup>	1,74±0,20 <sup>a</sup>	1,45±0,21 <sup>a</sup>	0,04±0,01 <sup>a</sup>	16,37±0,25 <sup>a</sup>	0,13±0,01 <sup>b</sup>
T4	0,19±0,01 <sup>b</sup>	85,50±0,71 <sup>b</sup>	1,82±0,20 <sup>b</sup>	1,85±0,07 <sup>bc</sup>	0,04±0,01 <sup>a</sup>	16,44±0,16 <sup>a</sup>	0,12±0,02 <sup>b</sup>
T5	0,27±0,01 <sup>a</sup>	85,50±0,71 <sup>b</sup>	1,96±0,40 <sup>a</sup>	2,15±0,07 <sup>c</sup>	0,02±0,01 <sup>b</sup>	14,86±0,54 <sup>a</sup>	0,09±0,01 <sup>b</sup>

T1:1 kg 100% cow's cream, T2: 1 kg cow's cream+ Encapsulation of 20 ml of melted goat butter with 80 ml of 1% sodium alginate (50 g capsules), T3:1 kg cow's cream Encapsulation of 50 ml of melted goat butter with 50 ml of 1% sodium alginate (50 g capsules), T4:1 kg cow's cream+ Encapsulation of 80 ml of melted goat butter with 20 ml of 1% sodium alginate (50 g capsules), T5:1 kg 100 % goat's cream.

a-c\* Different letters indicate a significant difference in each line ( $p < 0,05$ ).

However, during butter production, the churning, washing and malaxing stages cause the components that affect acidity to be removed from the environment. For this reason, it is stated that the titratable acidity level is quite low (Walstra and Jenness 1984; Şenel 2006). It is well known that butter made from different kinds of animals has varying degrees of acidity.

Sağdıç et al. (2003) did a study on cow, sheep, and goat butter and found that cow butter had 0,24% acidity, sheep butter had 0,23% acidity, and goat butter had 0,25% acidity.

The acidity levels of buttermilk produced by cow, goat, and sheep milk were reported as %0,63, %0,32 and %0,21 respectively, by Atamer and Şenel (2007).

Şenel and Atamer (2015) found that the lactic acid% levels of butter made from the milk of three different animals were 0,97% for cows, 1,19% for goats, and 1,65% for sheep. This study says that

sheep's milk buttermilk has a higher amount of lactic acid. This is thought to be because the raw material has a much higher dry matter level.

Tahmas Kahyaoğlu and Çakmakçı (2018) discovered that cow butter contains 0,23% lactic acid and sheep butter has 0,32% lactic acid.

Butter samples have similar lactic acid levels to other research. Butter made from fresh milk, cream from two different animals, and lack of storage time are thought to produce small variations. Acidity is found to be affected, but not statistically significantly, when encapsulated goat butter is added to cow butter in certain proportions. It may be observed that the acidity rises in direct proportion to the ratio of encapsulated goat ghee. The encapsulating material however, is assumed to trap the components that affect acidity. As a result, it appears that the increase in lactic acid is less than the acidity of goat butter. The samples' fat content was found to range from 82,75% to 87,75%. The fat values of the T1, T2, and T3 samples were shown to be statistically different ( $p < 0,05$ ). T4 and T5 samples were found to have the same value.

The fat content shows similarities in the studies by Sağdıç et al. (2003), Rodriguez et al. (2003), and Tahmas Kahyaoğlu and Çakmakçı (2018). The fat content was found to be lower compared to the values reported by Eser (2019).

The degree of lipolysis is given as acid value in butter. It provides an estimate of the total free fatty acids produced by triglyceride hydrolysis. When the acid value reaches, rancid flavour and odour develop in fresh butter (Şenel, 2006; Sert, 2022).

While Şenel (2006) discovered that the acid values of churned butter ranged from 0,80 to 1,41 mg KOH/g fat, the acid values of cream butter were found to be between 1,05 and 2,19 mg KOH/g fat. In her statement, he mentioned that the rancid flavour became noticeable in cream butters when the acidity level increased.

Haddar (2017) discovered that churned butter had acid levels of 1,68 to 1,81 mg KOH/g fat during stored for 60 days. It was observed that samples with high acidity values had lower scores in sensory analysis. The acid value was discovered to be between 1,68 and 1,96 mg KOH/g fat of the samples. The acid value of butter has been affected by differences in raw materials at a  $p < 0,05$  level. The acid value of the T1 sample was measured to be 1,68 mg KOH/g fat. The study revealed a positive correlation between the quantity of encapsulated goat butter incorporated in the samples and the acid value. Notably, the T5 sample, which contained goat butter, exhibited the highest acid value among all the samples. The acid value can be affected by various factors, including the breed and species of the animal, the content of the butter, the technique of production, and the circumstances and processes involved in storage (Haddar, 2017). According to the study, the value of the T5 sample was shown to be different from other samples due to different animal species.

Sağdıç et al. (2004) analysed the acid values of butter made from the milk of cows, goats, and sheep. Cow butter had 0,67 mg KOH/g fat, goat butter had 0,64 mg KOH/g fat, and sheep butter had 0,92 mg KOH/g fat. Uraz (1972) found that the acidity level of butter made from the milk of Saanen and Kilis

goats 1,66 mg KOH/g fat. Butter produced from two different sheep's milk and one goat's milk in Saudi Arabia. Butter made from Nuami sheep's milk has 1,05 mg KOH/g fat, whereas butter made from Aardi goat's milk had 1,82 mg (Sawaya et al., 1984). Tahmas Kahyaoğlu (2014) found that, the acid value of butter made from cow, sheep, and goat milk was 0,84 mg KOH/g fat for cow, 0,83 mg KOH/g fat for sheep, and 0,76 mg KOH/g fat for goat. Tahmas Kahyaoğlu and Çakmakçı (2018) found that, cow butter has an acid value of 0,56 mg KOH/g fat, while goat and sheep butter had 0,45 mg KOH/g fat. However, it shows that the acid value of goat and sheep butter goes up more at the end of the storage time than that of cow butter.

The Polenske number indicates whether or not a different type of fat, either animal or vegetable, has been added. The Polenske number for butter made from milk fat only is between 1,0 and 3,3 (Anonymous, 2004). The Polenske number was determined to be 1,15-2,15 in the study, and the statistical difference was shown to be significant across all samples ( $p < 0,05$ ). Polenske number shows the amount of volatile and water-insoluble fatty acids (Ahmed et al., 2020). The Reichert-Meissl and Polenske numbers were used to determine the presence of short-chain fatty acids, according to Kurt et al. (2007). Tahmas Kahyaoğlu and Çakmakçı (2018) discovered that, goat butter had a higher Polenske number than cow and sheep butter. Polenske number in goat butter is 2.15; in cow butter, it was determined to be 1.25. He emphasised that, goat butter has less soluble and more insoluble fatty acids than cow butter. According to Karakuş (2022) ghee made from cow cream has a Polenske number of 1.20 whereas ghee made from sheep cream has a Polenske number of 2.70. During the year of storage, he also found that the Polenske population had increased. He explained that the Polenske number may rise if more low-molecular free fatty acids were present during storage. When microencapsulated goat butter was added to cow cream, it also changed the Polenske numbers of the samples. It was seen that Polenske numbers went up as more contained goat clarified butter was added. The results are similar with Sağdıç et al. (2004).

The peroxide value is a commonly used indicator of butter's level of lipolysis. It is an indicator of the amount of free fatty acids and their oxidative degradation (Bakırcı et al., 2004). Peroxide value was determined to be 0,04 meq  $O_2$ /kg fat, except T5 sample. The T5 sample had a peroxide value of 0,02 meq  $O_2$ /kg fat. There was a statistically significant difference between the T5 sample and the other samples ( $p < 0,05$ ). Lee (2020) found 1.69 and 1.82 meq peroxide/kg fat in salted and unsalted goat butter, respectively and found that, the peroxide value increased with storage. Pavlova et al. (2022) discovered that fresh and ripened goat butters had higher peroxide values than ripened butters. He claimed that, storing affects the peroxide value. Tahmas Kahyaoğlu (2014) determined, the peroxide value in cow butter after 30 days in the study on cow, sheep, and goat butter. The peroxide value of goat butter was found to be higher than sheep and cow butter. Şenel et al. (2011) found that, goat butter had a higher peroxide number than cow and sheep butter. Eser and İnanç (2022) found the peroxide value of buffalo butter as 1,94-2,01 meq  $O_2$   $kg^{-1}$ . In this study, the lower peroxide level might have been because the study used fresh cream and didn't store the samples for a long time. The water content of butter varies

between 13.85% and 16.44%. No significant difference was seen in water content between samples ( $p>0,05$ ). Similar results were obtained in various studies (Rodrguez et al., 2003; Sağdıç et al., 2004; Şenel et al., 2011; Kumar et al., 2012; Desouky, 2014).

The TBA value was discovered to between 0.09 and 0.21 mg malonaldehyde/kg fat. The difference between T1 and other samples was shown to be statistically significant ( $p<0.05$ ). The TBA value is used to determine the amount of malonaldehyde produced in the latter stages of oxidation. Hydroperoxides breakdown into malonaldehydes when oxidation grows during oil storage. Malonaldehydes are identified that cannot be discovered by peroxide analysis. TBA analysis determines oxidative spoilage in butter that has been kept for a long period of time (Anonymous, 2004; Anonymous 2005). The Turkish Food Codex Butter, Other Milk Fat-Based Spreads, and Ghee Communiqué and the Turkish Standards Institute TS 1331 Butter Standard include no information about TBA values (Anonymous, 2005; Anonymous, 2021).

Karakuş (2022) found TBA values of cow and sheep butter at the beginning of storage were in the range of 0,12-0,24 mg malonaldehyde/kg fat. This value was discovered to be 0.48-0.68 mg malonaldehyde/kg oil at the end of the storage period. Tahmas Kahyaoğlu (2014) explained that, the higher TBA value in sheep butter is due to the different fatty acid composition.

Tahmas Kahyaoğlu (2014) reported the TBA value of bovine butter as 0.01 mg malonaldehyde/kg fat, and sheep butter as 0.02 mg malonaldehyde/kg fat. Kamacı (2021) found the TBA values of butter samples ranged from 0.82 to 1,00 mg malonaldehyde/kg fat. In this research, TBA values were higher than Tahmas Kahyaoğlu (2014) and lower than Kamacı (2021). It is believed that the TBA value is minimal because the investigation did not include a storage phase.

**Table 4.** Values of the alpha-Tocopherol in the Samples

Sample	mg alpha- tocopherol/ 100 g oil
T1	5.160
T2	5.240
T3	8.626
T4	9.600
T5	12.650

T1:1 kg 100% cow's cream, T2: 1 kg cow's cream+ Encapsulation of 20 ml of melted goat butter with 80 ml of 1% sodium alginate (50 g capsules), T3:1 kg cow's cream Encapsulation of 50 ml of melted goat butter with 50 ml of 1% sodium alginate (50 g capsules), T4:1 kg cow's cream+ Encapsulation of 80 ml of melted goat butter with 20 ml of 1% sodium alginate (50 g capsules), T5:1 kg 100 % goat's cream.

The T5 sample had 12.650 mg/100g of alpha-tocopherol. The maximum concentration of alphatocopherol was found in goat butter. It was found in the T1 sample at the lowest amount. On the other hand, the T2-T3-T4 samples made from cow creams that have goat butter capsules added show that the amount of alpha-phatocopherol goes up as the capsule amount goes up. The amount of fat-soluble vitamins, like  $\alpha$ -tocopherol, in raw milk depends on how well the animal was fed and how long it was lactating. It was found goats of milk fed with hay, had higher  $\alpha$ -tocopherol levels (Laurent et al.,



2023). Lucas et al. (2008) discovered 0.4-3.70 mg/kg-1 of -tocopherol in Rocamadour cheese made from goat's milk.

The study analysed Njeguski-type cheeses made from cow, sheep, and goat milk. The cheeses made from goat milk had the highest amount of  $\alpha$ -tocopherol (Jokanovic et al., 2022). A study looked at market cow milk, raw cow milk, and raw goat milk. The study found that goat milk had the highest amount of  $\alpha$ -tocopherol (Sunarić et al., 2012). Eser and İnanç (2022) found the  $\alpha$ -tocopherol level in buffalo butter produced by different methods as 24,40-33,20 ng g<sup>-1</sup>. According to Eser (2019) the amount of  $\alpha$ -tocopherol in butters made from various types of creams was lower in buttermilk (25,2 ng/g) than in cream butters (28,8-31,6 ng/g).

**Table 5.** Fatty acid acid profiles of butters (w/w) %,

Fatty Acids	T1	T2	T3	T4	T5	RT
Butanoic acid methyl ester (C4:0)	0.980	0.290	0.543	0.485	0.580	10.01
Caproic acid methyl ester (C6:0)	1.102	1.089	1.219	1.268	2.161	17.8
Caprylic acid methyl ester (C8:0)	3.024	2.974	2.734	2.858	8.159	42.1
Undecanoic acid methyl ester (C11:0)	0.065	0.063	0.056	0.070	0.059	48.2
Lauric acid methyl ester (C12:0)	3.946	3.615	3.387	3.582	3.975	54.4
10-Undecenoic acid methyl ester (C11:1)	0.089	0.080	0.078	0.085	0.062	56.2
Tridecanoic acid methyl ester (C13:0)	0.145	0.138	0.129	0.133	0.093	60.0
Myristic acid methyl ester (C14:0)	14.577	12.871	12.322	13.010	10.878	66.0
Pentadecanoic acid methyl ester (C15:0)	2.752	2.443	2.314	2.416	1.487	66.7
Palmitic acid methyl ester (C16:0)	37.402	36.671	36.767	37.707	31.418	76.6
Palmitoleic acid methyl ester (C16:1)	0.639	0.805	0.735	0.790	0.822	79.3
Heptadecanoic acid methyl ester (C17:0)	0.570	0.783	0.749	0.798	1.082	80.8
Stearic acid methyl ester (C18:0)	0.874	0.835	0.818	0.863	0.877	84.3
Oleic acid methyl ester (C18:1)	20.658	22.876	23.065	25.009	25.043	85.9
Linoleic acid methyl ester (C18:2)	7.474	9.362	10.053	6.218	8.185	86.1
Linolenic acid methyl ester (C18:3)	1.694	1.756	1.757	1.999	1.886	87.1
Eicosanoicacid acid methyl ester (C20:0)	0.217	0.220	0.118	0.203	0.195	88.3
Total Fatty Acids (FA)	96.208	96.871	96.844	97.654	96.962	

T1:1 kg 100% cow's cream, T2: 1 kg cow's cream+ Encapsulation of 20 ml of melted goat butter with 80 ml of 1% sodium alginate (50 g capsules), T3:1 kg cow's cream Encapsulation of 50 ml of melted goat butter with 50 ml of 1% sodium alginate (50 g capsules), T4:1 kg cow's cream+ Encapsulation of 80 ml of melted goat butter with 20 ml of 1% sodium alginate (50 g capsules), T5:1 kg 100 % goat's cream.

It is well known that  $\alpha$ -tocopherol is a powerful fat-soluble antioxidant.  $\alpha$ -tocopherol has a positive effect on the oxidative stability of butter. Desouky (2014) studied the oxidative stability of goat butters by mixing in varying quantities of  $\alpha$ -tocopherol. They found, when  $\alpha$ -tocopherol content was raised, butter's oxidative stability improved noticeably. He said that, the peroxide value and TBA value drop with increasing levels of  $\alpha$ -tocopherol. The TBA value fell proportionally as the  $\alpha$ -tocopherol value increased in the study.  $\alpha$ -tocopherol is thought to have antioxidative properties.

Butter samples included a total of 18 fatty acids. Table 3 shows the average value of each fatty acid. Palmitic acid has the highest proportion in the samples, followed by myristic acid. The smallest amount of eicosanoicacid acid was found. Oleic, caprylic, caproic, palmitoleic, and heptadecanic acid concentrations were found higher in the goat butter sample T5 than in the other samples. It has been

shown that the levels of oleic, caprylic, caproic, and palmitoleic fatty acids rise when more encapsulated goat butter is added to the T2-T3-T4 samples. It is believed that goat butter's characteristics are transferred to cow butters when encapsulated goat butter is added.

Although palmitic and myristic acid levels were greatest in the T1 sample, which was cow butter, they were lowest in the T5 sample, which was goat butter. Both goat and cow butter have predominantly high levels of palmitic, oleic, and myristic acids, respectively T1 included 38,87% palmitic acid, 21,47% oleic acid, and 15,15% myristic acid of the total free fatty acids detected in cow butter. The fatty acid profile of goat butter T5 was found to be 32.4% palmitic acid, 25.78% oleic acid, and 11.21% myristic acid. This observation is similar to the findings of Şenel et al. (2011). The quantities of butyric, lauric, and stearic acid were found to be almost the same.

The high concentration of palmitic and myristic acid in goat butters studied by Sağdıç et al. (2004), Borková et al. (2015) and Akgül et al. (2020) is similar to the research.

Caproic fatty acid was found higher than Şenel et al (2011), Borková et al. (2015) ve Lee (2022) but lower than Sağdıç et al. (2004), Akgül et al. (2020) with Eser and İnanç (2022) at goat's butter sample (T5).

Caprylic fatty acid determined higher than Sağdıç et al. (2004), Şenel et al. (2011), Borková et al. (2015), Akgül et al. (2020), Lee (2022). Fatty acid profiles have correlations to milk fat profiles and nutritional status (Lee, 2020) with variances likely attributable to geographical location and feed diet.

**Table 6.** Fatty acid profiles of butters (w/w) %,.

Fatty Acids	T1	T2	T3	T4	T5
Short chain fatty acids (SCFAs)	2.082	1.379	1.762	1.753	2.741
Medium chain fatty acids (MCFAs)	3.024	2.974	2.734	2.858	8.159
Long-chain fatty acids(LCFAs)	91.102	92.518	92.348	93.043	86.062
SFA; saturated fatty acids	65.654	61.992	61.156	63.393	60.964
MUFA; monounsaturated fatty acids	21.386	23.731	23.878	26.044	25.927
PUFA2; polyunsaturated fatty acids	9.168	11.148	11.810	8.217	10.071
Unsaturated	30.554	34.879	35.688	34.261	35.998

T1:1 kg 100% cow's cream, T2: 1 kg cow's cream+ Encapsulation of 20 ml of melted goat butter with 80 ml of 1% sodium alginate (50 g capsules), T3:1 kg cow's cream Encapsulation of 50 ml of melted goat butter with 50 ml of 1% sodium alginate (50 g capsules), T4:1 kg cow's cream+ Encapsulation of 80 ml of melted goat butter with 20 ml of 1% sodium alginate (50 g capsules), T5:1 kg 100 % goat's cream.

Short chain fatty acids (SCFAs) and medium chain fatty acids (MCFAs) are found to be higher in the T5 sample than in the other samples. It had the lowest amounts of long chain fatty acids (LCFAs). The MCFAs value was found to be greatly higher than those of the other samples.

The mammary gland is responsible for the synthesis of short- and medium-chain fatty acids (C4-C14) as well as half of the palmitic acid (C16:0) found in milk fat. The remaining half of the C16:0 and the C18 and longer fatty acids in milk fat are acquired by the mammary gland through the blood supply, originating from either the diet or adipose tissue. (Walstra and Jenness, 1984; Grummer, 1991). The anatomical differences in the mammary glands of cows and goats are hypothesized to be reflected in the fatty acid content.

#### **4. Conclusion**

Various amounts of encapsulated goat clarified butter were added to cow creams in the study. Butters' physicochemical characteristics and free fatty acid variety were investigated. Butters' acidity, acid value, Polenske number, peroxide number, and TBA levels all differed significantly. It was found that there were no significant differences between the amounts of fat and water contents in butter samples. The acid value, Polenske number, and  $\alpha$ -tocopherol level increased as the encapsulated goat ghee ratio increased. The incorporation of goat ghee in capsules had a positive impact on the butters. It was determined that the goat butter sample contained higher levels of oleic, caprylic, caproic, palmitoleic, and heptadecanic acid than other samples. There is a belief that the presence of encapsulated goat ghee may have an antioxidative impact on samples of cow butter. The microencapsulation technology can be stated to have a good effect on delaying the oxidation of butter. Furthermore, it was discovered that the encapsulated goat ghee had no deleterious impacts on the level of free fatty acids. The microencapsulation approach has been shown to be effective for long-term storage of oils high in oleic, caprylic, and capric fatty acids, such as goat butter, against oxidation and lipolysis. It has been shown that the microencapsulation method can be used with oils. Different animal fats can be added to cow butter to make it healthier. These fats contain free fatty acids and  $\alpha$ -tocopherol, which are antioxidants. It gets better in terms of nutrition and performance.

#### **Acknowledgments**

I would like to thank Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Dairy Products and Technologies Application and Research Center, where the laboratory infrastructure is used.

#### **Author's Contributions**

The contribution of the authors is 100%.

#### **Conflict of interest**

I declare that there is no conflict of interest. Author Contributions: AAK designed the study, set up the trial, conducted the study, analyzed the data, and wrote the article.

#### **References**

- Ahmed S., Hamid MA., Rahman MM. Assessment of ghee adulterated with oils and fats in Bangladesh. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research* 2020; 7(4): 678.
- Akgül FY., Ceylan HG., Atasoy AF. Determination of fatty acids profiles and volatile compounds of cows' and goats' butters. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences* 2020; 4(1): 7-13.

- Albayrak A., Gün İ., Juric S., Kalit Tudor M., Kalit S. Süt ürünlerinde mikroenkapsülasyon tekniğinin uygulanması ve ürün kalitesine etkisi. *Süt Dünyası* 2017; 12(66): 48-63.
- Albayrak A. Some properties of semi-hard cheese made from cow's and goat's milk. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi* 2023; 27(2) : 265-276.
- Anonymous AOCS. *Official Methods And Recommended Practices Of The American Oil Chemists' Society*, 2nd Printing. AOCS Press, Champaign, IL (USA); 2004.
- Anonymous. *Türk Gıda Kodeksi Tereyağı, Diğer Süt Yağı Esaslı Sürülebilir Ürünler ve Sadeyağ Tebliği* 12.04.2005 tarih ve 19 sayılı Resmi Gazete, Ankara; 2005.
- Anonymous. *Tereyağ standardı. TS 1331, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.*10s; 2021.
- AOAC. *Official Method of Analysis*, 16th Edition, Washington, DC, USA; 1995.
- Atamer M. *Tereyağı teknolojisi uygulama kılavuzu*, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, 1314, *Uygulama Kılavuzu: 236, A.Ü. Halkla İlişkiler ve Yayın Ünitesi*, 1993; Ankara;
- Atamer M. *Tereyağı teknolojisi*. Sidas Medya Ltd.Şti. ISBN No: 978-605-5267-34-6; 1993
- Atamer M., Şenel E., Öztekin FŞ. Farklı tür sütlerden üretilen yayık tereyağlarının bazı nitelikleri, *Tübitak Projesi Sonuç Raporu*, Proje No:105 O 157, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bölümü, 2007, Ankara.
- Barłowska J., Sz wajkowska M., Litwinczu Z., Krol J. Nutritional value and technological suitability of milk from various animal species used for dairy production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2011; 10(6): 291-302.
- Belščak-Cvitanović A., Jurić S., Đorđević V., Barišić L., Komes D., Ježek D., Bugarski B., Nedović V. Chemometric evaluation of binary mixtures of alginate and polysaccharide biopolymers as carriers for microencapsulation of green tea polyphenols. *International Journal of Food Properties* 2017; 20(9): 1971-1986.
- Bakırcı I., Çelik S., Özdemir Ö. The effects of commercial starter culture and storage temperature on the oxidative stability and diacetyl production in butter. *International Journal of Dairy Technology* 2002; 55: 177-181.
- Borková M., Michnová K., Hyršlová I., Fantová M., Elich O. Changes in fatty acid profile of goat butter from goats fed algae. *Journal of Hygienic Engineering and Design* 2015; 13: 82-89.
- Corrêa-Filho L., Moldão-Martins M., Alves V. Advances in the application of microcapsules as carriers of functional compounds for food products. *Applied Sciences* 2019; 9(3): 571.
- Decker EA., Elias RJ., McClement DJ. *Oxidation in foods and beverages and antioxidant applications: management in different industry sectors*. United States: Elsevier; 2010.
- Deeth HC., Fitz-Gerald CH. Lipolytic enzymes and hydrolytic rancidity in milk and dairy products. In Fox P.F.(ed.) *Advanced Dairy Chemistry*. London: Chapman and Hal Lipids 1995; 2: 247-308.
- Desouky MM. Physico-chemical characteristics of traditional butter oil made from spontaneous fermentation of goats' milk. *Journal of Food and Dairy Sciences* 2014; 5(7): 459-479.
- Downey WK. *Butter quality*. Dublin, Published by An Foras Taluntais; 1975.

- Eser Hİ. Manda yayık ve krema tereyağının niteliklerinin belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği ABD. Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 60, Kahramanmaraş, Türkiye, 2019.
- Eser İH., İnanç AL. Farklı yöntemlerle Anadolu manda tereyağı üretimi. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi 2022; 19(1): 215-226.
- Fathi M., Vinceković M., Jurić S., Viskić M., Režek Jambrak A., Donsi F. Food-grade colloidal systems for the delivery of essential oils. Food Reviews International 2021;37(1): 1-45.
- Gonalves A., Estevinho BN., Rocha F. Microencapsulation of vitamin A: A review. Trend Food Science Technology 2016; 51: 76–87.
- Grummer RR. Effect of feed on the composition of milk fat. Journal of Food and Dairy Sciences 1991; 74: 3244-3257.
- Haddar M. Yayık Tereyağı üretiminde farklı kültür kullanım olanaklarının araştırılması. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Süt Teknolojisi Bölümü ABD Yüksek Lisans Tezi. sayfa no: 69, Ankara,Türkiye, 2017.
- Havemose MS., Weisbjerg MR., Bredie WL., Nielsen JH. Influence of feeding different types of roughage on the oxidative stability of milk. International Dairy Journal 2004; 14(7): 563-570.
- IDF (International Dairy Federation Nutritional quality of milkfat. International (Dairy Nutrition Website); 1-10; 2008.
- Jokanovic O., Markovic B., Mirecki S., Veljic M., Miloradovic Z., Radulovic A., Miocinovic J. Composition and a-tocopherol content of Njeguski-type cheese made from cow, ewe and goat milk. International Dairy Journal 2022; 134: 105469.
- Kamacı S. Tereyağı eritme sıcaklığının Şanlıurfa sadeyağının (Urfa yağı) kalite özelliklerine olan etkisinin araştırılması. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği ABD Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:88,Şanlıurfa, Türkiye, 2021.
- Karakuş MŞ. İnek ve koyun krema ve yoğurdundan üretilen tereyağların özellikleri ve bu tereyağlardan elde edilen sadeyağların depolama sırasında kalite kriterlerinde meydana gelen değişimlerin belirlenmesi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği ABD Doktora Tezi, sayfa no:236, Şanlıurfa, Türkiye, 2022.
- Kurt A., Çakmakçı S., Çağlar A. Süt ve mamülleri muayene analiz metotları rehberi. Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayın No: 257, Erzurum.
- Keogh MK., O'Kennedy TB. Milk fat microencapsulation using whey proteins. International Dairy Journal Sciences 1999; 9: 657-663.
- Kumar S., Kumar B., Kumar R., Kumar S., Khatkar SK., Kanawjia SK. Nutritional features of goat milk- a review. Indian Journal Dairy Sciences 2012; 65(4): 266-272.
- Laurent C., Caillat H., Girard CL., Ferlay A., Laverroux S., Jost J., Graulet B. Impacts of production conditions on goat milk vitamin, carotenoid contents and colour indices. Animal 2023; 17(1): 100683.

- Li T., Teng D., Mao R., Hao Y., Wang X., Wang J. Recent progress in preparation and agricultural application of microcapsules. *Journal of Biomedical Materials Research* 2019; 107(10): 2371-2385.
- Lee JH. Changes in flavor compounds and quality parameters of goat cream butter during extended refrigerated storage. *International Journal of Food Properties* 2020; 23(1): 306-318.
- Lucas A., Coulon JB., Agabriel C., Chilliard Y., Rock E. Relationships between the conditions of goat's milk production and the contents of some components of nutritional interest in Rocamadour cheese. *Small Ruminant Research* 2008; 74: 91-106.
- Mrkonjić Fuka M., Žgomba Maksimović A., Hulak N., Kos I., Marušić Radovčić N., Jurić S., Tanuwidjaja I., Karolyi D., Vinceković M. The survival rate and efficiency of nonencapsulated and encapsulated native starter cultures to improve the quality of artisanal game meat sausages. *Journal Food Science Technology* 2021; 58(1): 710-719.
- Nedović V., Kalusević A., Manojlović V., Lević S., Bugarski B. An overview of encapsulation technologies for food applications. *Proced Food Science* 2011; 1(1): 1806–1815.
- Ng SK., Jessie LYL., Tan CP., Long K., Nyam KL. Effect of accelerated storage on microencapsulated kenaf seed oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 2013; 90: 1023-1029.
- Öztürk S., Çakmakçı S. The effect of antioxidants on butter in relation to storage temperature and duration. *European Journal of Lipid Science and Technology* 2006; 108(11): 951-959.
- Pal M., Dudhrejya TP., Pinto S., Brahamani D., Vijayageetha V., Reddy YK., Kate P. Goat milk products and their significance. *Beverage & Food World*. 2017; 44(7): 21-25.
- Pavlova TA., Dunaev AV., Danilova ES. Technology of producing butter with long-term storage from goat milk. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 2022; 1052(1): 012047.
- Poutzalis S., Anastasiadou A., Nasopoulou C., Megale mou K., Sioriki E., Zabetakis I. Evaluation of the in vitro anti-atherogenic activities of goat milk and goat dairy products. *Dairy Science Technology* 2016; 96(3): 317-327.
- Ribeiro JS., Veloso CM. Microencapsulation of natural dyes with biopolymers for application in food: A review. *Food Hydrocolloids* 2021;112: 106374.
- Rodriguez A., Bunger A., Castro E., Sousa I., Empis J. Development and optimization of cultured goat cream butter. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 2003; 80: 987-992.
- Sağdıç O., Dönmez M., Demirci M. Comparison of characteristics and fatty acid profiles of traditional Turkish yayik butters produced from goats', ewes' or cows' milk. *Food Control* 2003; 15: 485–490.
- Sawaya WN., Khan PA, Al-Shalhat F. Physical and chemical characteristics of ghee and butter from goat's and sheep's milk, *Food Chemistry* 1982;14: 227-232.
- Sert D. Peyniraltı suyu ve yayıkaltından elde edilen kremalardan üretilen tereyağların nitelikleri. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Süt Teknolojisi ABD Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 92, Ankara, Türkiye,2022.

SPSS Statistics Student Version 16.0, 2017 SPSS Inc., Chicago, IL; 2017

- Sunarić S., Živković J., Pavlović R., Kocić G., Trutić N., Živanović S. Assessment of  $\alpha$ -tocopherol content in cow and goat milk from the Serbian market. *Hemjska Industrija*. 2012; 66(4): 559-566.
- Şenel E. Bazı üretim arametrelerinin yoğurttan üretilen yayık tereyağının nitelikleri üzerine etkisi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Süt Teknolojisi ABD Doktora Tezi, sayfa no:168, Ankara, Türkiye, 2006.
- Şenel E., Atamer M., Öztekin FŞ. The oxidative and lipolytic stability of Yayık butter produced from different species of mammals milk (cow, sheep, goat) yoghurt. *Food Chemistry* 2011; 127: 333-339.
- Şenel E., Atamer M. Yayık butter profiles from different species of mammals' milk, processing and impact on active components in food. Preedy, V.R.(ed.) *Processing and Impact on Active Components in Food*. Elsevier Science & Technology 2014; Chapter 26: 215-221.
- Tahmas Kahyaoğlu D. İnek, koyun ve keçi sütlerinden üretilen tereyağlarında depolama süresince uçucu bileşikler, oksidasyon stabilitesi ve diğer bazı kalite kriterlerinin belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği ABD Doktora Tezi, sayfa no:206, Erzurum, Türkiye, 2014.
- Tahmas Kahyaoğlu D., Çakmakçı S. Comparative study on some properties and oxidation stability during storage of butter produced from different animals' milk. *Gıda* 2018; 43(2): 283-293.
- Yılmaz M., Seçilmiş H. Bazı serbest yağ asitlerinin metanolik HCL ortamında türevlendirilmesindeki koşulların incelenmesi. III. Ulusal Analitik Kimya Kongresi, 2006, sayfa no:25, Çanakkale.
- TUIK. Süt ve Süt Ürünleri 2022 Verileri. 2022. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sut-ve-Sut-Urunleri-Uretimi-Aralik-2022-49484> . Erişim Tarihi: 05.04.2023.
- Uraz T. Saanen ve Kilis keçisi melezlerinin F1 döllerinde sütlerin bileşimi ile süt yağının fiziksel ve kimyasal konstantları üzerine araştırmalar. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları Bilimsel Araştırmalar ve İncelemeler 1972; 477: 278; Ankara.
- Valle JAB., Valle RDCSC., Bierhalz ACK., Bezerra FM., Hernandez AL., Lis Arias MJ. Chitosan microcapsules: Methods of the production and use in the textile finishing. *Journal of Applied Polymer Science* 2021; 138: 50482.
- Vinceković M., Jurić S., Marijan M., Viskić M., Vlahoviček-Kahlina K., Maslov Bandić L. Encapsulation of herb extracts (aromatic and medicinal herbs). In: Galanakis, C.M. (ed.) *Aromatic herbs in food: bioactive compounds, processing and applications*. Academic Press (Elsevier), Cambridge 2021; 263-322.
- Vinceković M., Jurić S. Application of encapsulation technology in the Agri-Food Sector. In: Jambrak, R.A. (ed.) *Nonthermal Processing in Agri-Food-Bio Sciences*. Cham: Springer International Publishing 2022; 469-490.

Vos P., Faas MM., Spasojevic M., Sikkema J. Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components. *International Dairy Journal* 2010; 20(4): 292-302.

Walstra P., Jenness R. Biosynthesis and secretion of milk. In Walstra, P., Jenness R., (eds.) *Dairy Chemistry and Physics*. John and Wiley & Sons: New York, NY, 1984; 12-26.





## Üniversite Öğrencilerinde Hedonik Açlık Durumları ile Bazı Değişkenler Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Tuğçe ORKUN ERKİLİÇ<sup>1\*</sup>, Bülent BAYRAKTAR<sup>2</sup>, Seda ÇELİKEL TAŞCI<sup>3</sup>, Yıldız ÇAKIR<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup>Bayburt Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, 69000, Bayburt

<sup>2</sup>Bayburt Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, 69000, Bayburt

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-2395-7561>

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2335-9089>

<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6578-9805>

<sup>4</sup> <https://orcid.org/0009-0005-4447-2485>

\*Sorumlu yazar: tugceoe@bayburt.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 25.10.2023

Kabul tarihi:21.01.2024

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Hedonik açlık  
Aşırı besin isteği  
Besin gücü ölçeği  
Beslenme  
Üniversite öğrencileri

### ÖZ

Hedonik açlık, enerji açığı olmadığında zevk almak için yemek yeme dürtüsüdür. Bu çalışma üniversite öğrencilerinde hedonik açlık durumları ile bazı değişkenler arasındaki ilişkinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın örneklemini Bayburt Üniversitesi'nin farklı bölümlerinde öğrenim gören 18-25 yaş arası 279 öğrenci oluşturmaktadır. Araştırmada öğrencilerin sosyodemografik bilgilerini sorgulayan bir anket ile besin gücü ölçeği kullanılmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde SPSS 26 istatistik paket programı kullanılmıştır. Verilerin analizinde Bağımsız örneklem t testi, One-Way ANOVA testi ve Pearson Korelasyon Analizi kullanılmıştır. Araştırma bulgularına göre; öğrencilerin yaş ortalaması 21,44±3,08, boy uzunluğu (cm) ortalaması 169,31±8,67, ağırlık (kg) ortalaması 64,77±12,58 idi. Besin Gücü Ölçeği (BGÖ) puan ortalamaları 3,19±0,66, BGÖ- Besin Bulunabilirliği alt boyut puan ortalamaları 2,81±0,85, BGÖ- Besin Mevcudiyeti alt boyut puan ortalamaları 3,35±0,82, BGÖ- Besinlerin Tadına Bakılması alt boyut puan ortalamaları 3,53±0,75 olarak belirlenmiştir. BGÖ- Besin Bulunabilirliği alt boyut puan ortalamaları ile cinsiyet arasında anlamlı bir fark tespit edilmiştir (p<0,05). BGÖ- Besinlerin Tadına Bakılması alt boyut puan ortalamaları ile cinsiyet arasında anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir (p<0,01). BGÖ- Besin Bulunabilirliği alt boyut puan ortalamaları kadın öğrencilerde yüksek iken, BGÖ- Besinlerin Tadına Bakılması alt boyut puan ortalamaları erkek öğrencilerde yüksek olduğu belirlenmiştir. BGÖ- Besin Mevcudiyeti ve BGÖ- Besinlerin Tadına Bakılması alt boyut puan ortalamaları ile sınıf düzeyleri arasında anlamlı bir fark bulunmuştur (p<0,01). Sınıf düzeyi değişkeni bakımından yapılan posthoc analizi sonucunda her iki alt boyut puan ortalamalarının 2. sınıf öğrencilerinin 3. sınıf öğrencilerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak obezitenin önlenmesi ve tedavi stratejilerinde hedonik açlıkla ilişkili faktörlerin belirlenerek birey açısından doğru beslenme programlarının oluşturulması yönündeki bilişsel davranışçı terapiler geliştirilmesi ve beslenme programları üzerine gerçekleştirilecek araştırmalar için katkı sağlayacağı ve faydalı olacağı düşünülmektedir.

## Examining the Relationship Between Hedonic Hunger States and Some Physiological Parameters in University Students

### Research Article

### ABSTRACT

---

**Article History:**

Received: 25.10.2023

Accepted: 21.01.2024

Published online: 25.06.2024

---

**Keywords:**

Hedonic hunger

Food craving

Power of food scale

Nutrition

University students

---

Hedonic hunger is the urge to eat for pleasure when there is no energy deficit. This study was carried out to examine the relationship between hedonic hunger states and some physiological parameters in university students. The sample of the research consists of 279 students between the ages of 18-25 studying in different departments of Bayburt University. In the research, a survey questioning the sociodemographic information of the students and a nutritional power scale were used. SPSS 26 statistical package program was used to evaluate the data. Independent Sample T test, One-Way ANOVA test and Pearson Correlation Analysis were used in the analysis of the data. According to the research findings; The average age of the students was  $21.44 \pm 3.08$ , the average height (cm) was  $169.31 \pm 8.67$ , and the average weight (kg) was  $64.77 \pm 12.58$ . Food Power Scale (FPS) mean score is  $3.19 \pm 0.66$ , FPS- Food Availability sub-dimension mean score is  $2.81 \pm 0.85$ , FPS- Food Present sub-dimension mean score is  $3.35 \pm 0.82$ , FPS- The average score of the Tasting of Food subscale was determined as  $3.53 \pm 0.75$ . A significant difference was detected between the FPS-Food Availability subscale score averages and gender ( $p < 0.05$ ). It was determined that there was a significant difference between FPS- Tasting Food subscale scores and gender ( $p < 0.01$ ). While the mean scores of the FPS- Food Availability subscale were high in female students, the mean scores of the FPS- Tasting of Food subscale were found to be high in male students. A significant difference was found between the mean scores of the FPS-Food Present and FPS-Tasting of Food subscales and grade levels ( $p < 0.01$ ). As a result of the posthoc analysis conducted in terms of the grade level variable, it was determined that the mean scores of both subscales were higher for 2nd grade students than 3rd grade students. As a result, it is thought that it will contribute and be beneficial to the development of cognitive behavioral therapies and research on nutrition programs to create correct nutrition programs for the individual by determining the factors related to hedonic hunger in obesity prevention and treatment strategies.

**To Cite:** Orkun Erkilic T., Bayraktar B., Celikel Tasci S., Cakir Y. Üniversite Öğrencilerinde Hedonik Açlık Durumları ile Bazı Değişkenler Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(3): 1153-1161.

## 1. Giriş

Hedonik açlık, fizyolojik bir ihtiyaç olmadan, mevcut olmayan yiyecekleri yeme isteği sonucunda, yiyeceklerden haz alma beklentisiyle ilişkili iştah artışıdır. Diğer bir ifadeyle enerji homeostazını sürdürmek için değil, aç olmadığı halde sadece zevk için yiyecek tüketimi ifade edilmektedir (Espel-Huynh ve ark., 2018). Besin tüketimini, hedonistik yani kortikolimbik sınır ağı ile motivasyonel, duygusal gibi psikolojik durumlar etkilemektedir (Van Buren ve Sinton, 2009). Tüketilen besinlerin lezzetli olması, beyinde ödül merkezleri ile dopamin, opioid ve kanabinoid reseptörlerini uyararak iştahın artmasına neden olmaktadır. Hedonik açlıkta lezzetli besin uyarımına bağlı olarak besini isteme ve besinin tadını beğenme olguları şekillenmektedir (Lowe ve Butryn, 2007). Besin tadını beğenme üzerinde GABAerjik ve opioid, besini isteme üzerinde mezolimbik dopaminerjik yolların rolü bulunmaktadır (Berridge, 2009). Duygusal durumlar tüketilen besinlerin miktarını ve kalitesini etkilemekle birlikte besin tüketiminin yanı sıra, daha sonraki besin seçimlerini etkileyebilecek duygusal sonuçlara da yol açmaktadır. Öğrencilerde sınav stresine bağlı olarak, baş ağrısı, dikkat dağınıklığı, mide bulantısı ile birlikte sınav esnasında bilginin hatırlanamaması, uyku bozukluğu, sinirlilik belirtileri gözlemlenmektedir. Bu gibi olumsuz durumlarda bireyler daha fazla besin tüketimine yönelmektedir. Olumsuz duygularla baş etmek amacıyla yiyecek tüketildiğinde, bu durum zamanla besinlere karşı aşırı

duyarlılığın ortaya çıkmasına neden olup hedonik açlığı tetikleyebilmektedir (Mason ve ark., 2020). Hedonik açlıktan kaynaklanan sık sık ve aşırı besin tüketimi; diyabet, obezite ve yeme bozuklukları gibi bir çok hastalığın şekillenmesine yol açabilmektedir (Lowe ve Butryn, 2007; Lee ve Dixon, 2017). Hedonik açlık, obezite gelişimini tetikleyen önemli bir etmendir (Berridge, 2009). Bu nedenle hedonik açlık durumunun değerlendirilmesi ve hedonik açlığı etkileyen etmenlerin belirlenmesi önem arz etmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

Mevcut çalışmaya başlamadan önce Bayburt Üniversitesi Etik Kurulu'ndan etik kurul onayı alınmıştır (Karar tarihi ve sayısı: 29.03.2023/90).

Çalışmaya, 18-25 yaşları aralığında Bayburt Üniversitesi'nin farklı bölümlerinde öğrenim gören 279 öğrenci dahil edilmiştir. Çalışmaya seçilen tüm öğrenciler gönüllülük esasına göre anket öncesi sözlü ve yazılı bilgilendirilip araştırmaya dahil edilmiştir. Öğrencilere yüz yüze görüşme yöntemiyle anket uygulaması yapılmıştır. Tüm öğrencilere temel sosyodemografik verileri sorgulayan bir anket ve besin gücü ölçeği (BGÖ) uygulanmıştır. BGÖ, bireylerin fizyolojik yönden ihtiyacı olmadığı halde lezzetli besinlerin bulunduğu ortamda besin ve beslenme ilgili duygu, düşüncelerinin değerlendirilmesi amacıyla uygulanmaktadır (Cappelleri ve ark., 2009). Ayrıca, besin bulunabilirliği, besin mevcudiyeti ve besinin tadına bakılması amacıyla kullanılmaktadır. Ölçeğin Türkçe uyarlama geçerlilik ve güvenilirlik çalışması Akçil ve Hayzaran tarafından yapılmıştır (Akçil ve Hayzaran, 2020). BGÖ içeriği 5'li likert ve toplamda 15 maddeden oluşmaktadır. Ölçek, "hiç katılmıyorum" ve "kesinlikle katılıyorum" gibi cevapları içermektedir. Ölçeğin değerlendirilmesinde her maddeye verilen cevaplar 1-5 aralığında puanlanmaktadır. BGÖ puanının yüksek olması, bireyin besine karşı hassasiyeti ile besinin birey üzerindeki psikolojik yönden etkili olduğu ifade edilmektedir. Diğer yandan bireye ait BGÖ puanındaki artış hedonik açlık düzeyindeki artışı göstermektedir. BGÖ değerlendirmesi, ankete katılım neticesinde elde edilen toplam puan, madde sayısına bölünüp 5 puan üzerinden yapılmaktadır. BGÖ ortalama puanı 2,5'in üzerine çıkması durumunda, bireyde hedonik açlık durumu olduğu ve besinden etkilenildiği bildirilmektedir. BGÖ bütünlüğü için Cronbach Alpha İç Tutarlılık Katsayısı 0,85 olarak bulunmuştur. BGÖ'nün alt boyutları için güvenilirlik katsayıları; 1. alt boyut (besin bulunabilirliği) için 0,80, 2. alt boyut (besinin mevcudiyeti) için 0,67, 3. alt boyut (besinin tadına bakılması) için 0,69 olarak saptanmıştır (Akçil ve Hayzaran, 2020). Mevcut çalışmada ölçeğin tamamına ait Cronbach Alpha İç Tutarlılık Katsayısı 0,87 olarak bulunmuştur. Alt boyutlar için güvenilirlik katsayıları sırasıyla; 0,83, 0,75, 0,78 olarak belirlenmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde SPSS 26 paket programı kullanılmıştır. Verilerin normal dağılıp dağılmadığı Skewness ve Kurtosis katsayılarının (-1) - (+1) aralığında olması ile değerlendirilmiştir (Hair ve ark., 2013). Tanımlayıcı istatistikler için sayı, yüzde, sürekli değişkenler için ortalama ( $\bar{X}$ ) ve standart sapma (SD) değerleri kullanılmıştır. Veriler normal dağıldığı için parametrik testler uygulanmıştır. Öğrencilerin tanıtıcı özellikleri ile ölçek puanlarını karşılaştırmada Bağımsız örneklem t testi ve One-Way ANOVA testi kullanılmıştır. Grup varyanslarının eşit olduğu

ikiden fazla gruplarda farkın hangi gruptan kaynaklandığını belirlemek için Tukey HSD öğrencilerin bazı özellikleri ile ölçek ve alt boyut puanlarının karşılaştırılmasında pearson korelasyon analizi kullanılmıştır. İstatistiksel anlamlılık düzeyleri  $p<0,001$  ve  $p<0,05$  olarak kabul edilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, üniversite öğrencilerinden oluşan bir örnekleme hedonik açlık ve bazı değişkenler açısından ilişkisi incelenmiştir. Çalışmaya katılan öğrencilerin yaş ortalaması  $21,44\pm 3,08$ , boy uzunluğu (cm) ortalaması  $169,31\pm 8,67$ , ağırlık (kg) ortalaması  $64,77\pm 12,58$  idi. Çalışmada Besin Gücü Ölçeği (BGÖ) puan ortalamaları  $3,19\pm 0,66$ , BGÖ- Besin Bulunabilirliği alt boyut puan ortalamaları  $2,81\pm 0,85$ , BGÖ- Besin Mevcudiyeti alt boyut puan ortalamaları  $3,35\pm 0,82$ , BGÖ- Besinlerin Tadına Bakılması alt boyut puan ortalamaları  $3,53\pm 0,75$  olarak bulunmuştur. Tablo 1’de öğrencilerin bazı özelliklerinin ölçek ve alt boyut puan ortalamaları ile karşılaştırılması yer almaktadır. BGÖ- Besin Bulunabilirliği alt boyut puan ortalamaları ile öğrencinin cinsiyeti arasında anlamlı bir fark belirlenmiştir ( $p<0,05$ ). BGÖ- Besinlerin Tadına Bakılması alt boyut puan ortalamaları ile öğrencinin cinsiyeti arasında anlamlı bir fark bulunmuştur ( $p<0,01$ ). BGÖ- Besin Bulunabilirliği alt boyut puan ortalamaları kadın öğrencilerde yüksek iken, BGÖ- Besinlerin Tadına Bakılması alt boyut puan ortalamalarının erkek öğrencilerde yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yaş ortalaması  $21,0\pm 1,68$  yıl olan 216 yetişkinin dahil edildiği bir çalışmada kadınların BGÖ puan ortalaması  $3,2\pm 0,84$  olup, erkeklerinkinden ( $2,7\pm 0,77$ ) daha yüksek olduğu bulunmuş ve kadın katılımcılarda hedonik açlık varlığının (%79,6) ve vücut ağırlık artışının (%61,1’inde), erkeklerden (sırasıyla %60,2 ve %60,2) daha fazla olduğu belirlenmiştir (Aydoğdu ve Köksal, 2023). 363 öğrencinin dahil edildiği yaş ortalaması  $21,3\pm 1,82$  olan bir çalışmada BGÖ puanı ve alt boyut puanlarının kadın öğrencilerde erkek öğrencilerden daha yüksek olduğu görülmekle birlikte aradaki puan farkları istatistiksel olarak anlamlı bulunmadığı tespit edilmiştir ( $p>0,05$ ). Bu durumun besinlerin kadın öğrencilerdeki hedonik etkisinin erkeklerden daha yüksek olduğunun göstergesi olduğu tahmin edilmektedir (Hayzaran, 2018). 18-42 yaş aralığında 466 üniversite öğrencisinin dahil edildiği başka bir çalışmada ise her iki cinsiyetin BGÖ puanları arasında anlamlı bir farklılık saptanmamıştır (Lowe ve ark, 2009). Bu çalışmada öğrencilerin lezzetli besinlerin oluşturduğu besin ortamında henüz besinlerin tadına bakılmadığı durumu belirten BGÖ- Besin Mevcudiyeti ve lezzetli besinlerin tamamen tüketilmeyip yalnızca tadına bakıldığını ifade eden BGÖ- Besinlerin Tadına Bakılması alt boyut puan ortalamaları ile sınıf düzeyleri arasında anlamlı bir fark tespit edilmiştir ( $p<0,01$ ).

**Tablo 1.** Öğrencilerin bazı özellikleri ile ölçek ve alt boyut puanlarının karşılaştırılması (N=279)

Değişkenler	N (%)	Besin Gücü Ölçeği ( $\bar{X}/SD$ )	Besin Bulunabilirliği ( $\bar{X}/SD$ )	Besinin Mevcudiyeti ( $\bar{X}/SD$ )	Besinin Tadına Bakılması ( $\bar{X}/SD$ )
<b>Cinsiyet</b>					
Kadın	179 (64,2)	3,18±,69	2,90±,82	3,29±,82	3,41±,73
Erkek	100 (35,8)	3,22±,60 t=-,573 p=,567	2,63±,88 t=2,532 p=,012*	3,44±,81 t=-1,469 p=,143	3,76±,73 t=-3,739 p=,000*
<b>Sigara kullanma durumu</b>					
Evet	62 (22,2)	3,22±,68	2,72±,91	3,43±,77	3,66±,78
Hayır	217 (77,8)	3,18±,65 t=,409 p=,683	2,83±,84 t=-,910 p=,363	3,32±,84 t=,918 p=,359	3,50±,74 t=-1,522 p=,129
<b>Sınıf düzeyi</b>					
1. sınıf <sup>1</sup>	114 (40,9)	3,28±,65	2,93±,85	3,44±,76	3,59±,75
2. sınıf <sup>2</sup>	42 (15,1)	3,31±,60	2,58±,96	3,64±,75	3,91±,67
3. sınıf <sup>3</sup>	104 (37,3)	3,09±,65	2,80±,80	3,20±,82	3,35±,71
4. sınıf <sup>4</sup>	19 (6,7)	2,95±,75	2,57±,82	2,94±1,06	3,41±,75
		F=2,904 p=,035	F=2,320 p=,076	F=5,071 <sup>a</sup> p=,002**	F=6,393 <sup>b</sup> p=,000**

\*Independent Sample T test

\*\*One-Way ANOVA

<sup>a</sup> Tukey HSD= 2>3, <sup>b</sup> Tukey HSD= 2>3

Tablo 2, öğrencilerin BGÖ- Besinin tadına bakılması alt boyut puan ortalamaları ile vücut ağırlıkları arasında pozitif, zayıf ve istatistiksel olarak anlamlı korelasyon bulunmuştur ( $p<0,01$ ). Çalışma bulgumuza benzer şekilde üniversite öğrencilerinin dahil edildiği başka bir çalışmada ortalama BKİ değerleri  $22,28 \pm 4,02 \text{ kg/m}^2$  olup, BKİ düzeyi yüksek öğrencilerde daha fazla hedonik açlık durumunun varlığı belirlenmiştir (Halaza, 2022). Yaş ortalaması  $37,95 \pm 12,30$  yıl olan 315 yetişkin bireyin katıldığı bir çalışmada ise, kadınların ortalama beden kütle indeksi (BKİ) değeri  $24,43 \pm 5,21 \text{ kg/m}^2$ , erkeklerin ise  $25,43 \pm 3,62 \text{ kg/m}^2$ 'dir (Şarahman, 2019). Zayıf bireylerin hedonik açlık düzeyi düşükken, kilosu yüksek bireylerin hedonik açlık düzeyi yüksek bulunmuştur. Vücut ağırlığındaki artış, BKİ düzeyindeki artışla doğru orantılıdır (Asan, 2023). Bu çalışmada vücut ağırlığı ile hedonik açlık durumları arasındaki ilişki istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ( $p>0,05$ ). Araştırma neticesinde hedonik açlık durumunu ile yaş, cinsiyet gibi değişkenlere bağlı olarak etkisini bildiren çalışma sonuçlarıyla uyumluluk göstermektedir (Ayyıldız ve ark., 2021; Ergen ve ark., 2023). Bu duruma gerekçe olarak üniversite öğrencilerinde yaş ve cinsiyete bağlı olarak üniversite öğrencilerde belirlenen hedonik açlığın durumu ile tüketilen besinlere bağlı olarak etkilenildiği, BGÖ skorlarındaki artışın sonucu olabileceği düşünülmektedir.

#### 4.Sonuç

Obezite küresel düzeyde başta diyabet, kanser, hipertansiyon gibi hastalıklar ile ilişkili olması nedeniyle prevalansı giderek artış gösteren önemli bir halk sağlığı sorunudur (Günaydınlı ve Kırbas, 2022; Işık ve ark., 2022). Bu nedenle tedavi süreçlerinde obeziteye yol açan etmenlerin belirlenmesi önem arz etmektedir (Akkuş ve Mermer, 2022). Mevcut çalışmada elde edilen veriler kapsamında, hedonik açlık üzerinde Besin Mevcudiyeti ve Besinlerin Tadına Bakılması alt boyut puan ortalamaları ile sınıf düzeyleri arasında anlamlı bir farklılık olduğu belirlenmiştir. Öğrencilerin BGÖ- Besinin tadına bakılması alt boyut puan ortalamaları ile boy uzunlukları ve ağırlıkları arasında pozitif, zayıf ve istatistiksel olarak anlamlı korelasyon bulunmuştur. Araştırmanın kapsamının Bayburt Üniversitesi'nin farklı bölümlerinde okuyan öğrencilerden oluşması nedeniyle bu çalışmanın sonuçları ülke boyutunda genellenememekte ve bu durum araştırmanın sınırlılığını oluşturmaktadır. Benzer bir araştırma planlayacak olan araştırmacıların, örnekleme daha geniş tutarak farklı değerlendirme araçları kullanması önerilmektedir. Hedonik açlığa yol açan durumlarının belirlenmesi ile bazı değişkenler arasındaki ilişkinin incelenmesine yönelik araştırmaların obezite ve buna bağlı sorunlar için tedbir alınmasında katkı sağlayacağı, öğrencilerin olumsuz duygusal ve psikolojik süreçlerinde, sınav döneminde doğru beslenme programlarının belirlenmesinde faydalı olabileceğini öngörmekteyiz.

**Tablo 2.** Öğrencilerin ölçek ve alt boyut puan ortalamaları ile boy uzunluğu ve ağırlıkları arasındaki ilişki

		<b>Boy Uzunluğu (cm)</b>	<b>Ağırlık (kg)</b>	<b>Besin Gücü Ölçeği</b>	<b>Besin Bulunabilirliği i</b>	<b>Besinin Mevcutiyeti</b>	<b>Besinin Tadına Bakılması</b>
<b>Ağırlık (kg)</b>	r	,715**	1				
	p	,000					
<b>Besin Gücü Ölçeği</b>	r	,068	,084	1			
	p	,256	,163				
<b>Besin Bulunabilirliği</b>	r	-,093	-,041	,829**	1		
	p	,122	,500	,000			
<b>Besinin Mevcutiyeti</b>	r	,117	,108	,795**	,446**	1	
	p	,051	,071	,000	,000		
<b>Besinin Tadına Bakılması</b>	r	,204**	,181**	,803**	,426**	,606**	1
	p	,001	,002	,000	,000	,000	

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

## **Teşekkür**

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı 2022/2 kapsamında 1919B012216970 başvuru numaralı proje ile desteklenmektedir. TÜBİTAK kurumuna teşekkürlerimizi sunarız.

## **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları birbirleri aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

## **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

## **Kaynakça**

- Akçil OK., Hayzaran M. Validation of the Turkish version power of the food scale (PFS) for determining hedonic hunger status and correlate between PFS and body mass index. *Malaysian Journal of Nutrition* 2020; 26(3): 369-377.
- Akkuş ÖÖ., Mermer M. Vardiyalı çalışan bireylerde hedonik açlık, yeme arzusu ve obezite riski: Kesitsel bir çalışma. *Mersin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi* 2022; 15(2): 370-381.
- Asan S. Adölesan sporcularda vücut kompozisyonu ile sürat arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Kafkas Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi* 2023; 3(3): 14-23.
- Aydoğdu GS., Köksal E. Pandemide gençlerde kronotip ve hedonik açlık ile yaşam tarzı ve beslenme durumu ilişkisi. *Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi* 2023; 7(3): 614-630.
- Ayyıldız F., Ülker İ., Yıldırım H. Hedonik açlık ve yeme davranışı ilişkisinin farklı beden kütlelerine yansımaları. *Beslenme ve Diyet Dergisi* 2021; 49(2): 9-17.
- Berridge KC. Liking'and 'wanting'food rewards: brain substrates and roles in eating disorders. *Physiology & Behavior* 2009; 97(5): 537-550.
- Cappelleri JC., Bushmakın AG., Gerber RA., Leidy NK., Sexton CC., Karlsson J., Lowe MR. Evaluating the power of food scale in obese subjects and a general sample of individuals: development and measurement properties. *International Journal of Obesity* 2009; 33(8): 913-922.
- Ergen D., Dokumacıoğlu E., Yıldız N. Beslenme ve diyetetik öğrencilerinin hedonik açlık durumlarının değerlendirilmesi: Artvin Çoruh Üniversitesi Örneği. *Haliç Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi* 2023; 6(3): 15-22.
- Espel-Huynh HM., Muratore AF., Lowe MR. A narrative review of the construct of hedonic hunger and its measurement by the power of food scale. *Obesity Science & Practice* 2018; 4(3): 238-249.
- Günaydınlı A., Kırbas ZÖ. Diyabetin tanı kriterleri ve etiyolojik sınıflandırılması. Ankara: Akademisyen Kitabevi, 2022.



- Hair JF., Black WC., Babin BJ., Anderson RE., Tatham RL. Multivariate data analysis: Pearson Education Limited. 2013.
- Halaza M. Üniversite öğrencilerinde hedonik açlık belirleyicilerinin değerlendirilmesi. Pamukkale Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:28, Denizli, Türkiye, 2022.
- Hayzaran M. Üniversite öğrencilerinin hedonik açlık durumlarının farklı ölçekler ile belirlenmesi. Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:18, Ankara, Türkiye, 2018.
- Işık HK., Odabaşı Aktaş E., Kırbaş ZÖ. Gebelik diyabeti ve diyabetik gebe; Ankara: Akademisyen Kitabevi, 2022.
- Lee PC., Dixon JB. Food for thought: Reward mechanisms and hedonic overeating on obesity. *Current Obesity Reports* 2017; 6: 353–361.
- Lowe MR., Butryn ML., Didie ER., Annunziato RA., Thomas JG., Crerand CE., Ochner CN., Coletta MC., Bellace D., Wallaert M., Halford J. The power of food scale. A new measure of the psychological influence of the food environment. *Appetite* 2009; 53(1): 114-118.
- Lowe MR., Butryn ML. Hedonic hunger: a new dimension of appetite. *Physiology & Behavior* 2007; 91(4): 432-439.
- Mason TB., Dunton GF., Gearhardt AN., Leventhal AM. Emotional disorder symptoms, anhedonia, and negative urgency as predictors of hedonic hunger in adolescents. *Eating Behaviors* 2020; 36, 101343.
- Şarahman C. Yetişkin bireylerin hedonik açlık durumlarını etkileyen faktörlerin incelenmesi. Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:61, Ankara, Türkiye, 2019.
- Van Buren DJ., Sinton MM. Psychological aspects of weight loss and weight maintenance. *Journal of the American Dietetic Association*, 2009.



## Kıl Keçilerinin Vücut Ölçülerini Kullanarak Canlı Ağırlıklarını Tahmin Etmede Kısmi En Küçük Kareler ve Temel Bileşenler Regresyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması \*

Seda AKYÜREK SAĞIR<sup>1\*\*</sup>, Suna AKKOL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, 6130, Ankara

<sup>2</sup>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, 65080, Van

<sup>1</sup><https://orcid.org/0009-0000-7493-9553>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-5123-7516>

\*\*Sorumlu yazar: seda.akyurek@gsb.gov.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 21.11.2023

Kabul tarihi:21.01.2024

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Canlı ağırlık tahmini

Kıl keçileri

Kısmi en küçük kareler

Temel bileşenler

Vücut ölçüleri

Çoklu bağlantı problemi

### ÖZ

Bu çalışmanın amacı, çoklu bağlantı probleminin varlığında kıl keçilerinde çeşitli vücut ölçüleri kullanılarak canlı ağırlıklarının tahmin edilmesinde Kısmi En Küçük Kareler (KEKK) ve Temel Bileşenler (TB) regresyon yöntemlerinin kullanılması ve çalışma verisi için en iyi tahmin yönteminin bulunarak sonuçların yorumlanması amaçlanmıştır. Bu amaçla, 119 baş dişi kıl keçisinden ölçümü yapılmış canlı ağırlıklar ve çeşitli vücut ölçüleri (cidago yüksekliği, sağrı yüksekliği, sırt yüksekliği, vücut uzunluğu, göğüs derinliği, göğüs genişliği ve göğüs çevresi) kullanılmıştır. 10 katmanlı çapraz doğrulama sonunda her iki yöntem için gizil faktör sayısı iki olmuştur. Açıklanan toplam varyans KEKK ile %82,10, TB ile %80,04 ve Hata Kareler Ortalaması (HKO) sırasıyla 0,213 ve 0,230 olarak elde edilmiştir. Buna göre, kıl keçilerinde çeşitli vücut ölçüleri kullanılarak canlı ağırlığın tahmin edilmesinde toplam açıklanan varyansın daha yüksek ve HKO'sunun daha düşük olması nedeniyle KEKK, TB regresyon yönteminden daha güvenilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ancak her iki yöntemde canlı ağırlıktaki değişimi açıklamada en yüksek etkiye sahip olan değişken göğüs çevresi olarak bulunmuştur. Dolayısıyla kıl keçilerinde canlı ağırlık üzerinde yapılacak seleksiyon çalışmalarında göğüs çevresinin önemli bir kriter olduğu bu çalışmada ulaşılan diğer bir sonuçtur.

## Comparison of Partial Least Squares and Principal Component Regression Methods for Estimating Body Weight of Hair Goats Using Body Measurements

### Research Article

#### Article History:

Received: 21.11.2023

Accepted: 21.01.2024

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

Live weight estimation

Hair goats

Partial least squares

Key components

Body measurements

Multiple connection problem

### ABSTRACT

The aim of this study was to use Partial Least Squares (PLS) and Principal Component (PC) regression methods to estimate body weights of hair goats using various body measurements in the presence of multicollinearity problem and to interpret the results by finding the best estimation method for the study data. For this purpose, measured body weights and various body measurements (withers height, rump height, back height, body length, chest depth, chest width and chest girth) of 119 female hair goats were used. After 10-fold cross-validation, the number of latent factors for both methods was two. The total variance explained were 82.10%, 80.04%, and mean square errors

\* Bu çalışma birinci yazarın ikinci yazarın danışmanlığında hazırladığı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

(MSE) were 0.213 and 0.230 for PLS and PC, respectively. Accordingly, it was concluded that PLS was more reliable than PC regression method in estimating body weight by using various body measurements in hair goats because of its higher total explained variance and lower MSE. However, chest girth was found to be the variable with the highest effect in explaining the change in body weight in both methods. Therefore, it is another conclusion reached in this study that chest girth is an important criterion in selection studies on body weight in hair goats.

---

**To Cite:** Akyürek Sağır S., Akkol S. Kıl Keçilerinin Vücut Ölçülerini Kullanarak Canlı Ağırlıklarını Tahmin Etmede Kısmi En Küçük Kareler ve Temel Bileşenler Regresyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(3): 1162-1176.

## 1. Giriş

Çoklu doğrusal regresyon analizi bir bağımlı (Y) ve birden çok bağımsız değişken ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ) arasındaki doğrusal ilişkinin belirlenmesi için kullanılır. Birçok araştırmacı regresyon denkleminde yer alan parametre tahminleri için yaygın olarak En Küçük Kareler (EKK) yönteminden faydalanmaktadır. Çoklu doğrusal regresyon analizinde bağımsız değişkenler arasında güçlü veya güçlüye yakın ilişkiler söz konusu olduğunda bağımsızlık varsayımı ihlal edilmiş olur. Bu varsayımın ihlali, çoklu bağlantı probleminin varlığının işareti olabilir. Bu nedenle çalışma verisi çoklu bağlantı belirteçleri dikkate alınarak incelenmektedir. Zira çoklu bağlantı problemi varlığında EKK kullanılarak elde edilen tahminler güvenilirliğini yitirmektedir (Montgomery ve ark., 2001; Albayrak, 2005; Çiftsüren ve Akkol, 2018).

Çoklu bağlantı problemi çeşitli çalışma alanlarındaki uygulamada sıklıkla ortaya çıkmaktadır (Ortabaş, 2001; Çankaya ve ark., 2009; Topal ve ark., 2010; Mendeş, 2011; Yılmaz ve ark., 2020). Araştırmacılar tarafından bu problemin üstesinden gelecek güvenilir tahminler elde etmek için kullanılan alternatif yöntemler vardır. Bu yöntemlerden birkaçı temel bileşenler (TB) (Hotelling, 1933) regresyonu, Ridge regresyon (Hoerl ve ark., 1975) ve Kısmi En Küçük Kareler (KEKK) regresyonudur. Çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden biri olan TB analizi tahmin yapma, veri indirgeme ve veri setini başka bazı analiz yöntemleri için hazırlama amaçları ile kullanılmaktadır. Bu teknik, başlangıçta birbirine bağımlı olan p değişkeni içeren bir yapının, daha az sayıda k ( $k \leq p$ ) yeni değişkene dönüştürülmesi prensibine dayanmaktadır. Bu dönüşüm sonucunda elde edilen k değişken, doğrusal, ortogonal ve birbirinden bağımsız özelliklere sahip olmaktadır. (Özdamar, 1999; Ersungur ve ark., 2007). KEKK regresyonu, çok değişkenli analizdeki çoklu bağlantı sorunlarına çözüm sunan bir yöntemdir. Bu metodoloji, başlangıçta birbirleriyle ilişkisiz ve daha küçük bir gizil değişken setini oluşturmak amacıyla bir boyut indirgeme prosedürü olarak çalışır. Daha sonra, bu türetilen gizil değişken seti, regresyon ya da sınıflama yöntemi olarak uygulanır. (Garthwaite, 1994; Abdi, 2003).

Çoklu bağlantı probleminin varlığı durumunda TB regresyon yöntemi (Graham, 2003; Albayrak, 2005; Voncina ve ark., 2005; Macciotta ve ark., 2006; Mendes, 2011; Eker, 2011) ve KEKK yöntemi (Korkmazoğlu ve Kemalbey, 2012; Oliveria ve ark., 2013; Ferrand-Calmels ve ark., 2014; Shaibu ve ark., 2015) araştırmacılar tarafından başarılı bir şekilde kullanılmıştır. EKK, TB ve Ridge

regresyonunun (RR) karşılaştırıldığı çalışmalarda TB ve Ridge regresyonun EKK yöntemine göre durağan ve güvenilir olduğu bildirilmiştir (Ortabaş, 2001; Albayrak, 2005; Topal ve ark., 2010; Abdelgadir ve Eledum, 2016; Firinguetti ve ark., 2016). KEKK ve RR yöntemlerini karşılaştırmış ve KEKK yöntemi ile en iyi sonuçlara ulaşıldığını ortaya koymuştur. Höskuldsson (1988), KEKK yönteminin maksimum indirgeme ile minimum değişken sayısını sağladığını göstermiştir. Helland (1988), TB'ye kıyasla KEKK regresyonu kullanıldığında, daha az sayıda bileşenle birlikte daha küçük hata kareleri ortalaması elde edildiğini göstermiştir. Ancak KEKK ve TB regresyon analizini karşılaştıran az sayıda çalışma mevcuttur (Godoy ve ark., 2014; Akyürek ve Akkol, 2018).

Bu çalışmanın amacı çoklu bağlantı probleminin varlığında EKK yöntemine alternatif olan KEKK ve TB regresyon yöntemleri karşılaştırmalı olarak inceleyip kıl keçilerinin canlı ağırlıklarını kullanarak canlı ağırlık tahmin etmede doğru ve güvenilir sonuçları veren yöntemin belirlenmesidir.

## 2. Materyal ve Metot

2013-2014 yılları arasında Denizli ilinde gerçekleştirilen Kıl keçisi ıslahı projesi kapsamında toplanan verilerden 4 yaşında 119 baş dişi kıl keçisine ait canlı ağırlıklar ve bazı vücut ölçüleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan modellerde canlı ağırlık (CA) bağımlı değişken ve vücut ölçüleri bağımsız değişken olarak incelenmiştir. Bağımsız değişkenler cidago yüksekliği (CY), sağrı yüksekliği (SAY), sırt yüksekliği (SY), vücut uzunluğu (VU), göğüs derinliği (GD), göğüs genişliği (GG) ve göğüs çevresi (GC) ölçümlerini kapsamaktadır. İstatistik analizler için SAS (9.4) paket programından faydalanılmıştır.

### 2.1. Kısmi En Küçük Kareler Yöntemi (KEKK)

Çoklu doğrusal bir regresyon modeli, aşağıdaki eşitlik ile tanımlanır.

$$y = \beta_0 + X\beta + \varepsilon \quad (1)$$

Eşitlikte  $y$ ,  $n \times 1$  boyutlu bağımlı değişkenlerin vektörü;  $\beta_0$ , bilinmeyen sabit;  $X$ ,  $n \times p$  boyutlu  $p$  adet bağımsız değişkenler vektörü;  $\beta$ ,  $p \times 1$  boyutlu regresyon katsayıları vektörü ve  $\varepsilon$ ,  $n \times 1$  boyutlu hata vektörüdür. Hataların ortalaması sıfır ve varyansı  $\sigma^2$  olan benzer ve bağımsız normal dağılıma sahip olduğu varsayılır. Merkezileştirilen bir  $y$  vektörü 2 numaralı eşitlikte verilmiştir.

$$y = X\beta + \varepsilon \quad (2)$$

Bağımlı değişken sayısı iki ve daha fazla olduğunda denklem 3 numaralı eşitlikteki gibi olur.

$$Y = X\beta + E \quad (3)$$

Burada  $q$  bağımlı değişken sayısıdır ve  $Y$ ,  $n \times q$  boyutlu bağımlı değişken matrisi;  $B$ ,  $p \times q$  boyutlu bilinmeyen regresyon katsayıları matrisi ve  $E$   $n \times q$  boyutlu hata matrisidir. Çok değişkenli KEKK regresyon yönteminde ayrıştırma 4 ve 5 numaralı eşitlikte verildiği gibi olur.

$$X = TP' + E \quad (4)$$

$$Y = UQ' + F \quad (5)$$

Eşitliklerde yer alan  $T$  ve  $U$  skor matrislerini,  $P$  ve  $Q$  yük matrislerini,  $E$  ve  $F$  ise hata matrislerini göstermektedir. KEKK regresyonda katsayılar 6 numaralı eşitlikler kullanılarak elde edilir (Phatak ve De Jong, 1997).

$$X = t_1 p'_1 + t_2 p'_2 + \dots + t_p p'_p = \sum_{i=1}^p t_p p'_i = TP' \quad (6)$$

Burada  $t_i$   $X$ 'in doğrusal bir kombinasyonu ve  $p_i$   $p \times 1$  boyutlu yük vektörüdür KEKK regresyonu için tahmin denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$T_m = XR_m \quad (7)$$

$$P_m = X'T_m(T'_m T_m)^{-1} \quad (8)$$

$$R_m = W_m(P'_m W_m)^{-1} \quad (9)$$

Burada  $m$  gizil faktör sayısını gösterir. Tek değişkenli KEKK regresyon yönteminde tahmin denklemi aşağıda verilen eşitlikteki gibi yazılır.

$$\hat{y}_{PLS}^m = T_m(T'_m T_m)^{-1} T'_m y \quad (10)$$

Burada,  $T_m = XR_m$ ,  $X'y = X'X\hat{\beta}_{OLS}$  ve  $\hat{\beta}_{OLS} = (X'X)^{-1}X'Y$  yazıldığında tahmin denklemi 11 numaralı eşitlikteki gibi olur.

$$\hat{y}_{PLS}^m = XR_m(R'_m X'XR_m)^{-1} R_m X'X\hat{\beta}_{OLS} \quad (11)$$

KEKK regresyonda katsayılar vektörü 12 numaralı eşitlik kullanılarak elde edilir.

$$\hat{\beta}_{PLS} = R_m(R'_m X'XR_m)^{-1} R'_m X'X\hat{\beta}_{OLS} \quad (12)$$

Burada  $P_m = X'XR_m(R'_m X'XR_m)^{-1}$  yazıldığında eşitlik 12 deki denklem aşağıdaki gibi 13 numaralı eşitlik olarak yeniden yazılabilir.

$$\hat{\beta}_{PLS} = R_m P'_m \hat{\beta}_{OLS} = W_m (P'_m W_m)^{-1} P'_m \hat{\beta}_{OLS} \quad (13)$$

## 2.2. Temel Bileşenler Analizi

Eşitlik 1'de verilen regresyon eşitliği için p adet bağımsız değişken vektörleri  $X_1, X_2, \dots, X_p$  eşitlik 14'deki gibi sunulmuştur.

$$X_1 = \begin{bmatrix} x_{11} \\ x_{21} \\ \vdots \\ x_{i1} \\ \vdots \\ x_{n1} \end{bmatrix}, X_2 = \begin{bmatrix} x_{12} \\ x_{22} \\ \vdots \\ x_{i2} \\ \vdots \\ x_{n2} \end{bmatrix}, \dots, X_j = \begin{bmatrix} x_{1j} \\ x_{2j} \\ \vdots \\ x_{ij} \\ \vdots \\ x_{nj} \end{bmatrix}, \dots, X_p = \begin{bmatrix} x_{1p} \\ x_{2p} \\ \vdots \\ x_{ip} \\ \vdots \\ x_{np} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Temel Bileşenler analizinde bağımsız değişkenler arasında çoklu bağlantı sorunu olduğunda yapılan döndürme işlemi ile birbirinden bağımsız yeni koordinat sistemi elde edilmeye çalışılır. Dolayısıyla p sayıda bağımsız değişkene sahip bir veri setinden en fazla p kadar temel bileşen elde edilmektedir. Aşağıda verilen 15 numaralı eşitlikte bağımsız değişkenler matrisine ait p adet temel bileşen verilmiştir (Morrison, 1967; Tatlıdil, 1996; Shrestha ve Kazama, 2007; Widodo ve ark., 2007).

$$\begin{aligned} Y_1 &= t_{11}X_1 + t_{12}X_2 + \dots + t_{1p}X_p \\ Y_2 &= t_{21}X_1 + t_{22}X_2 + \dots + t_{2p}X_p \\ &\vdots \quad \quad \quad \vdots \\ Y_p &= t_{p1}X_1 + t_{p2}X_2 + \dots + t_{pp}X_p \end{aligned} \quad (15)$$

Burada  $Y_1, Y_2, \dots, Y_p$  p adet temel bileşeni;  $t_{pp}$  i'ninci temel bileşen için j'ninci değişkenin ağırlığını ifade etmektedir. Birinci temel bileşenin toplam varyans içindeki açıklama miktarı en yüksek olup diğer bileşenlerde bu miktar giderek azalmaktadır. Temel bileşen ağırlıklarının  $t_{pp}$  kareleri toplamının 1 olması  $(t_{i1}^2 + t_{i2}^2 + \dots + t_{ip}^2) = 1$  ( $i = 1, 2, \dots, p$ ) yani değişkenlerin standartlaştırılması gerekir. Ayrıca temel bileşen ağırlıklarının  $(t_{i1}^2 t_{j1}^2 + t_{i2}^2 t_{j2}^2 + \dots + t_{ip}^2 t_{jp}^2) = 0$  (her  $i \neq j$  için) olması gerekir. Bir diğer ifade ile değişkenlerin ölçeğinin belirlenmesi gerekir.

Bağımsız değişkenler matrisine ilişkin varyans ve kovaryans matrisi, özdeğer ve özvektörleri bulunduktan sonra p adet bağımsız değişkenin doğrusal bileşenleri elde edilebilir (Ludwig ve Reynolds, 1988; Alpar, 1997). Bağımsız değişkenlerin varyans-kovaryans matrisi S olmak üzere her bir temel bileşenin varyans ve kovaryansı sırasıyla,

$$\begin{aligned} Var(Y_i) &= t_i' S t_i, & i &= 1, 2, \dots, p \\ Cov(Y_i, Y_k) &= t_i' S t_k & i, k &= 1, 2, \dots, p \end{aligned} \quad (16)$$

olur ve p adet özdeğer için,  $\lambda$ 'nın p, dereceden polinomu elde edilmektedir.

$$|S - \lambda I| = 0 \quad (17)$$

Bu polinom p adet özdeğerleri içerir. Bu özdeğerler büyüklüklerine göre  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$  şeklinde ifade edilir. Bu bileşenlerin varyansı özdeğere eşit olup bunun bir sonucu olarak varyanslar da aynı sıralamaya sahip olmaktadır. Dolayısıyla sıralamada yer alan ilk bileşenin varyansı da en büyüktür ve toplam toplam varyans içinde en büyük orana sahiptir (Tatlídil, 1996; Skrbic ve Onjia, 2007).

### 3.Bulgular ve Tartışma

Çalışmada Kıl keçilerinden alınan canlı ağırlık ve bazı vücut ölçülerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 1'de ve bu ölçümler arasındaki korelasyonlar, tolerans değeri (TV) ve varyans şişirme faktörü (VIF) Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 1'de CA, GG, SAY, CY, SIY, GD, GC ve VU değişkenlerinin ortalama ve standart hataları sırasıyla 53,34±0,90, 20,08±0,18, 78,82±0,43, 81,28±0,46, 76,71±0,43, 33,84±0,20, 89,57±0,53 ve 75,23±0,37 olduğu görülmektedir. CA ve çalışmada kullanılan tüm vücut ölçülerine varyasyon katsayıları %5,41 ila %17,17 arasında değerler almaktadır.

**Tablo 1.** Kıl keçilerinde canlı ağırlık ve vücut ölçülerine ait tanımlayıcı istatistikleri

Özellikler	n	$\bar{X}$	S	$S_{\bar{X}}$	CV	Minimum	Maksimum
CA	119	57,34	9,85	0,90	17,17	38,00	86,45
GG	119	20,08	1,96	0,18	9,77	15,00	25,00
SAY	119	78,82	4,68	0,43	5,94	64,00	89,00
CY	119	81,28	5,00	0,46	6,16	67,00	95,00
SIY	119	76,71	4,70	0,43	6,13	62,00	88,00
GD	119	33,84	2,13	0,20	6,29	28,00	39,00
GC	119	89,57	5,75	0,53	6,42	75,30	106,00
VU	119	75,23	4,07	0,37	5,41	65,00	86,00

CA: Canlı ağırlık, GG: Göğüs genişliği, SAY: Sağrı yüksekliği, CY: Cidago yüksekliği, SIY: sırt yüksekliği, GD: Göğüs derinliği, GC: Göğüs çevresi, VU: vücut uzunluğu, n: gözlem sayısı,  $\bar{X}$ : Ortalama, S: Standart sapma,  $S_{\bar{X}}$ : Standart hata, CV: Varyasyon katsayısı

**Tablo 2.** Kıl keçilerinde canlı ağırlık ve vücut ölçüleri arasındaki korelasyonlar, TV ve VIF değerleri

	CA	GG	SAY	CY	SIY	GD	GC	VU	TV	VIF
CA	1									
GG	0,543 ***	1							0,641	1,561
SAY	0,455 ***	0,318 ***	1						0,033	30,410
CY	0,474 ***	0,309 ***	0,955 ***	1					0,074	13,502
SIY	0,428 ***	0,311 ***	0,980 ***	0,949 ***	1				0,035	28,944
GD	0,815 ***	0,458 ***	0,466 ***	0,475 ***	0,443 ***	1			0,248	4,038
GC	0,883 ***	0,591 ***	0,484 ***	0,495 ***	0,474 ***	0,854 ***	1		0,211	4,733
VU	0,722 ***	0,328 ***	0,497 ***	0,546 ***	0,454 ***	0,638 ***	0,617 ***	1	0,461	2,169

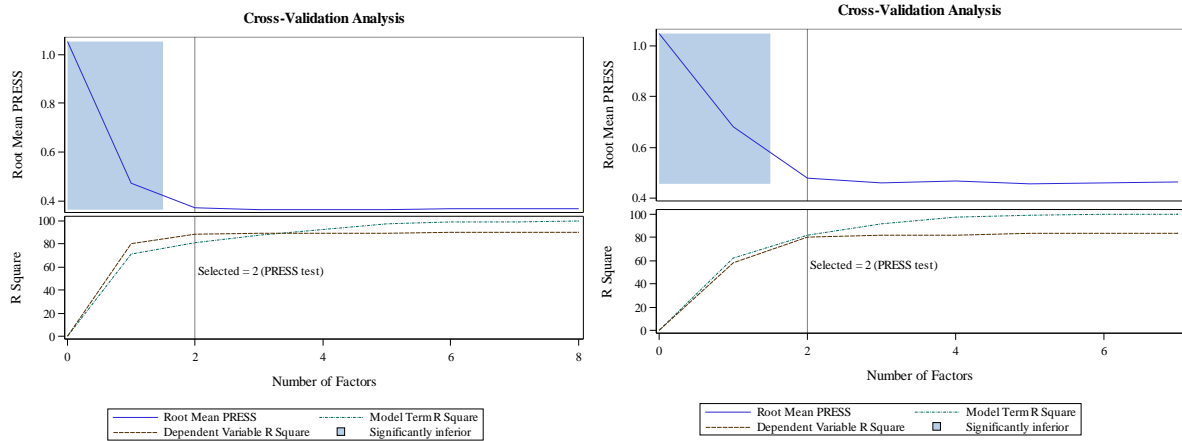
CA: Canlı ağırlık, GG: Göğüs genişliği, SAY: Sağrı yüksekliği, CY: Cidago yüksekliği, SIY: sırt yüksekliği, GD: Göğüs derinliği, GC: Göğüs çevresi, VU: vücut uzunluğu, TV: Tolerans değeri, VIF: Varyans şişirme faktörü. \*\*\*: P<0,01

Tablo 2’de, CA ve incelenen tüm özellikler arasındaki Pearson korelasyon katsayılarının pozitif ve anlamlı olduğu ( $p<0,01$ ) görülmektedir. Bu sonuçlar literatür ile uyumlu olmuştur (Ünalın ve Ceyhan, 2017; Karadağ ve Soysal, 2018). CA ile incelenen vücut ölçümleri arasındaki en yüksek korelasyon GC arasında olup bu değer %88,3 olarak bulunmuştur. Bu bulgu, daha önce yapılmış çalışmaların sonuçları ile tutarlı olmuştur (Pesmen ve Yardımcı, 2008; Cam ve ark., 2010; Tsegaye ve ark., 2013; Das ve Yadav, 2015; Sam ve ark., 2016; Akyürek ve Akkol, 2018). Tüm vücut ölçüleri arasında pozitif ve anlamlı korelasyonlar tespit edilmiştir. Özellikle CY ile SAY, SIY ile SAY, SIY ile CY ve CG ile GD arasındaki ilişki miktarı sırasıyla %95,5, %98,0, %94,9 ve %85,4 olup güçlü korelasyonları işaret etmektedir. Bu güçlü ilişkiler nedeniyle cevap değişkenlerinin bağımsızlığı varsayımı tartışılmalı hale geldiği için (Montgomery ve ark., 2001; Albayrak, 2005; Akyürek ve Akkol, 2018) çalışma verisinde çoklu bağlantı varlığı araştırılmıştır. Bu amaçla çoklu bağlantı belirleyicilerinden VIF ve TV değerleri Tablo 2’de sunulmuştur. Buna göre bazı değişkenlerin 10’ dan büyük VIF değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu değişkenler ve VIF değerleri, SAY için VIF=30,410 CY için VIF= 13,502 ve SIY için VIF=28,944 elde edilmiştir. Aynı değişkenler için TV değerleri sırasıyla 0,033, 0,074, 0,034 olup sıfıra yakın olduğu tespit edilmiştir. Morfolojik özelliklerden SAY, CY ve SIY ve için VIF>10 ve TV<0,10 olması nedeniyle çalışma verisinde çoklu bağlantı sorunu olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Marquardt ve



Snee, 1975; Belsley, 1991; Alpar, 2011; Akyürek ve Akkol, 2018; Sahin ve ark., 2018; Iqbal ve ark., 2019).

Çalışma verisinde çoklu bağlantı varlığı uygun analiz tekniklerinin kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir. Zira çoklu bağlantı varlığında regresyon katsayılarının standart hataları büyüdüğü ve sonuçların güvenilir olmadığı bildirilmektedir (Montgomery ve ark., 2001; Albayrak, 2005; Topal ve ark., 2010). Bu çalışmada çoklu bağlantı probleminin üstesinden gelebilen yöntemlerden KEKK ve TB regresyon yöntemleri kullanılmıştır. 10 katmanlı çapraz doğrulama yapılarak elde edilen optimum gizil faktör sayılarının seçimine ilişkin görsel Şekil 1’de gösterilmiştir. Görselde KEKK ve TB için gizil faktör sayısının 2 olarak seçildiği izlenmektedir. Literatürde boyut indirgeme konusunda KEKK’nin TB’den daha etkin olduğu bildirilmiş olsa da (Maitra ve Yan, 2008; Akyürek ve Akkol, 2018) çalışmamızda her iki yöntem boyut indirgeme konusunda benzer sonuç üretmiştir. Bu bulgu, Helland (1988)’ın yaptığı çalışmanın sonuçları ile uyumlu olmuştur. Zira Helland KEKK regresyon yönteminin TB’den daha az sayıda gizil faktöre sahip olacağını bildirmiştir.



Şekil 1. KEKK ve TB regresyon analizinde çapraz doğrulama ve gizil faktör seçimi

Gizil faktör sayısının seçimine ilişkin HKO ve açıklanan varyans oranları Tablo 3’te sunulmuştur. Buna göre iki gizil faktörlü KEKK regresyon yönteminde hata kareler ortalaması 0,213 ve iki gizil faktörlü TB’de 0,230 olmuştur. HKO bakımından KEKK regresyonda TB’e göre bir miktar daha az olduğu söylenebilir. Gizil faktör sayısında herhangi bir kısıtlama yapılmadığı durumlarda KEKK ve TB tarafından elde edilen tahmin hatalarının birbirlerinden çok farklı olmadığı bildirilen literatür ile bu çalışmanın bulguları uyumlu olmuştur (Wentzell ve Montoto, 2003). KEKK yönteminde birinci gizil faktör ile toplam varyans büyük oranda açıklanmış olup bu miktar %70,12 olup ikinci gizil faktör toplam varyansın %11,38’ini açıklamaktadır. Dolayısıyla iki gizil faktörlü KEKK yöntemi tarafından açıklanan toplam varyans %82,10 olmuştur (Tablo 3). TB regresyon analizi sonuçlarına göre birinci gizil faktör ile toplam varyansın % 58,54’ü, ikinci gizil faktör ile % 21,50’si ve toplamda %80,04’ü açıklanmıştır. İki yöntem HKO ve varyans açıklama oranları bakımından karşılaştırıldığında daha küçük HKO ve daha yüksek varyans açıklama oranına sahip KEKK yönteminin TB’den daha güvenilir sonuçlar ürettiği

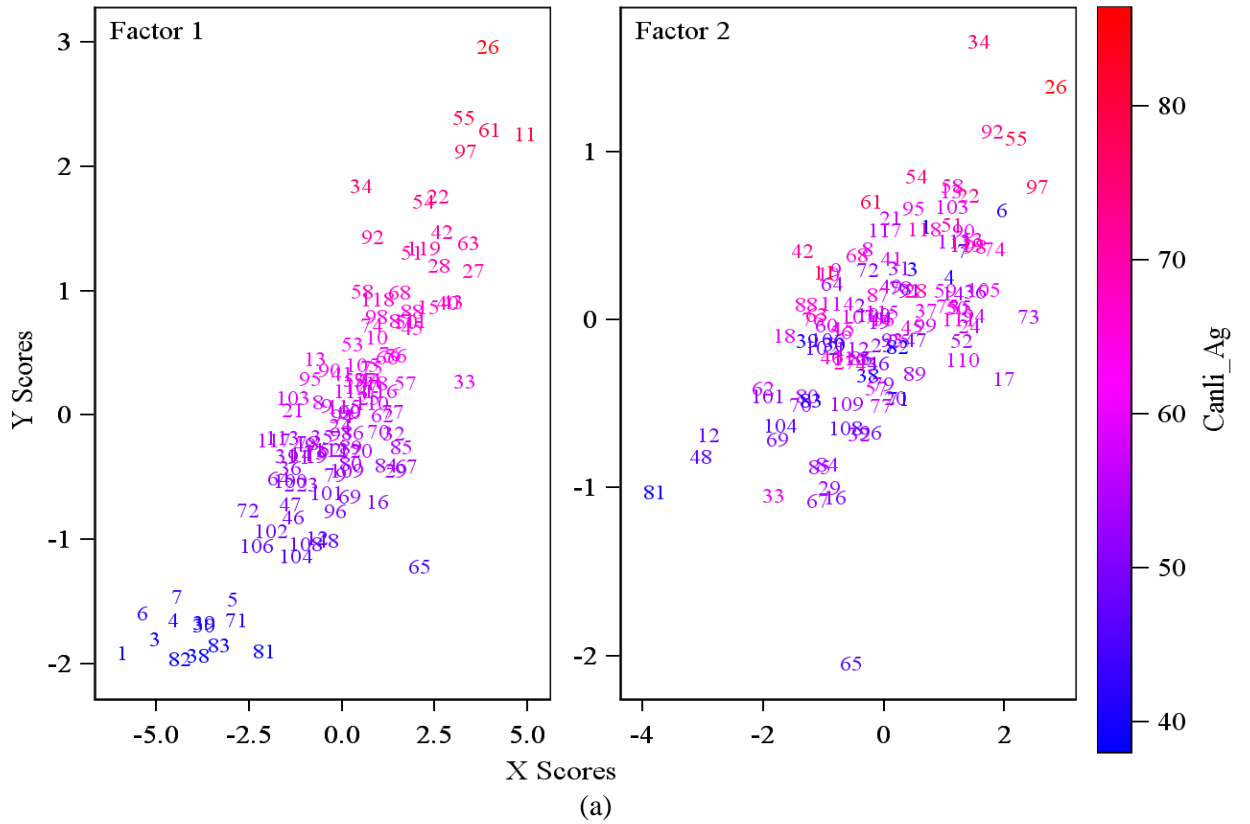
sonucuna varılmıştır. Bu bulgu literatürle uyumlu bulunmuştur (Helland, 1988; Godoy ve ark., 2014; Akyürek ve Akkol, 2018).

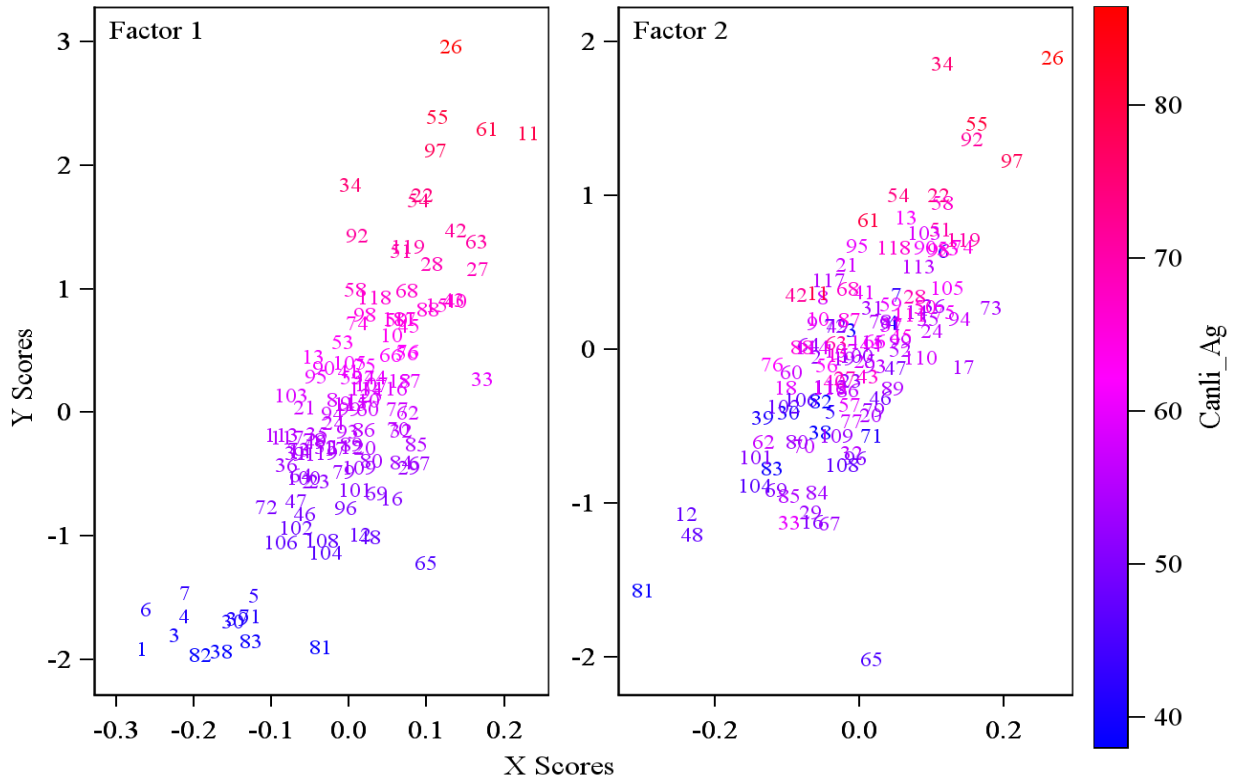
**Tablo 3.** KEKK ve TB regresyon için model uyum kriteri ve gizil faktör sayıları

Yöntem	Gizil faktör sayısı	HKO	$\sqrt{HKO}$	Açıklanan varyans	Toplam açıklanan varyans
KEKK	1	0,332	0,576	70,715	70,715
	2	0,213	0,462	11,384	82,099
TB	1	0,463	0,680	58,540	58,540
	2	0,230	0,479	21,498	80,038

*HKO*: Hata kareleri ortalaması,  $\sqrt{HKO}$ : Hata kareleri ortalamasının karekökü

CA ile gizil faktörde yer alan açıklayıcı değişkenler arasındaki korelasyon görselleri KEKK ve TB regresyonu için sırasıyla Şekil 2 (a) ve (b)'de verildi. Her iki yöntemde de birinci gizil faktörde CA ile modeldeki açıklayıcı değişkenler arasındaki ilişkinin daha güçlü olup ikinci gizil faktörde bu ilişkinin azaldığı görülmüştür. Zira her iki yöntemin birinci gizil faktörü tarafından açıklanan varyans oranları ikinci gizil faktörlerden daha yüksektir (Tablo 3). Şekilde TB analizine ait ikinci gizil faktördeki korelasyon KEKK'ye göre daha büyük olduğu gözlenmiştir. Bu durum TB'de ikinci gizil faktörün KEKK yönteminden daha fazla varyasyonu açıklaması bulgusuyla uyumludur.





(b)

**Şekil 2.** KEKK (a) ve TB (b) regresyonu için gizil faktörlerin korelasyon grafiği

KEKK ve TB regresyon yöntemlerinin gerçek gözlemlere yakınlığını değerlendirmek amacıyla Kıl keçilerinin ölçülen CA değerleri ile her iki yöntemden elde edilen tahmin değerleri arasındaki korelasyonlar ve tamamlayıcı istatistiklerle birlikte Tablo 4’de sunulmuştur. Her iki yöntemde ortalama CA değerinin aynı olup gözlenen CA değerine eşit olduğu görülmektedir. KEKK’ de standart sapma değeri TB’den daha yüksek ve gözlenen değerlerden daha düşük olmuştur. Gözlenen değerler ile KEKK yöntemi kullanılarak yapılan tahmin değerleri arasındaki korelasyon %90,6 iken TB ile olan korelasyon %89,5 olmuştur. Bu sonuç, çalışma verisini KEKK regresyon yönteminin TB’den daha iyi açıkladığını gösteren diğer bir bulgudur.

**Tablo 4.** Gözlenen CA ile KEKK ve TB ile tahmin edilen CA arasındaki korelasyonlar

	N	Ortalama	Std. sapma	Minimum	Maksimum	CA	p
CA	119	57,345	9,847	38,000	86,450	1,000	
CA ile KEKK	119	57,345	8,922	34,740	80,598	0,906	***
CA ile TB	119	57,345	8,810	35,229	80,889	0,895	***

\*\*\*:P<0,001

Çalışma verisine KEKK ve TB regresyon analizleri uygulandıktan sonra tahmin edilen katsayılar ile standardize edilmiş katsayılar Tablo 4’de sunulmuştur. Her iki yöntemde de CA’daki değişimi açıklamada en yüksek katkıya sahip vücut ölçüsünün göğüs çevresi (GC) olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen bu bulgu önceki çalışmalarla uyumlu olmuştur (Pesmen and Yardımcı, 2008; Cam ve ark.,

2010; Tsegaye ve ark., 2013; Das ve Yadav, 2015; Sam ve ark., 2016; Akkol, 2018). KEKK’de en düşük etkiye sahip vücut ölçüsü CY olurken TB’de SAY olmuştur.

**Tablo 5.** KEKK ve TB regresyon için elde edilen regresyon katsayıları

Özellikler	KEKK		TB	
	Std. $\beta$	$\beta$	Std. $\beta$	$\beta$
Sabit	0,0	-101,441	0,0	-98,670
GG	0,173	0,867	0,260	1,303
SAY	-0,015	-0,031	-0,003	-0,007
CY	-0,003	-0,005	0,006	0,011
SIY	-0,031	-0,065	-0,013	-0,027
GD	0,304	1,408	0,297	1,374
GC	0,356	0,610	0,308	0,527
VU	0,258	0,624	0,208	0,503

Std.  $\beta$ : Standardize edilmiş regresyon katsayısı;  $\beta$ : regresyon katsayısı.

#### 4.Sonuç

Çoklu doğrusal regresyon analizinde EKK yöntemi uygulama ve yorumlamadaki kolaylığı nedeniyle tercih edilen bir yöntem olmuştur. EKK yönteminin uygulanabilmesi için geçerli olan varsayımlardan biri açıklayıcı değişkenlerin bağımsızlığı varsayımının sağlanamaması durumunda çoklu bağlantı problemi ortaya çıkmaktadır. Güvenilir sonuçların elde edilebilmesi için çoklu bağlantı problemini dikkate alan yöntemlerin kullanılması önerilmektedir. Bu araştırmada kıl keçilerinde çeşitli vücut ölçüleri kullanılarak canlı ağırlık tahmini yapılmıştır. Çoklu bağlantı problemi tespit edilen çalışma verisi için bu problemi dikkate alan KEKK ve TB regresyon yöntemleri kullanılmıştır. HKO, varyans açıklama oranları ve gerçek ile tahmin edilen canlı ağırlıklar arasındaki korelasyonlar dikkate alındığında KEKK yönteminin TB regresyon yönteminden daha güvenilir sonuçlar ürettiği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada hayvancılık alanında çoklu bağlantı probleminin varlığı tespit edilen verilerin analiz edilmesinde KEKK regresyon yönteminin sıklıkla kullanılan TB regresyon analizine iyi bir alternatif olduğu ortaya koyulmuştur. Bununla birlikte canlı ağırlıktaki değişimi açıklamada en yüksek etkiye sahip olan değişken her iki yöntemde de göğüs çevresi (GC) olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla kıl keçilerinde canlı ağırlık üzerinde yapılacak seleksiyon çalışmalarında GC'nin önemli bir kriter olduğu bu çalışmada ulaşılan bir diğer sonuçtur.

#### Teşekkür

Bu çalışmayı FYL-2018- 6792 proje numarası ile destekleyen Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı'na desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

### **Kaynakça**

- Abdelgadir GA., Eledum HA. Comparison study of ridge regression and principal component regression with application. *International Journal of Research* 2016; 3(8): 283.
- Abdi H. Partial least square regression (PLS) regression. *Encyclopedia for Research Methods For The Social Sciences* 2003; 6(4): 792-795.
- Akyürek S., Akkol S. Yumurta iç kalite özelliklerinin kısmi en küçük kareler regresyonu kullanılarak tahmin edilmesi. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences* 2018; 28(4): 473-481.
- Akkol S. The prediction of live weight of hair goats through penalized regression methods: LASSO and adaptive LASSO. *Archives Animal Breeding* 2018; 61(4): 451-458
- Albayrak AS. Çoklu doğrusal bağlantı halinde en küçük kareler tekniğinin alternatifi yanlı tahmin teknikleri ve bir uygulama. *Sosyal Bilimler Dergisi* 2005; 1(1): 106-126.
- Alpar R. Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel yöntemler. Ankara: Detay yayıncılık; 2011.
- Alpar R. Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel yöntemlere giriş. Ankara: Bağırhan yayınevi; 1997.
- Belsley DA. Conditioning diagnostics: Collinearity and weak data in regression. Wiley-interscience. 1st edition; 1991.
- Cam MA., Olfaz M., Soydan E. Body measurements reflect body weights and carcass yields in karayaka sheep. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances* 2010; 5(2): 120-127.
- Çankaya S., Altop A., Kul E., Erener G. Faktör analiz skorları kullanılarak karayaka kuzuları da canlı ağırlık tahmini. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi* 2009; 24(2): 98-102.
- Çiftsüren MN., Akkol S. Prediction of internal egg quality characteristics and variable selection using regularization methods: Ridge, LASSO and elastic net. *Archives Animal Breeding* 2018; 61(3): 279-284.
- Das SK., Yadav BPS. Productive performance of Jamunapari goat under semi intensive system of management. *Indian Journal of Animal Research*. 2015; 49(2): 254-257.
- Eker S. Regresyon analizinde çoklu bağlantı durumunda en küçük kareler: Ridge regresyon ve temel bileşenler yaklaşımlarının karşılaştırılması. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi sayfa: 11-36 Samsun, Türkiye, 2011.
- Ersungur Ş., Kızıltan M., Özgür AP. Türkiye'de bölgelerin sosyo-ekonomik gelişmişlik sıralaması: Temel bileşenler analizi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi* 2007; 21(2): 55-66.
- Ferrand-Calmels M., Palhière I., Brochard M., Leray O., Astruc JM., Aurel MR., Douguet M. Prediction of fatty acid profiles in cow, ewe, and goat milk by mid-infrared spectrometry. *Journal of Dairy Science* 2014; 97(1): 17-35.

- Firinguetti L., Kibria G., Araya R. Study of partial least squares and ridge regression methods. *Journal Communications in Statistics Simulation and Computation* 2016; 46(8): 6631-6644.
- Garthwaite PH. An interpretation of partial least squares. *Journal of the American Statistical Association* 1994; 89(425): 122-127.
- Godoy JL., Vega JR., Marchetti JL. Relationships between PCA and PLS regression. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 2014;130: 182-191.
- Graham MH. Confronting multicollinearity in ecological multiple regression. *Ecology* 2003; 84(11): 2809–2815.
- Helland IS. On the structure of partial least squares regression. *Journal Commun Statist Simula* 1988;17(2): 581-607.
- Hoerl AE., Kennard RW., Baldwin KF. Ridge regression: Some simulations. *Communication in Statistics* 1975; 4(2): 105-123.
- Hotelling H. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology* 1933; 24(7): 498-520.
- Höskuldsson A. PLS regression methods, *Journal of Chemometrics* 1988; 2(3): 211- 228.
- Iqbal F., Ali M., Huma ZE., Raziq A. Predicting live body weight of Harnai sheep through penalized regression models. *Journal of Animal and Plant Sciences* 2019; 29(6).
- Karadağ O., Soysal Mİ. Honamlı keçilerinin bazı, döl verimi, büyüme ve morfolojik özelliklerinin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi* 2018; 15(1): 135-142.
- Kemalbay G., Korkmazoğlu OB. Effect of multicollinearity on electricity consumption forecasting using partial least squares regression. *Procedia- Social and Behavioral Sciences* 2012; 62: 1150-1154.
- Ludwig JA., Reynolds JF. *Statistical ecology*. USA A Wiley-Interscience publication. 1988.
- Macciotta NP., Dimauro C., Bacciu N., Fresi P., Cappio-Borlino A. Use of a partial least-squares regression model to predict test day of milk, fat and protein yields in dairy goats. *Animal Science* 2006; 82(04): 463-468.
- Maitra S., Yan J. Principal component analysis and partial least squares: Two dimension reduction techniques for regression. *Casualty Actuarial Society Discussion Paper Program* 2008; 79-90.
- Marquardt DW., Snee RD. Ridge regression in practice. *The American Statistician* 1975; 29(1): 3-20.
- Mendeş M. Multivariate multiple regression analysis based on principal component scores to study relationships between some pre- and post-slaughter traits of broilers. *Journal of Agricultural Sciences* 2011; 17(1): 77-83.
- Montgomery DC., Peck EA., Vining GG. *Introduction to linear regression analysis*. New York. John Wiley-Sons 3rd Edition; 2001.
- Morrison DF. *Multivariate Statistical Methods*. New York. McGraw-Hill Book Company; 1967.
- Oliveira LZ., Arruda RP., Andrade AFC., Celeghini ECC., Reeb PD., Martins JPN., Santos RFGP., Beletti ME., Peres GFR., Monteiro FM. Assessment of in vitro sperm characteristics and their

- importance in the prediction of conception rate in a bovine timed-AI program. *Animal Reproduction Science* 2013; 137(3-4): 145-155.
- Ortabaş N. Principal components in the problem of multicollinearity. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi 45s. İzmir, Türkiye, 2001.
- Özdamar K. Paket Program ile İstatistiksel Veri Analizi. Eskişehir: Kaan Kitapevi; 1999.
- Pesmen G., Yardımcı ME., Kocatepe A. Estimating the live weight using some body measurements in Saanen goats. *Archiva Zootechnica* 2008; 11(4): 30-40.
- Phatak A., De Jong S. The geometry of partial least squares. *Journal of Chemometrics* 1997; 11(4): 311–338.
- Sahin M., Yavuz E., Uckardes F. Multicollinearity problem and bias estimates in japanese quail. *Pakistan Journal of Zoology* 2018; 50(2).
- Sam I., Ekpo J., Ukpanah U., Eyoh G., Warrie M. Relationship between linear body measurement and live body weight in west african dwarf goats in obio akpa. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare* 2016; 6(16): 118.
- Shaibu AS., Adnan AA. Predicting grain yield of maize using drought tolerance traits. *African Journal of Agricultural Research* 2015; 10(33): 3332-3337.
- Shrestha S., Kazama F. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques a case study of the fuji river basin japan. *Environmental Modelling and Software* 2007; 22: 464-475.
- Skirbić B., Onje A. Multivariate analysis of microelement content in wheat cultivated in Serbia. *Food Control* 2007;18: 338-345.
- Tatlıdil H. Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel analiz. Ankara: Akademi Matbaası; 1996.
- Topal M., Eydurhan E., Yağanoğlu AM., Sönmez AY., Keskin S. Çoklu doğrusal bağlantı durumunda ridge ve temel bileşenler regresyon analiz yöntemlerinin kullanımı. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2010; 41(1): 53-57.
- Tsegaye S., Melesse A., Banerjee S., Lakew A., Mersha F., Hailemariam F., Makebo T. Variations in linear body measurements and establishing prediction equations for live weight of indigenous sheep populations of southern Ethiopia. *Scientific Journal of Animal Science* 2013; 2(1): 15-25.
- Ünalın A., Ceyhan A. Kilis keçilerinin canlı ağırlık ve bazı vücut ölçüleri üzerinde cinsiyet etkisinin belirlenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi* 2017; 21(2) : 219-226.
- Voncina DB., Kodba ZC., Novic M. Multivariate data analysis in classification of vegetable oils characterized by the content of fatty acids. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 2005; 75(1): 31-43.
- Wentzell., PD., Montoto LV. Comparison of principal components regression and partial least squares regression through generic simulations of complex mixtures. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 2003; 65(2): 257-270.

Widodo A., Yang BS., Han T. Combination of independent analysis and support vector machines for intelligent faults diagnosis of induction motors. *Expert Systems with Applications* 2007; (32): 299-312.

Yılmaz F., Bayyurt L., Abacı SH., Tahtalı Y. Comparison of least squares and some bias estimators in multicollinearity. *Türk Tarım Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2020; 8(3): 793-799.



## Bir Fabrika Binasında Yağmur Suyu Hasadının Teknik ve Ekonomik Analizi

Sümeyye ADALI<sup>1</sup>, Melike YALILI KILIÇ<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-5077-7358>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-7050-6742>

\*Sorumlu yazar: myalili@uludag.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 08.09.2023

Kabul tarihi: 24.01.2024

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Su yönetimi

Yağmur suyu hasadı

Fabrika

Sürdürülebilirlik

### ÖZ

Günümüzde küresel ısınma neticesinde yağışların azalması ve buna paralel olarak buharlaşma oranının artışı, mevcut olan su kaynakları üzerinde büyük bir baskı oluşturmaktadır. Bu baskının azaltılması ve alternatif su kaynağı oluşturma noktasında yağmur sularının hasat edilmesi önemli bir çözüm yoludur. Bu çalışmada Bursa Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi'ndeki bir fabrikanın evsel ve endüstriyel su ihtiyacının karşılanması amacıyla çatı yağmur suyu hasadının uygulanabilirliği araştırılmış ve hasat sisteminin maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Fabrikanın çatı yüzeylerinden 2 083,2 m<sup>3</sup> yıl<sup>-1</sup> değerinde su hasadı gerçekleştirilebileceği, oluşan bu miktar ile fabrikanın evsel ve endüstriyel su ihtiyacını karşılama oranının %2 olacağı hesaplanmıştır. Kurulacak olan sistemin fabrikanın su tüketim harcamasından yıllık olarak 2 703,8 \$ değerinde tasarruf sağlayabileceği, sağlanan bu tasarrufla sistemin kendisini 16,57 yılda amorti edebileceği belirlenmiştir. Amortisman süresinin düşürülmesi ve toplanan yağmur suyu miktarının artırılması amacıyla yağmur suyu hasadı çalışmasının fabrikaya ait yol ve kaldırımları kapsayacak şekilde genişletilmesi önerilmektedir.

## Technical and Economic Analysis of Rainwater Harvesting in a Factory Building

### Research Article

#### Article History:

Received: 08.09.2023

Accepted: 24.01.2024

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

Water management

Rainwater harvesting

Factory

Sustainability

### ABSTRACT

Today, the decrease in precipitation as a result of global warming and the increase in the evaporation rate in parallel with this put a great pressure on the existing water resources. Rainwater harvesting is an important solution to reduce this pressure and create an alternative water source. In this study, the feasibility of rooftop rainwater harvesting was investigated to meet the domestic and industrial water needs of a factory in Bursa Demirtaş Organized Industrial Zone and the cost analysis of the harvesting system was carried out. It has been calculated that 2,083.2 m<sup>3</sup> year<sup>-1</sup> worth of water can be harvested from the roof surfaces of the factory, and with this amount, the rate of meeting the domestic and industrial water needs of the factory will be 2%. It has been determined that the system to be established can save 2,703.8 \$ annually from the water consumption expenditure of the factory, and with this savings, the system can pay for itself in 16.57 years. In order to reduce the depreciation period and increase the amount of collected rainwater, it is recommended that the rainwater harvesting study be extended to include the roads and pavements of the factory.

**To Cite:** Adalı S., Yalılı Kılıç M. Bir Fabrika Binasında Yağmur Suyu Hasadının Teknik ve Ekonomik Analizi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(3): 1177-1185.

## 1. Giriş

Nüfus artışı; sanayileşme ve iklim değişikliğinin etkisiyle birlikte son yıllarda kurak dönemlerin olağan dışı uzun periyotlara ulaşması, yağış miktarlarında değişimlerin yaşanmasına ve dünya yüzeyinde sınırlı düzeyde olan tatlı su kaynaklarının azalmasına sebep olmaktadır. Bu durum su ihtiyacının temini, tarımsal üretimin sürdürülebilirliği ve yaban hayatının devamında önemli bir tehdit unsuru olarak görülmektedir (Ekşi ve ark., 2016; Eşbah Tuncay, 2022).

Dünya genelindeki su miktarı 1,4 milyar km<sup>3</sup> değerinde olup bu değer %97,5'u okyanus ve denizlerde tuzlu su olarak, %2,5'u nehir ve göllerde tatlı su olarak yer almaktadır. Tatlı su kaynaklarının %90'ının kutup bölgelerinde ve yeraltında olduğu düşünüldüğünde, küresel ölçekte kullanılabilir düzeydeki tatlı su miktarının sınırlı düzeyde kaldığı anlaşılmaktadır (Yalılı Kılıç ve Abuş, 2018). Su sarfiyatının azaltılması ve yağmur suyu gibi alternatif su kaynaklarının devreye alınması, tatlı su kaynaklarının korunması noktasında büyük önem taşımaktadır (Eşbah Tuncay, 2022). Hızlı nüfus artışıyla birlikte tüketim alışkanlıklarının değişmesi ve yaşanan endüstriyel gelişmeler küresel, bölgesel ve yerel ölçekte önemli çevre sorunlarını meydana getirmektedir (Uğuz Yedievli, 2021).

Kentler iklim değişikliğinden kırsal alanlara kıyasla önemli derecede etkilenmektedir. Dünya ölçeğinde kent nüfusunun 2050 yılında %69'a ulaşacağı ve 5 milyara yakın insanın su sıkıntısı yaşayan bölgelerde ikamet edeceği belirtilmektedir (Toyran ve Var, 2022). Kentsel bölgelerde mevcut olan yoğun yapılaşma ve bitki örtüsü tahribatı, geçirimsiz yüzeylerin azalmasına bağlı olarak yağışlarla birlikte yüzeysel akış miktarının artışına, sel ve taşkınlara sebep olabilmektedir. Bu nedenle kent özelinde yağmur sularının hasat edilmesi, su kaynaklarının sürdürülebilirliği ve kent sağlığı açısından büyük avantajlar barındırmaktadır (Ünal ve Akyüz, 2022). Kentlerde yağmur sularının yönetimi ve değerlendirilmesi konusunda yapılan çalışmalar, kent ekosisteminin önemli bileşenlerinden birini oluşturan su döngüsüne uyum sağlamayı amaçlamaktadır (Aksu, 2022).

Yağmur suyu; canlıların ana su kaynağı ve ekosistem üzerinde dengeleyici olma özelliklerini taşımakta olup bu kaynağın en uygun şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Yağmur suyu hasadı, geçmişten günümüze en yaygın kullanılan çevre dostu su elde etme yöntemlerinden olup, günümüz koşulları göz önüne alındığında bu su kaynağının etkin kullanımı için hasat sistemlerinin kurulmasının yaygınlaşması önem arz etmektedir (Yetkin ve Akman, 2021; Tavşan ve Bektaş, 2022). Hasat edilen yağmur suyu içme suyu temini dışında bahçe sulama, tuvalet rezervuarını doldurma, araba yıkama vb. amacıyla kullanılarak birçok alanda sudan verimlilik sağlanmaktadır. Yağmur suyu hasat sistemleri özellikle çatı alanı büyük olan AVM, havalimanı, hastane vb. yapılarda önemli kullanım alanı bulmaktadır (Tavşan ve ark., 2022).

Kentsel alanların yoğun olduğu bölgelerde iklim değişikliği, havza alanlarının tahrip edilmesi, doğal su yollarının değiştirilmesi gibi nedenlerle döngüsünü tamamlayamayan yağmur suyu, büyük oranda yüzeysel akışa geçmektedir. Bu durum taşkınlara, kuraklığa, yüzeysel ve yer altı suyu kalitesinin düşüşüne yol açmaktadır (Konyalı Dereli ve Çay, 2020). Kentsel alanlar için uygun olabilecek birçok

yağmur hasadı tekniği bulunmakta, bu teknikler arasında çatı yüzeyinden yağmur suyu hasadı, yüzey akış hasadı, yağmur bahçeleri, sızdırma, infiltrasyon hendekleri vb. yer almaktadır (Toyran ve Var, 2022). Bu hasat teknikleri arasında en yaygın olarak kullanılan sistemin çatı yüzeyinden yağmur suyu hasadı olduğu belirtilmekte olup, bu hasat yönteminde çatı yüzeyine düşen yağış suları toplanıp, oluklar yardımıyla su deposuna aktarılmaktadır (Hacısalihoğlu, 2022). Yağmur suyu hasat sistemleri şehirlerdeki büyük çatılara sahip binalarda kullanıldığında hem su temini hem de şehirlerdeki sel felaketlerinin etkisini hafifletebilme noktasında büyük rol oynamaktadır. Kentlerde çatı yağmur suyu hasadıyla elde edilen suların otopark ve yollardan hasat edilen yağmur sularından kalite ve verim bakımından daha yüksek seviyede olduğu bildirilmektedir (Himat, 2018). Yağmur sularının depo edilmesi noktasında yeraltında ve toprak yüzeyinde depolama olmak üzere iki farklı yöntem bulunmakta olup, yeraltı depolamasında toprak ve sarnıçlar yer alırken, toprak yüzeyinde depolamada ise tank, rezervuar veya havuzlar kullanılmaktadır (Hacısalihoğlu, 2022).

Literatür incelendiğinde çatı yüzeyinden yağmur suyu hasadı ile ilgili farklı ülkelerde ve birçok alanda çalışmaların yer aldığı görülmektedir. Villarreal ve Dixon (2005) tarafından İsveç'in Norrköping kentindeki bir yerleşim bölgesi olan Ringdansen için yağmur suyu hasat sisteminin uygulama olanakları araştırılmıştır. Yağmur suyu hasat planının su tasarrufu potansiyelini ölçmek için bir bilgisayar modeli oluşturulmuştur. Ringdansen'deki tüm çatı alanlarından yağmur suyu hasadı ile elde edilecek yağmur suyunun yalnızca tuvalet sifonunda kullanılması durumunda 40 m<sup>3</sup>'lük bir tankın uygun ve yeterli olacağı, hasat edilen suyla ana su kaynağından %60'ın üzerinde tasarruf sağlanabileceği öngörülmektedir.

Güneybatı Nijerya'nın Abeokuta bölgesinde yer alan binaların büyük çoğunluğunun hane başına yıllık 74 m<sup>3</sup> yağmur suyu toplama potansiyeline sahip olduğu, bölgenin tahmini su talebinin tuvalet rezervuarlarında yıllık 29,4 m<sup>3</sup>, çamaşır yıkamada ise 21,6 m<sup>3</sup> su olduğu bildirilmektedir. Bölgede toplanmış yağmur suyunun kasım, aralık, ocak ve şubat ayları dışında tuvalet sifonları ve çamaşır yıkama amacıyla aylık su ihtiyacını karşılama noktasında yeterli seviyede olduğu belirlenmiştir. Su tasarrufu potansiyelinin en yüksek olduğu ayların yağışların yoğun seyrettiği haziran ve eylül ayları olduğu belirlenmiştir (Aladenola ve Adeboye, 2010).

Çakar (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, İzmir ili Bornova ilçesinde bulunan bir sitenin konut dışı su gereksiniminin karşılanması amacıyla çatı yüzeylerinden toplanabilecek yağmur sularının kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Çatı yüzeylerinin toplam alanı 1 800 m<sup>2</sup>, binaların çevresinde yer alan toplam yeşil alan miktarı 250 m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Çatılardan toplanacak yağmur suyunun yıl boyunca yeşil alan sulaması ve site temizliği su gereksiniminin karşılanmasında yeterli olacağı saptanmıştır. Yeşil alanların her gün sulanması durumunda bile, yıllık ölçekte toplanan çatı yağmur suyunun sadece %60,88'inin kullanılmış olacağı hesaplanmıştır.

Yılmaz ve Yücedağ (2022) tarafından Isparta Mesleki Eğitim Merkezi binası için şebeke suyuna alternatif olacak sürdürülebilir nitelikte bir su kaynağı sağlamak amacıyla dönüştürülebilir yağmur suyu projesi ele alınmış olup, toplamda 158 m<sup>2</sup> olan yeşil alanların sulanması için kullanılması

planlanan, 240 m<sup>2</sup> çatı alanından hasat edilecek yağmur suyu miktarı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucu çatı alanından yıllık 92 242 m<sup>3</sup> yağmur suyunun hasat edilebileceği belirlenmiş olup, elde edilen yağmur suyu miktarlarının temmuz, ağustos ve eylül ayları dışında kalan aylarda yeşil alan sulaması için yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

Almanya'nın en büyük yağmur toplama sistemine sahip olan Frankfurt Havalimanı'nda yağmur suyu hasadıyla yılda yaklaşık 1 000 000 m<sup>3</sup> su tasarrufu sağlanmaktadır. Kurulan sistemin maliyeti 63 000 \$ olup, 26 800 m<sup>2</sup> çatı alanına sahip terminal binasında, binanın bodrum katında konumlandırılan 100 m<sup>3</sup> depolama kapasitesine sahip 6 tankta tuvalet rezervuarında kullanım, bitki sulama ve klima sisteminin temizlenmesi amacıyla yağmur suyu hasadı gerçekleştirilmektedir (Yenigün ve Tunalı, 2022; URL-1, 2023).

Bu çalışmada, Bursa Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi'ndeki (DOSAB) bir fabrikanın evsel ve endüstriyel su temini amacıyla kurulacak yağmur suyu hasat sisteminin uygulanabilirliği araştırılarak sistemin maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında yağmur suyu hasadının sanayi alanında uygulanabilirliği ele alınarak, yoğun olarak evsel kurulumların yaygın olduğu yağmur hasadı sistemlerinde ticari amaçlı uygulama yollarının gösterilmesi planlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında ele alınan fabrika, tekstil sektörünün önde gelen illerinden biri olan Bursa'da 2002 yılından beri hizmet vermektedir. İplik üretiminin gerçekleştiği 4 150 m<sup>2</sup> alana sahip fabrikada yaklaşık 450 çalışan yer almaktadır. Döşeme, perde, halı ve yatak kumaşı vb. ev tekstil ürünleri, moda, dış mekân ve askeriye alanında teknik uygulamalar yanında otomotiv kumaşları üretiminin de gerçekleştirildiği tesis yurt içinde büyük bir pazar payına sahip olup; Hindistan, Amerika, İtalya ve birçok Avrupa ülkesine ihracat gerçekleştirmektedir. Fabrikanın yıllık üretim kapasitesi 16 000 ton değerindedir. Fabrikadaki üretim alanları arasında spinning, tekstüre ve büküm yer almaktadır.

Çalışma kapsamında ele alınan fabrikanın çatı alanlarından hasat edilecek yağmur suyu miktarı hesabında kullanılacak formüller denklem 1-2'de yer almaktadır (TEMA, 2023).

$$\text{Yağmur suyu verimi (m}^3\text{)} = \text{Çatı alanı} * \text{Yağış miktarı} * \text{Çatı katsayısı} * \text{Filtre etkinlik katsayısı} \quad (1)$$

$$\text{Depo hacmi (m}^3\text{)} = \text{En yüksek aylık yağış} * \text{Çatı alanı} * \text{Çatı katsayısı} * \text{Filtre etkinlik katsayısı} \quad (2)$$

Çatı alanı: Düşen yağmur sularının toplama alanı.

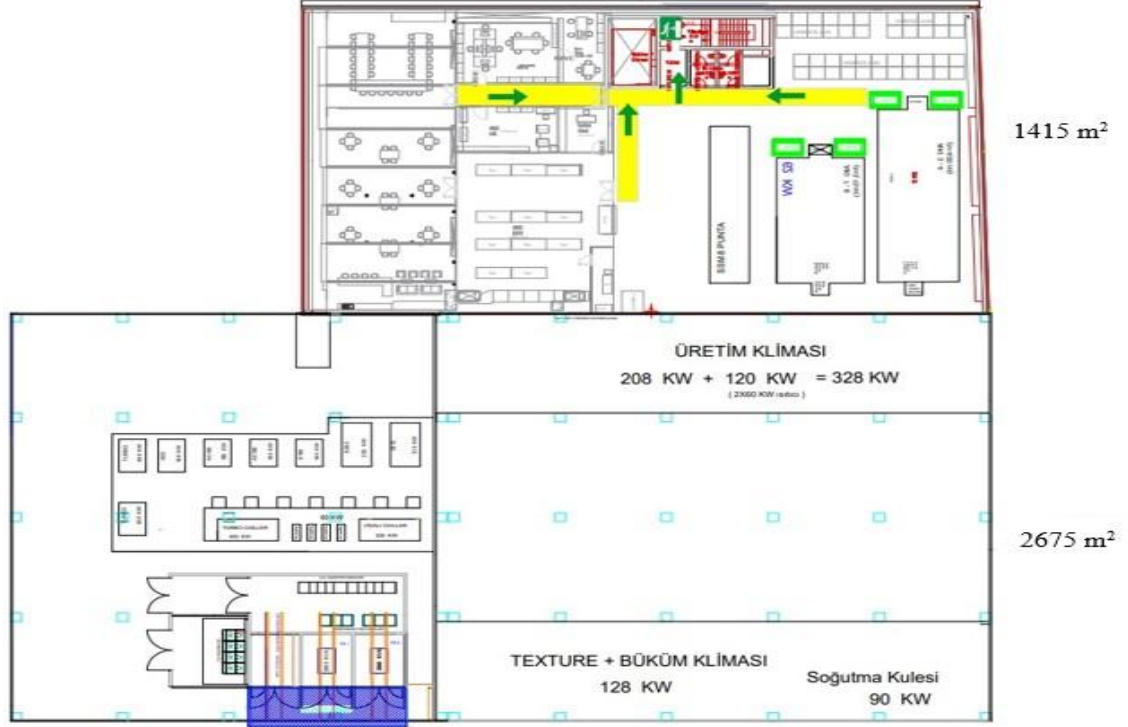
Yağış miktarı: m<sup>2</sup>'ye düşen ortalama yağış hacmi.

Çatı katsayısı: DIN1989'da 0,8 olarak belirtilmektedir. Çatıya düşen yağış sularının tümünün geri dönüştürülemeyeceğini ifade etmektedir.

Filtre etkinlik katsayısı: DIN1989'da 0,9 olarak belirtilmektedir. Çatıdan hasat edilen yağış sularının iri katı maddelerden ayrıştırılması için geçirilen ilk filtrenin verimlilik katsayısı olup, düşen yağış sularının bir miktarının filtreden geçemeyeceği göz önüne alınarak belirlenmiştir (TEMA, 2023).

Depo Hacmi (m<sup>3</sup>): Çatıdan hasat edilen yağmur suyunun depolanacağı kabın hacmini ifade eder. Güvenli alanda kalmak için maksimum yağışın gerçekleştiği ay baz alınarak depo hacmi belirlenir.

Şekil 1’de fabrikanın çatı alanlarına ait görsel yer almaktadır.



Şekil 1. Fabrikanın çatı alanlarına ait görsel

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada Bursa DOSAB’ta bulunan bir fabrikanın evsel ve endüstriyel su kullanımında tasarruf sağlamak amacıyla fabrika çatılarından toplanabilecek yağmur suyu potansiyeli belirlenmiş, kurulacak sistemin maliyet analizine yer verilmiştir. Tablo 1’de Bursa iline ait sıcaklık ve yağış verileri yer almaktadır.

Tablo 1 incelendiğinde Bursa ilinde yıllık ortalama yağışlı gün sayısı 112,5 olarak belirtilmekte olup, aralık ayının en yüksek yağış ortalamasına sahip olduğu görülmektedir (99,3 mm). İlde 1928 ile 2022 yılları aralığında m<sup>2</sup>’ye düşen ortalama yağış miktarı 707,4 mm olduğu belirlenmiştir ( $707,4 \text{ L m}^{-2} = 707,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} = 707,4 \text{ mm}$ ). Tablo 2’de incelenen fabrikaya ait 2022 yılı su tüketim değerleri yer almaktadır.

**Tablo 1.** Bursa iline ait sıcaklık ve yağış verileri (1928-2022) (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2023)

Bursa	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Sıcaklık Ortalaması (°C)	5,4	6,2	8,3	12,9	17,7	22,0	24,5	24,3	20,3	15,6	11,1	7,4	14,6
Ortalama yağışlı gün sayısı	14,85	13,41	12,55	11,22	9,02	6,16	3,06	2,92	5,12	8,96	11,04	14,20	112,5
Aylık yağış miktarı ortalaması (mm)	89,1	75,9	69,9	61,5	50,6	35,4	22,0	18,4	43,7	65,9	75,7	99,3	707,4

**Tablo 2.** Fabrikaya ait 2022 yılı su tüketim değerleri

Fatura Dönemi	Su Tüketimi (m <sup>3</sup> )
Ocak- Şubat	18 240
Mart-Nisan	21 765
Mayıs-Haziran	21 918
Temmuz-Ağustos	14 900
Eylül-Ekim	12 984
Kasım-Aralık	13 541
Toplam	103 348

Çalışma kapsamında incelenen fabrikanın çatı alanları toplamı 4 090 m<sup>2</sup>'dir (Şekil 1). Çatı alanları ve ortalama yağış verileri ışığında yağmur suyu verimi;

$$\text{Yağmur suyu verimi (m}^3\text{)} = \text{Çatı alanı} * \text{Yağış miktarı} * 0,8 * 0,9 \quad (1)$$

$$\text{Yağmur suyu verimi (m}^3\text{)} = 4 090 \text{ m}^2 * 707,4 \text{ L/m}^2 * 0,8 * 0,9 = 2 083 151,5 \text{ L} = 2 083,2 \text{ m}^3$$

Yağmur suyu toplama sistemine ait depo hacmi, maksimum yağışın meydana geldiği aralık ayı göz önüne alınarak belirlenmiştir (Tablo 1).

$$\text{Depo hacmi (m}^3\text{)} = \text{Aralık ayı yağış miktarı} * \text{Çatı alanı} * 0,8 * 0,9 \quad (2)$$

$$\text{Depo hacmi (m}^3\text{)} = 4 090 \text{ m}^2 * 99,3 \text{ L/m}^2 * 0,8 * 0,9 = 292 418,64 \text{ L} = 292,4 \text{ m}^3$$

Bu durumda 3 adet 100 tonluk su deposu kurulacak sistem için yeterli olacaktır. Ekipman ve kurulum maliyetleri için yapılan fiyat araştırmaları sonucunda kurulması planlanan yağmur suyu hasat sisteminin toplam maliyetinin 44 809,6 \$ olarak belirlenmiştir.

Yağmur suyu verimi 2 083,2 m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Bu durumda çatı yüzeylerinden 2 083,2 m<sup>3</sup> yıl<sup>-1</sup> değerinde su hasadı gerçekleştirilebilecektir. Bu değer personelin kaynaklı evsel ve endüstriyel su ihtiyacını karşılama oranını;  $2 083,2 \text{ m}^3 / 103 348 \text{ m}^3 = \%2$  olarak belirlenmiştir.

Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi (BUSKİ) Su Tarife Ücretleri incelendiğinde sanayiye sağlanan toplu suyun birim fiyatı 1,284 \$/m<sup>3</sup> olarak belirtilmektedir (BUSKİ, 2023). Su tarifesine uygulanan %1 KDV oranı ve bakım bedeli ve uygulanan %18 KDV oranı dikkate alındığında kurulacak olan yağmur suyu toplama sisteminin fabrikanın su tüketim harcamasından yıllık 2 703,8 \$ değerinde tasarruf etmesine olanak sağlamaktadır. Sağlanan bu tasarruf değeriyle kurulacak olan sistemin kendisini 16,57 yılda amorti edebileceği belirlenmiştir. Amortisman süresinin uzunluğu dikkate alındığında yağmur suyu hasadının çatı alanı ile sınırlı tutulmayıp kaldırım ve yolları kapsayacak şekilde genişletilmesinin hasat edilecek su miktarının artırılması ve amortisman süresinin düşürülmesinde önemli rol oynayacağı öngörülmektedir.

Bu çalışmaya benzer olarak Geben (2023) tarafından Kayseri ilinde bulunan bir Organize Sanayi Bölgesinde seramik üretimi konusunda faaliyet gösteren bir işletme için yağmur suyu toplama sistemi tasarımı ele alınmıştır. Çalışma kapsamında 22 000 m<sup>2</sup> çatı alanına sahip işletmede yıllık 6 514 m<sup>3</sup> değerinde yağmur suyu hasat edilebileceği belirlenmiştir. Hasat edilen yağmur suyunun içme suyu, soğutma kulesi, yangın tesisat sistemi, proses suyu, buhar kazanı suyu, araç yıkama, bahçe ve peyzaj sulaması amacıyla kullanımı araştırılmıştır. Yıllık ortalama 34 867,08 m<sup>3</sup> su ihtiyacı hesaplanan işletmenin yağmur suyu hasadıyla şebeke suyu tüketimini yaklaşık %19 oranında azaltabileceği belirlenmiştir. Ana su şebekesine bağlanarak yardımcı kaynak olarak kullanılacak olan yağmur suyu toplama sisteminin 6 yıldan kısa bir sürede geri ödeme süresi sağlayabileceği belirlenmiştir. Bu fabrikanın çatı alanından yaklaşık beşte biri oranında çatı alanına sahip bizim çalışmamızdaki yağmur suyu hasat sisteminden, diğer çalışmaya kıyasla üçte biri oranında suyun toplanabileceğinin ve sistemin amortisman süresinin 16,57 yıl olarak hesaplanması oldukça makul değerlerdir.

#### **4. Sonuçlar**

Günümüzde küresel bir felaket olarak etkilerini günden güne arttıran iklim değişikliği, su kaynakları üzerinde olumsuz baskı oluşturmaktadır. Yağmur suyu, mevcut su kaynaklarının beslenmesi ve sürdürülebilirliği noktasında en temel doğal kaynak olma özelliğindedir. Kentsel alanlar özelinde zemin su geçirgenliğinin düşüklüğü nedeniyle yüzeysel akışa geçen yağmur suyundan yararlanma noktasında yağmur suyu hasat sistemleri büyük önem teşkil etmektedir.

Bu çalışmada Bursa ilinde yer alan bir tekstil fabrikasının çatı alanından hasat edilebilecek yağmur suyu miktarı hesaplanmış, suyun toplanıp kullanımını sağlayacak hasat sisteminin maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Sistemin fabrikanın su tüketim harcamasından yıllık olarak 2 703,8 \$ değerinde tasarruf edileceği, sağlanan bu tasarrufla sistemin kendisini 16,57 yılda amorti edebileceği belirlenmiştir. Amortisman süresinin düşürülmesi ve toplanan yağmur suyu miktarının artırılması amacıyla yağmur suyu hasadının fabrikaya ait yollar ve kaldırımları da kapsayacak şekilde genişletilmesi önerilmektedir.

Günümüzde kaynakların sınırlılığı ve hayat pahalılığı göz önünde bulundurulduğunda bireylerin ve işletmelerin kaynak yönetimi ve sürdürülebilirliği noktasında çeşitli önlemler alması gerekliliği ortaya

çıkıştır. Bu doğrultuda yağmur suyu hasadı, atıksu geri kazanımı vb. alternatif su kaynaklarının kullanımı, günümüzde ve gelecekte su stresini azaltmaya yönelik alınabilecek en büyük önlemler arasında yer almaktadır.

### **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**

- Aksu GA. Kentsel peyzaj planlamada sürdürülebilir yağış suyu yönetim stratejilerinin geliştirilmesi: Kastamonu Üniversitesi Kuzeykent Yerleşkesi örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2022; 35: 34-46.
- Aladenola OO., Adeboye OB. Assessing the potential for rainwater harvesting. *Water Resources Management* 2010; 24(10): 2129-2137.
- BUSKİ. Abone Rehberi. <https://www.buski.gov.tr/AboneRehberi/AboneRehberi/14> Erişim Tarihi: 04.09.2023.
- Çakar H. İzmir ili koşullarında bahçeli bir sitenin yağmur suyu hasadı potansiyelinin değerlendirilmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 2022; 9(2): 446-452.
- DIN. Regenwassernutzungsanlagen. Deutsches Institut Normung DIN: 1989, German.
- Ekşi M., Yılmaz M., Özden Ö. Yağmur bahçelerinin nicel değerlendirilmesi: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi örneği. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 2016; 31(4): 1113-1123.
- Eşbah Tunçay H. İklim dostu şehircilik bağlamında suya duyarlılık. *Çevre, Şehir ve İklim Dergisi* 2022; 1(2): 41-58.
- Geben M. Yağmur suyu toplama sistemi tasarımı ve yağmur suyunun kullanımı: sektörel uygulama örneği. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, sayfa no:104, Kayseri, Türkiye, 2023.
- Hacısalihoğlu S. Su hasadı uygulamalarının kırsal alanların sürdürülebilirliğine katkısı: Bursa-Karacabey örneği. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(2): 767-782.
- Himat A. Çatılardan yağmur suyu hasat potansiyelinin il bazında değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, sayfa no:205, Konya, Türkiye, 2018.
- Konyalı Dereli C., Çay RD. Sürdürülebilir yağmursuyu yönetimi kapsamında yeşil altyapı sisteminin değerlendirilmesi: Fırınlarsırtı TOKİ Konutları (Edirne) yerleşimi için bir öneri. *Kent Akademisi* 2020; 13(4): 668-687.



- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. İllere ait mevsim normalleri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=BURSA> Erişim Tarihi: 08.08.2023.
- Tavşan F., Bektaş U. Mikro konutlarda sürdürülebilirlik yaklaşımı. *Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi* 2022; 7 (Özel Sayı): 191-205.
- Tavşan F., Bahar Z., Tavşan C. Sürdürülebilirlik kapsamında yağmur suyu toplama sistemli pavilyonlar. *Kent Akademisi Dergisi* 2022; 15(2): 877-896.
- TEMA. Geleceğin suyu. <https://silo.tips/download/geleceken-suyu-sutemaorgtr> Erişim Tarihi: 08.08.2023.
- Toyran C., Var M. Yağmur suyu hasadının kentsel tasarım ve yeşil altyapı uygulamalarında değerlendirilmesi-Büyükçekmece İlçesi örneği. *Turkish Journal of Forest Science* 2022; 6(1): 255- 274.
- Uğuz Yedievli, H. Bina ve şehirlerde yağmur suyu hasadı. <https://www.permaturk.org/post/bina-ve-sehirlerde-yagmur-suyu-hasadi> Erişim Tarihi: 31.08.2023.
- URL-1. Rainwater harvesting in Germany. <http://www.rainwaterharvesting.org/international/germany.htm> Erişim Tarihi: 08.08.2023.
- Ünal U., Akyüz DE. Yeşil ve gri altyapı sistemlerinin bulanık analitik hiyerarşi prosesi yardımıyla karşılaştırmalı performans analizi. *Dicle University Journal of Engineering* 2022; 13(2): 307-317.
- Villarreal EL., Dixon A. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. *Building and Environment* 2005; 40(9): 1174-1184.
- Yalılı Kılıç M., Abuş, MN. Bahçeli bir konut örneğinde yağmur suyu hasadı. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi* 2018; 4(2): 209-215.
- Yalılı Kılıç M., Rukiah K. İstanbul Havalimanı'nda yağmur suyu hasadı. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(2): 495-504.
- Yenigün O., Tunalı M. Yağmur suyu hasadı <https://sarkac.org/2022/06/yagmur-suyu-hasadi/> Erişim Tarihi: 08.08.2023.
- Yetkin EG., Akman, N. Geleneksel sürdürülebilir yağmur suyu depolama yöntemleri: Emine-Murat Cimrin Koçak evi sarnıcının incelenmesi ve yeniden kullanımının değerlendirilmesi. *Mimarlık ve Yaşam Dergisi* 2021; 6(3): 1003-1016.
- Yılmaz BS., Yücedağ C. Sürdürülebilir bina tasarımı: Isparta Mesleki Eğitim Merkezi örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 13(1): 71-80.

## 2009 A (H1N1) ve COVID-19 Pandemilerinde Nüfus Yoğunluğunun ve Temas Oranının Rolü

Ayşe PEKER DOBİE<sup>1</sup>, Semra AHMETOLAN<sup>2</sup>, Ayşe Hümeýra BİLGE<sup>3</sup>, Ali DEMİRCİ<sup>4\*</sup>, Burak Erkan KAYA<sup>5</sup>

<sup>1,2,4</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen- Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, İstanbul

<sup>3,5</sup> Kadir Has Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-5228-7694>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-1003-7918>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-6043-0833>

<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0001-9780-0132>

<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0002-9110-0765>

\*Sorumlu yazar: demircial@itu.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 12.10.2023

Kabul tarihi:24.01.2024

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

A(H1N1)

Covid-19

Epidemi parametreleri

SIR modeli

Temel üreme sayısı

Temas oranı

### ÖZ

Sağlıklı-Virus bulaşmış-Bulaşıcılığı olmayan (SIR) salgın modelinin başlıca özellikleri, temel üreme sayısı olarak bilinen  $R_0$  parametresi tarafından belirlenir. Bu çalışmada, çeşitli Avrupa ülkeleri ve İstanbul'daki 2009 A(H1N1) pandemisi ile Almanya'nın federal eyaletlerindeki Covid-19 pandemisi olmak üzere iki farklı salgın için,  $R_0$ 'ın temas oranlarına olan bağımlılığı araştırılmıştır. 2009 A(H1N1) pandemisine ait veriler, Hollanda da dahil olmak üzere yedi Avrupa ülkesi ve İstanbul için ele alınmış olup, bu ülkeler için temel üreme sayısının nüfus yoğunluğuna orantılı olduğu gösterilmiştir. Yüksek nüfus yoğunluklarına sahip olmaları nedeniyle Hollanda ve İstanbul'a ait  $R_0$  değerlerinin, literatürde kabul edilen aralıkların oldukça dışında kaldığı gözlemlenmiştir. Covid-19 pandemisi için 2020 yılının Şubat ve Haziran ayları arasındaki döneme ait Almanya federal eyaletlerinin verileri kullanılarak, toplumdaki heterojenliklerin nüfus yoğunluğunun etkilerini domine ettiği gösterilmiştir. Bu durum, sokağa çıkma yasağı ve seyahat kısıtlamaları gibi uygulamaların ev içi dinamiklerinin rolünü arttırması olasılığı ile açıklanmıştır.

## The Role of Population Density and Contact Rates for 2009 A (H1N1) and Covid-19 Pandemics

### Research Article

#### Article History:

Received: 12.10.2023

Accepted: 24.01.2024

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

A(H1N1)

Covid-19

Epidemic parameters

SIR model

Basic reproduction number

Contact rate

### ABSTRACT

Essential properties of the standard Susceptible-Infected-Removed (SIR) model are characterized in terms of the parameter,  $R_0$ , known as the basic reproduction number. In the present work, we investigate the dependency of  $R_0$  on contact rates in two distinct cases, the 2009 A(H1N1) pandemic for European countries and Istanbul, and the Covid-19 pandemic for the federal states of Germany. For the data from the 2009 A(H1N1) pandemic, encompassing seven European countries (including the Netherlands) and Istanbul, Turkey, we show that the basic reproduction number is proportional to the population density. We observe in particular that for the Netherlands and for Istanbul, high population densities may give rise to parameters that lie well outside the accepted ranges in the literature. Using the data covering the period between February and June 2020, during the Covid-19 pandemic in the federal states of Germany, we observe that inhomogeneities in a population dominate the effects of population density, possibly due to

the fact that curfew and travel restriction practices in force during that period enhance the role of household dynamics.

---

**To Cite:** Dobie AP., Ahmetolan S., Bilge AH., Demirci A., Kaya BE. 2009 A (H1N1) ve COVID-19 Pandemilerinde Nüfus Yoğunluğunun ve Temas Oranının Rolü. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(3): 1186-1201.

## 1. Introduction

The 2009 A(H1N1) swine flu and the ongoing Covid-19, while being devastating outbreaks, provided valuable epidemiological data, including fatality rates, hospitalization records, and PCR test results, particularly relevant to the current Covid-19 pandemic. All these records reflect the number of cases with some proportionality constant, which can vary depending on the location and may also change over time. For instance, the number of fatalities related to a particular disease is undoubtedly influenced by the quality of the healthcare system. In addition, the strength of contacts in a society, denoted as “contact rate”, influences the number of cases.

While population density is known as one of the most important factors causing the spread of the disease (Chen and Li, 2020), research shows that due to socio-economic and cultural factors, more deaths are reported in sparsely populated areas than in densely populated areas, and this is strongly related to the contact rate. (Chen and Li, 2020; Hamidi et al., 2020). The crucial role of such factors is supported by studies that provide significant insights into the impact of such differences and of the age structure on the spread of COVID-19 cases. (Del Fava et. Al., 2020, Prem et. al., 2021). In addition to the primary influence of population density on contact rates, inhomogeneities in a society may lead to variations in the age structures and contact patterns and hence affect that rate.

In cases where social distancing measures are applied, demographic structures gain importance, and inhomogeneities in the population may lead to different contact rates within the same society. Thus, despite social distancing measures, co-residence of individuals from the same or different generations still have a noteworthy influence on the spread of the disease. (Esteve et. al., 2020). For example, individuals who are more susceptible to the disease, such as elderly people living in crowded multi-generational households for socio-economic and cultural reasons may lead to an increase in the spread of the disease. (Mogi and Spijker, 2022). Reducing contact rate via restrictions slows down the death rates and accelerates the recovery process. even if the population density is very high, (Ibrahim et. al., 2020). Thus, in cases where social distancing restrictions are applied in a homogeneous society, one would expect a decrease in the death rate proportional to the population density. However, the data of death rates for Covid-19 in the federal states of Germany displays a different pattern.

In the present work we discuss the role of the contact rate on the number of cases and fatalities, based on data of 2009 A(H1N1) swine flu and the Covid-19 pandemics. Data under consideration for 2009 A(H1N1) pandemic is the number of fatalities in Istanbul, Turkey, in seven European countries. Among these, the Netherlands and Istanbul, Turkey, are regions with considerably higher population densities. For these two cases, the parameters of the models describing the spread of the disease lie well outside the ranges reported in the literature, indicating the crucial role of the population density. Data for Covid-

19 pandemic in federal states of Germany is used to display the relation of the social/ethnic structures of the federal states on the number of Covid-19 cases., showing that although the population density is a main ingredient of the contact rate, inhomogeneities in the society may also affect the contact rate, hence the number of fatalities.

Numerous studies have focused on the 2009 A(H1N1) pandemic, examining its spread and characteristics. Some of these works were conducted at a country-specific level (Ergonul et. al., 2014; WHO, 2010; Tuite et. al., 2010), providing insights into the epidemic's progression within individual nations. Some works were based on the comparison of the characteristics of epidemic on transnational basis (WHO, 2009; Boëlle, 2011; Simonsen et. al., 2013; Bilge et. al., 2015; Samanlioglu and Bilge, 2016). In these works, epidemiological parameters such as basic reproduction number, infectious period and incubation period are estimated.

The basic reproduction number, the most crucial one among the epidemiological parameters, can be determined by the knowledge of the total proportion of individuals affected by the disease. This proportion can be measured by total fatalities, or total hospital referrals, or total positive cases. However, fatalities have a dependency on the healthcare systems, as analyzed for European countries during the 2009 A(H1N1) pandemic (Bilge and Samanlioglu, 2018). Hospital referrals are influenced by the severity of the disease. In addition, the coverage of tests is heavily dependent on the availability of tests within a society and the testing policies in place. An alternative method for determining the basic reproduction number is fitting models to the time-evolution of the normalized fatality or hospitalization data and choosing parameters of the models that fit with the smallest error.

The Basic Reproduction number,  $R_0$  represents the product of the transmission rate (parameter  $\beta$  in equation 1) and the mean duration of the infectious period (reciprocal of parameter  $\gamma$  in equation 1). The transmission rate  $\beta$  is itself the product of the virulence of the virus and of the contact rate. Determining accurate contact rates within a society is a complex process (Prem et. al., 2017). At a first approximation, one may assume that the contact rate is proportional to the population density, but at a finer scale, inhomogeneities in the population may dominate variations in the contact rates.

In our current study, we build upon the findings of our previous work analyzing the 2009 A(H1N1) data for Europe and for Istanbul. We utilize these results to demonstrate that the basic reproduction number fits to linear regression in terms of the population density, as expected, providing further proof of the validity of the standard SIR model. These results also indicate that the parameter  $R_0$  can be much higher than the values reported in the literature in cases of extreme population densities.

The second case that we analyze is the variation of total Covid-19 cases during the first wave of the pandemic, in various federal states of Germany. In this case, we observed that the burden of the epidemic is relatively insensitive to the population density, possibly due to strict restrictions that were effective particularly during the first wave. On the other hand, the variation of the ratio of total cases is correlated with the ratio of foreign population, as an indication of the household structure that is more relevant at times of curfew.

In comparison to the 2009 A(H1N1) pandemic, the Covid-19 pandemic has presented an extensive amount of epidemic data due to its widespread and global impact. However, it is worth noting that, apart from the initial stages, strict measures of various kinds have been implemented in almost all countries to control and mitigate the spread of Covid-19. These measures have significantly influenced the dynamics of the pandemic. Given this context, the 2009 A(H1N1) data, despite its relative simplicity, remains a valuable resource for modeling the spread of an epidemic in an uncontrolled population. The data captures the dynamics of an epidemic in a population without the strict measures and interventions that have been implemented during the Covid-19 pandemic. This allows researchers to gain insights into the natural course of an epidemic in a population without the influence of extensive control measures, providing a useful point of reference for understanding and modeling the spread of infectious diseases. The article is organized as follows. In Section 2, we outline the mathematical models used for the standard SIR (Susceptible-Infected-Removed) model. Section 3 is devoted to the discussion of the role of population density on the contact rates, hence on  $R_0$ , presenting the results obtained from analyzing two specific pandemics, specifically for the Netherlands in Section 3.1 and for Istanbul, Turkey in Section 3.2. In Section 4, we shift our focus to the 2020 Covid-19 pandemic in Germany, with the aim of investigating the role of heterogeneities in a population. Finally, in Section 5, we present our concluding remarks, summarizing the key findings from our study and discussing their implications.

## 2. Material and Methods

Compartment models in epidemiology are fundamental for the dynamics of the spread of a disease within a population (Kermack and McKendrick, 1927; Hethcote and Tudor, 1980). In these models the population is divided into compartments. The Susceptible-Infectious-Removed (SIR) and Susceptible-Exposed-Infectious-Removed (SEIR) models are prototypes of such models, commonly used to describe the spread of epidemics caused by a particular strain of infectious agent that primarily spreads through direct contact. In these models, individuals are initially categorized as susceptible to the disease. Upon contact with an infected individual, susceptible individuals transition to the infectious state. If the infecting agent has an incubation period, individuals who are infected but not yet infectious are placed in the "Exposed" compartment. During this incubation period, individuals cannot transmit the infection to others. Once the incubation period is over, individuals move to the "Infectious" compartment, where they can transmit the infection to susceptible individuals. Individuals in the "Infectious" compartment either recover from the infection or experience fatal outcomes within the infectious period. In either case, they are considered "removed" from the population, as they gain permanent immunity or are no longer able to transmit the infection.

The SIR epidemic model without vital dynamics is defined by

$$SIR: \frac{dS}{dt} = -\beta SI, \quad \frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I, \quad \frac{dR}{dt} = \gamma I$$

(1)

where  $\beta$ ,  $T = 1/\gamma$  refer to the disease transmission rate and to the mean duration of infection period respectively. The ratio,  $\beta/\gamma$ , corresponds to the basic reproduction number  $R_0$ . As the sum of the righthand sides of these equations is zero, with appropriate normalization, one can choose  $S + I + R = 1$ . The SEIR model involves in addition an incubation period. In previous work (Bilge et. al., 2015), we have shown that for relatively low  $R_0$  values, diseases obeying the SEIR model can be well approximated by the SIR model, and in the following, we will restrict our work to the SIR model.

We also note that, as presented in (Bilge et. al., 2015), the parameter  $R_0$  can be determined from the knowledge of a single quantity, the final values of removed individuals at the end of epidemic, that we denote as  $R_f$ . However, due to the lack of information on the exact values of fatality and hospitalization rates, in practice, we cannot use this information to evaluate  $R_0$ . In fact, in the case of the 2009 A(H1N1) data, we have shown that fatality rates are in general correlated with health indices published by international organizations (Samanlioglu and Bilge, 2016), indicating the need to use more sophisticated methods. When working with data from different countries, we normalize epidemic data, and we estimate parameters by fitting models to the time evolution of the data. This approach, although more time-consuming, is well-suited for studying data from countries with diverse healthcare practices.

The results presented in Section 3, on the dependency of  $R_0$  on the population density uses the values of  $R_0$  evaluated from the time evolution of cumulative fatalities in different countries. On the other hand, in Section 4, as we study variations in  $R_0$  in various districts of the same country, with equally well health practices, we use the total number of cases in each district, to estimate  $R_0$  from its correspondence with  $R_f$ .

### **3. Results and Discussion**

#### *3.1. The 2009 A(H1N1) Pandemic in Europe*

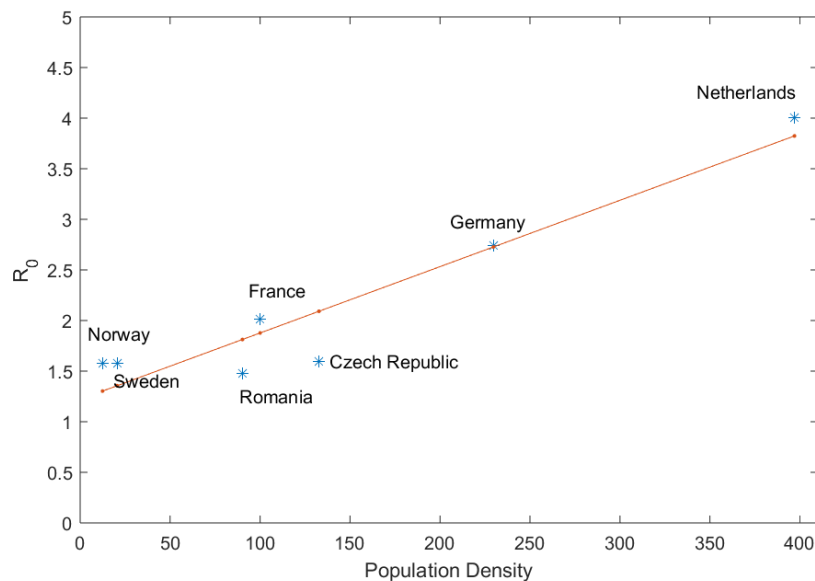
In a previous work (Samanlioglu and Bilge, 2016), an analysis of weekly fatality data from 13 European countries was performed using reports from the European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) (ECDC, 2010). Data from the Czech Republic, France, Germany, the Netherlands, Norway, Romania, and Sweden were used for this analysis, and results reported in (Samanlioglu and Bilge, 2016), are summarized in Table 1. The method mentioned above was initially applied to analyze the 2009 A(H1N1) pandemic, and later, extended to study the Covid-19 pandemic (Ahmetolan et. al., 2020).

**Table 1.** Population density and the Basic Reproduction Number  $R_0$  for 7 European countries.

Country	Population Density	$R_0$
Czech Republic	132.72	1.5963
France	100.01	2.0118
Germany	229.68	2.7454
The Netherlands	396.99	4.0000
Norway	12.45	1.5782
Romania	90.18	1.4806
Sweden	20.57	1.5782

The estimated values reported in (Samanlioglu and Bilge, 2016), for 2009 A(H1N1) pandemic generally fell within the ranges reported in the existing literature. However, the values obtained for the Netherlands deviated from these ranges, and we refrained from reporting our findings for the Netherlands in that publication. Similarly, the method was also applied to analyze daily hospitalization and fatality reports collected from major hospitals in Istanbul during the same pandemic, and the estimated parameter values for this case were also found to be outside the ranges reported in the literature. These results seemed to suggest unique characteristics of the epidemics in the Netherlands and Istanbul, which may warrant further investigation of the role of population density in understanding the dynamics and impact of the respective pandemics in regions with different population dynamics. In Sections 3.1 and 3.2, we present the results of our analysis for the estimation of epidemic parameters for 2009 A(H1N1) pandemic in the Netherlands and in Istanbul, Turkey, respectively.

In Table 1 and Figure 1, we present the dependency of  $R_0$  on the population density, based on the estimates given in (Samanlioglu and Bilge, 2016).



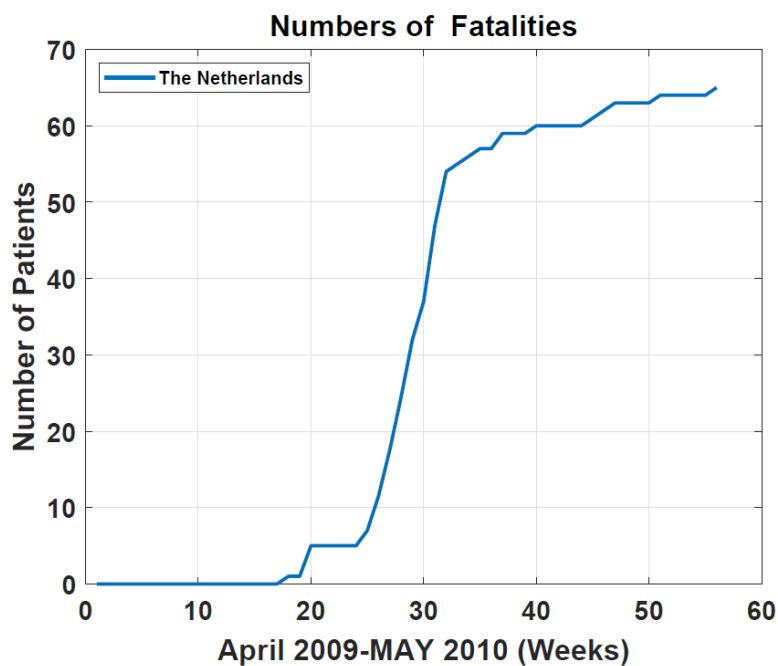
**Figure 1.**  $R_0$  versus populaton density for European countries. Parameters are computed using the time evolution of normalized data.

A plot of  $R_0$ , as determined from the time evolution of the weekly fatality data is shown in Figure 1 above, together with a linear regression line. We describe below the analysis of the data for the Netherlands, in greater detail.

### 3.1.1. Determination of Epidemic Parameters for the Netherlands Data

In a previous study (Samanlioglu and Bilge, 2016), an examination of weekly fatality data for 13 European countries was performed using reports from the European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). The Netherlands was considered for the analysis of vaccination coverage etc, but its data was found to contain errors and was subsequently excluded from the time domain analysis in (Samanlioglu and Bilge, 2016). In this section, we will focus on analyzing the data specifically for the Netherlands. Firstly, we will correct any obvious errors present in the data. Subsequently, we will explore and assess various models to determine the best fit based on various error criteria. It is important to note that in all cases studied, the calculated value of  $R_0$  for the Netherlands was found to be larger than the values reported in the existing literature. This discrepancy highlights the unique characteristics and dynamics of the epidemic in the Netherlands. For reference, the weekly fatality data for the Netherlands can be found in (Samanlioglu and Bilge, 2016).

Figure 2 illustrates the change in the total fatality numbers in weeks, based on the corrected data from the ECDC weekly reports for the Netherlands.



**Figure 2.** Cumulative number of fatalities for the 2009 A(H1N1) epidemic in the Netherlands, based on data Table A, corrected for obvious reporting errors in the data.

To further analyze the data, the normalized total fatality numbers for the Netherlands were fitted to the  $R(t)$  curves obtained by numerical solutions of the SIR model with parameters over a reasonably wide range, and models within an “acceptable” error range were selected. For the Netherlands data,



parameter ranges were chosen as,  $1.5 \leq R_0 \leq 8$  in steps of 0.1 for the Basic Reproduction Number,  $2 \leq T \leq 20$  in steps of 1 days for the mean duration of the infectious period, and  $I(0) = 10^{-k}$  where  $1 \leq k \leq 10$  in steps of 0.2 for the initial value for  $I(t)$ . With these parameter values, different simulations were compared. In order to select the best fitting model, two error criteria have been used:  $E_1$ , which covers the entire observation period, and  $E_2$ , which gives more weight on the initial phase of the epidemic. The time intervals taken into account for each error criterion are determined as 0 – 56 weeks for  $E_1$  and 0 – 29 weeks for  $E_2$ , respectively. Error thresholds are set as the error levels of “acceptable” models and they are chosen as  $E_1 < 0.1$  and  $E_2 < 0.19$ . The intervals corresponding to the “acceptable” error values are 2.9 – 4.2 for  $R_0$ , 3 – 5 days for  $T$  and  $10^{-7}$ - $10^{-9}$  for  $I_0$ . It is also observed that high  $R_0$  values correspond to low total error while low  $R_0$  values correspond to high errors in the initial phases. Even though the infectious period interval for the Netherlands lies within reasonable bounds of influenza epidemics, the intervals observed for  $R_0$  the Netherlands cases are outside the expected ranges for flu type epidemics. As the values for the mean duration of the infectious period is within the ranges in the literature, we may conclude that discrepancy of the values reported in the literature for  $R_0$  and the ones obtained in our work is not caused by computational errors, but it reflects the characteristics of the epidemic in that country.

### 3.1.2. Determination of Epidemic Parameters for the Istanbul Data

In this section, we focus on determining the parameters of the SIR model for the 2009 A(H1N1) epidemic in Istanbul, Turkey. A further support for the dependency of  $R_0$  on the population density is provided by the analysis of the 2009 A(H1N1) data collected in Istanbul. Istanbul, the most densely populated city in Turkey, with a population of 12.92 millions and with a population density of 2431 persons/km<sup>2</sup>, in 2009 (Source: Turkish Statistical Institute), serves as an important case study.

In the context of an extensive survey on the 2009 A(H1N1) epidemic (Ergonul et. al., 2014), information on (adult) patients referred to major hospitals in Istanbul, Turkey, were collected. The available data for this analysis consists of hospital records collected from six major state hospitals during the period of May 2009 to February 2010 (Ergonul et. al., 2014). To ensure consistency in the analysis, the first wave of the epidemic, which occurred between June 2009 and September 2009 and had no fatalities, is excluded from the dataset. Therefore, the analysis is based on a 200-day period spanning from September 1, 2009, to February 28, 2010. The data for the second wave of the epidemic consist of 869 cases of hospital referrals and the date of fatality of 46 patients. This dataset includes information such as the date of referral to the hospital, the date when symptoms started (as reported by the patient), the discharge date (which coincides with the referral date if the patient was not hospitalized), the date of transfer to the intensive care unit (if applicable), and the date of fatality. In Figure 3, we present the raw data for hospital referrals and cumulative fatalities.

Through the analysis of this data, we will obtain model parameters that once again fell outside the typical ranges reported in the literature. The consistent pattern of high  $R_0$  values observed in both the

Netherlands and Istanbul highlights the significant role of population density in understanding the dynamics of epidemic spread. The findings of Istanbul provide additional evidence for the influence of population density on disease transmission, emphasizing its importance in analyzing and interpreting epidemic patterns.

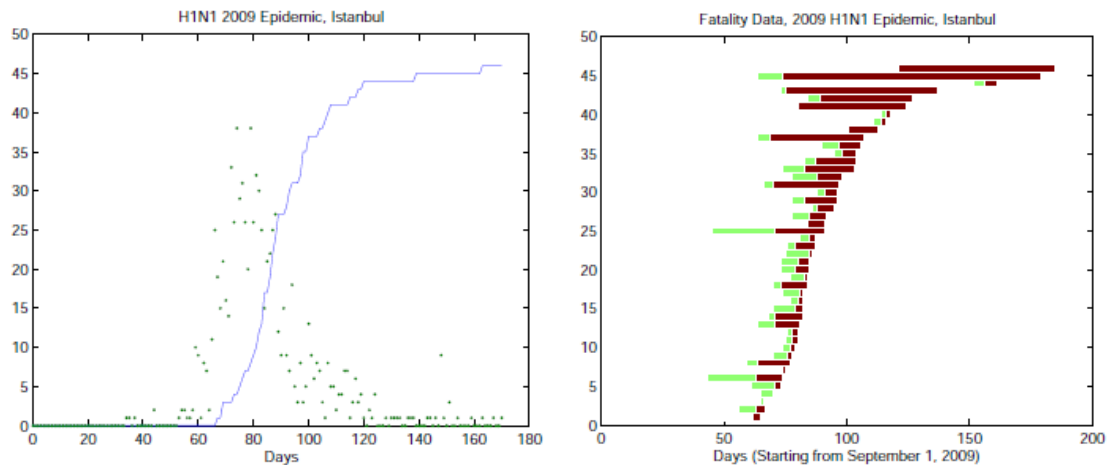
Our analysis starts with the following ranges:  $1.5 \leq R_0 \leq 8$  (0.1 steps),  $2 \leq T \leq 20$  (1 steps) and  $1 \leq k \leq 10$  (0.2 steps) where  $I(0) = 10^{-k}$  and we use the least squares error norm as the performance criteria, computed as follows. Assume that we want to obtain the error in modeling data represented by the column vector  $X$ , by a theoretical model represented by the column vector  $Y$ , both of length  $n$ . In matrix notation, the least squares error can be conveniently computed by  $\sqrt{(X - Y)^t(X - Y)}$ . Here we will be interested in the relative error, hence we define the error  $E$  as

$$E = \frac{\sqrt{(X - Y)^t(X - Y)}}{\sqrt{X^t X}}$$

where the superscript  $t$  denotes the transpose.

To take into account extended hospitalization periods, we compute least squares errors for the beginning ( $E_1: 0 - 80$  days) and for the intermediate ( $E_2: 81 - 100$  days) periods. The error thresholds are chosen  $E_1 < 0.04$  and  $E_2 < 0.13$ .

73 different simulations for the parameter intervals and the error bounds are also compared. The intervals corresponding to the minimum error values are 4.2-5.4 for  $R_0$ , 13-15 for  $T$  and  $10^{-7} - 10^{-8.8}$  for  $I_0$ . It is also observed that high  $R_0$  values correspond to low total error while low  $R_0$  values correspond to high errors in the initial phases.



**Figure 3.** The daily number of referrals to hospitals and cumulative number of fatalities for the 2009 A(H1N1) epidemic in Istanbul, Turkey. The scatter in the number of daily referral to hospitals indicates that the hospitalization rate varies during the epidemic. The asymmetry of the incidence curve is still observable. The fatalities shown here are adjusted to at most 15 days after referral to the hospital (left panel). The duration of symptoms prior to hospitalization (light color) and the duration of hospitalization prior to death (dark color) for the fatalities during the epidemic in Istanbul are shown in the right panel.

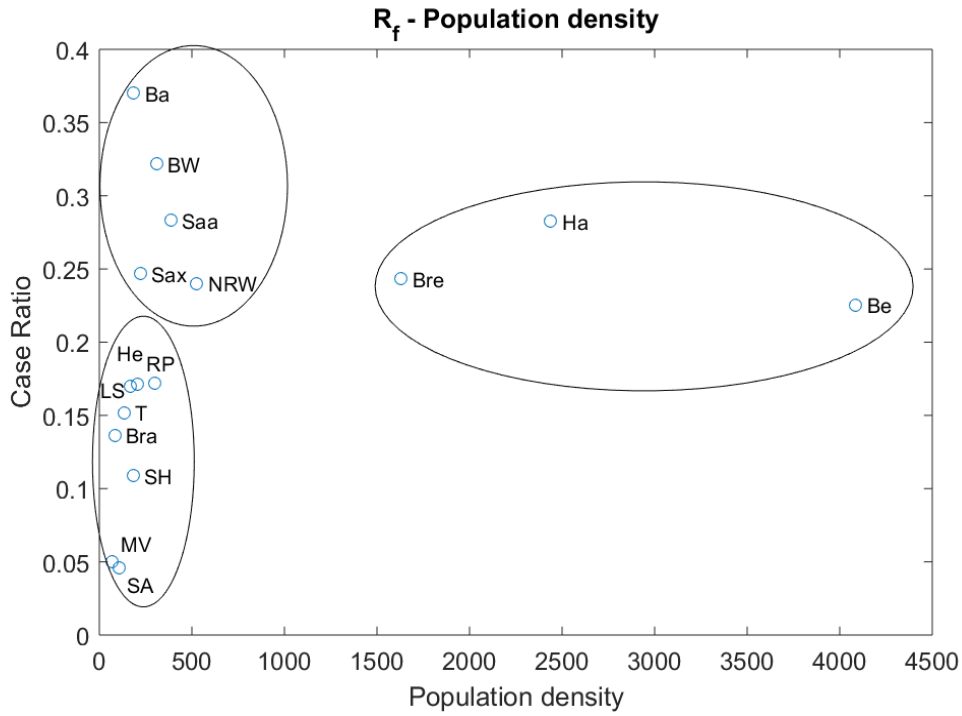
To summarize our findings for the 2009 A(H1N1) for Istanbul, Turkey and for the Netherlands, the epidemic parameters  $R_0$  and  $T$  (mean duration of the epidemic) are found to be in the ranges 4.2 – 5.4, 13 – 15 days and 2.9 – 4.2, 3 – 5 days, respectively. The values for  $R_0$  which fall outside the usual influenza epidemic parameter values are interpreted by the high population density of both regions. The mean duration of the epidemic for the Netherlands is the same with the values in the literature for other European countries. Larger values of  $T$  for Istanbul may be tied to the failure of taking into account extended hospitalization periods.

### 3.2. *The Covid-19 in Germany*

In this section, the focus is on studying the Covid-19 data for Germany, from February to June 2020. This time frame captures the early stages and initial spread of the Covid-19 pandemic in Germany, and it can be considered as the first wave of the epidemic. The data consist of total cases for the federal states, and it can be interpreted as the final value of the removed individuals at the end of the first wave. As the same health care practices were effective over the whole country, we may assume that the proportionality constant between confirmed cases and total infections is the same for all states, therefore total number of cases represents the final value of removed individuals  $R_f$ , in each state with the same proportionality constant. Furthermore, as the original virus was dominant during that period, variations in  $R_0$  arise from variations in the contact rate only. Thus, the scatter plot of the total number of cases versus the contact rate should follow the variation of  $R_f$  versus  $R_0$  after appropriate scalings.

Total population, foreign population, total cases, population densities and relevant ratios for the federal states are given below in Table 2.

In Figure 4 above, we present the scatter plot of the ratio of total cases with respect to population density. In this plot, we clearly see a cluster structure; the 3 city-states, Berlin, Hannover and Bremen, and the other states form 2 clusters, but unlike the 2009 A(H1N1) data for European countries, there is no obvious dependency on the population density.



**Figure 4.** Percentage of cases versus population density.

On the other hand, the scatter plot of case ratios versus the ratio of foreign population, shown on Figure 5, displays a functional dependency. The 3 city-states still appear to form a separate cluster, and data of Bavaria seems to be an outlier.

We aim to quantify the relation between  $R_0$  and the population density and the density of the foreign population as observed in Figure 4 and Figure 5. Recall that  $R_0$  is known to be in the form  $R_0 = \nu C T$  where  $\nu$  is the virulence of the virus,  $C$  is the contact rate and  $T$  is the duration of the infectious period. Since  $\nu$  and  $T$  are invariants of our data, the variation in  $R_0$  is directly proportional to  $C$ .

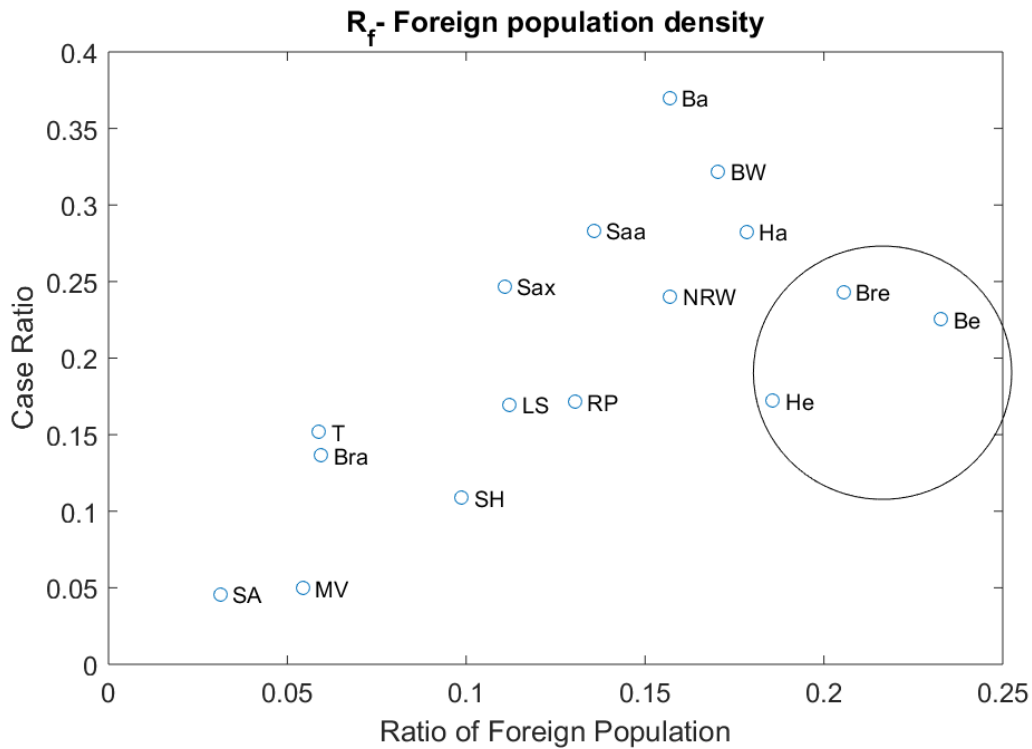
We aim to obtain a bilinear model for the contact rate, hence for  $R_0$ , since it is a constant multiple of  $C$ , in the form,

$$R'_0 = C_0 + C_1 (\text{population density}) + C_2 (\text{ratio of foreign population}) \quad (2)$$

where  $C_0$ ,  $C_1$  and  $C_2$  are constants to be determined and  $R'_0$  denotes the least squares estimate of  $R_0$ . For this purpose we proceed as follows.

$R_0$  and the final proportion of removed individuals obey the formula  $R_0 = -\ln(1 - R_f)/R_f$ , as given by equation 2. In this formula, we replace  $R_0$  by  $\nu C T$  to obtain

$$\nu C T = -\ln(1 - R_f)/R_f \quad (3)$$



**Figure 5.** Percentage of cases versus the ratio of foreign population.

**Table 2.** Demographic information and Covid-19 case records for the federal states of Germany.

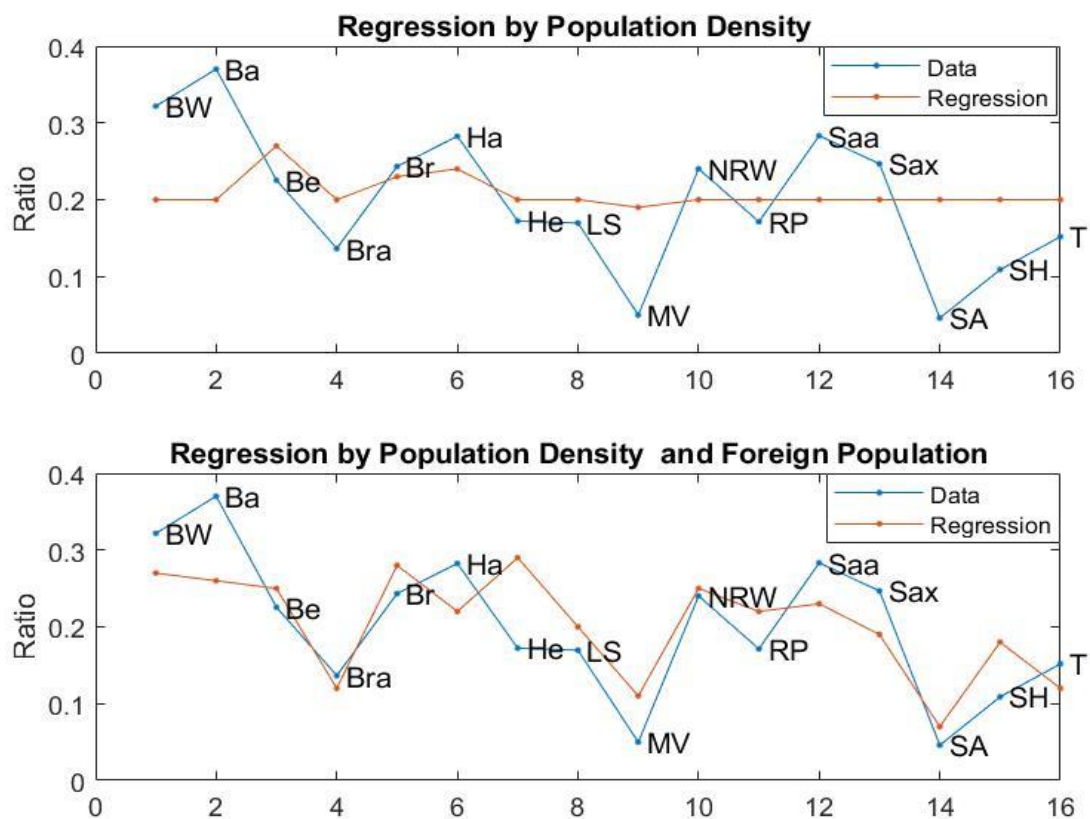
Province	Population	Foreign	Ratio of Foreign Population	Total Cases	Percentage of Total Cases	Population Density
Baden-Württemberg	11069533	1885925	0.1704	35620	0.3218	310
Bavaria	13076721	2051505	0.1569	48400	0.3701	185
Berlin	3644826	848400	0.2328	8220	0.2255	4,086
Brandenburg	2511917	149540	0.0595	3429	0.1365	85
Bremen	682986	140330	0.2055	1662	0.2433	1,630
Hamburg	1841179	328375	0.1784	5201	0.2825	2,439
Hesse	6265809	1163800	0.1857	10795	0.1723	297
Lower Saxony	7982448	895490	0.1122	13535	0.1696	168
Mecklenburg-Vorpommern	1609675	87410	0.0543	802	0.0498	69
North Rhine-Westphalia	17932651	2815800	0.1570	43066	0.2402	526
Rhineland-Palatinate	4084844	532230	0.1303	6996	0.1713	206
Saarland	990509	134350	0.1356	2806	0.2833	386
Saxony	2208321	244415	0.1107	5448	0.2467	221
Saxony-Anhalt	4077937	127670	0.0313	1871	0.0459	108
Schleswig-Holstein	2896712	286270	0.0988	3154	0.1089	183
Thuringia	2143145	126270	0.0589	3254	0.1518	133

Based on the assumption that  $R_f$  and  $C$  are proportional to case ratios and contact rates, respectively, we anticipate that they will obey the same functional relationship up to scalings, as described by equation 3. Consequently, we seek to establish a bilinear regression that relates  $C$  as defined above, where  $R_f$  is replaced by a constant multiple  $k$  of case ratios. To ensure consistency, the proportionality constant  $k$  needs to be selected in a manner that allows the percentage of total cases, multiplied by  $k$ , to fall within reasonable ranges. Additionally, the estimated values of  $R_0$  should be consistent with the values reported in the existing literature. Considering these factors, we have chosen the value of  $k$  to be 2.

Bilinear regression after excluding Bavaria and 3 cities (Berlin, Hannover and Bremen) discloses the following parameters:

$$C_0 = 0.9997, \quad C_1 = 0.4785, \quad C_2 = 1.3771.$$

The parameter  $C_2$ , which represents the effect of the ratio of the foreign population in a state, carries more weight in the bilinear regression analysis compared to the population density. This suggests that the presence of foreign population has a significant influence on the contact rates and, consequently, the spread of the epidemic.



**Figure 6.**  $R_f$  versus  $R_0$ . Theoretical (blue curve), regression (red data points).

In Figure 6, the solid line represents the curve of  $R_f$  versus  $R_0$ , as computed from equation 2. The dots on this curve represent the pairs  $(R_0, R_f)$  obtained by replacing  $R_f$  with the total case ratio multiplied by a constant factor  $k$ , with  $k = 2$ . The data points marked with (\*) correspond to the pairs  $(R_f, R'_0)$ , where  $R_f$  is as previously defined, and  $R'_0$  represents the estimated value for  $R_0$  obtained through the least squares regression. Additionally, the data points marked with (o) represent the estimates for Berlin, Bremen, Hamburg, and Bavaria, derived from the model. As expected, the model tends to overestimate  $R_0$  for Berlin, Bremen, and Hamburg, while underestimating it for Bavaria. These observations demonstrate the comparison between the computed values from the model and the estimated values obtained through regression. The deviations between the model estimates and the actual values highlight the variations in the epidemic dynamics and the influence of specific factors in different regions.

#### 4. Conclusions

This article aims to illustrate the role of population density and the contact rates on the basic reproduction number. The effect of the population density is discussed via 2 cases, the data for the 2009 A(H1N1) epidemic in Istanbul and the Netherlands, while the effect of contact rates is analyzed for the Covid-19 data for the federal states of Germany.

To determine the epidemic parameters for the Istanbul data, we compare the normalized cumulative fatality data with the solutions of the SIR model. To obtain the best-fitting model, two different error criteria are employed. Parameter for best fitting models deviate from the typical values associated with influenza epidemics. Specifically, the minimum error values for the Istanbul data correspond to 4.2 – 5.4 and 13 – 15 for  $R_0$ , and  $T$  respectively. These findings suggest that the 2009 A(H1N1) epidemic in Istanbul exhibits unique characteristics and differs from the usual patterns observed in influenza epidemics.

Similarly, we perform the same analysis to the Netherlands, with a similar population density. We compare the normalized cumulative fatality numbers from the weekly reports by the ECDC with the solutions obtained from the SIR model. Using the same error criteria employed for the Istanbul analysis, we determine the best-fitting model for the Netherlands. As a result, the minimum error values for the Netherlands data correspond to the parameter ranges of 2.9-4.2 for  $R_0$ , 3-5 for  $T$ , and  $10^{-7}$ - $10^{-9}$  for  $I_0$ . These parameter ranges, similar to those found for Istanbul, deviate from the typical parameter values associated with influenza epidemics.

We note that variations in the contact rate cannot be solely attributed to population density. Cultural differences and societal factors can also play a significant role in shaping the strength of interactions within a community which may also affect the contact rate, hence the Basic Reproduction Number  $R_0$ . To highlight this point, we extend our analysis to include the Covid-19 data for the federal states of Germany during the period from February to June 2020. In this analysis, as the quality of the health care is uniform overall Germany, we assume that the proportionality constant between confirmed cases and

total infections remains the same across all federal states. Using the method of determining  $R_0$  from  $R_f$ , we investigate the relationship between these parameters and various factors. Notably, we find that there is no evident dependency on population density, which contrasts with our observations from the 2009 A(H1N1) data for European countries. Instead, our analysis reveals that the ratio of the foreign population within a state holds more weight in the regression analysis compared to population density. This suggests that demographic factors, such as the presence of foreign inhabitants, exert a significant influence on the contact rate and consequently impact the determination of  $R_0$ .

### **Acknowledgment**

We would like to thank Prof. Onder Ergonul for providing insight into the 2009 A(H1N1) data for Istanbul.

### **Conflict of Interest**

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

### **Authors' Contributions**

All authors contributed to the article and approved the submitted version.

### **References**

- Ahmetolan S., Bilge AH., Demirci A., Peker-Dobie A., Ergonul O. What can we estimate from fatality and infectious case data using the susceptible-infected-removed (SIR) model? A case study of covid-19 pandemic. *Frontiers in Medicine* 2020; 7: 556366.
- Bilge AH., Samanlioglu F., Ergonul O. On the uniqueness of epidemic models fitting a normalized curve of removed individuals. *Journal of Mathematical Biology* 2015; 71(4): 767-794.
- Bilge AH., Samanlioglu F. Determination of epidemic parameters from early phase fatality data: A case study of the 2009 A(H1N1) pandemic in Europe. *International Journal of Biomathematics* 2018; 11(2): 1850021.
- Boëlle PY., Ansart S., Cori A., Valleron AJ. Transmission parameters of the A/H1N1 (2009) influenza virus pandemic: a review. *Influenza and Other Respiratory Viruses* 2011; 5(5): 306-316.
- Chen K., Li Z. The spread rate of SARS-CoV-2 is strongly associated with population density. *Journal of Travel Medicine* 2020; 27(8): 1-2.
- ECDC weekly influenza surveillance overview reports, Week 36 2009- Week 21 2010,
- Del Fava E., Cimentada J., Perrotta D., Grow A., Rampazzo F., Gil-Clavel S., Zagheni E. The differential impact of physical distancing strategies on social contacts relevant for the spread of COVID-19: Evidence from a multi-country survey. *MedRxiv* 2020-05.



- Ergönül Ö., Alan S., Ak Ö., Sargin F., Kantürk A., Gündüz A., et al. Predictors of fatality in pandemic influenza A (H1N1) virus infection among adults. *BMC Infectious Diseases* 2014; 14(1): 317.
- Esteve A., Permanyer I., Boertien D., Vaupel JW. National age and coresidence patterns shape COVID-19 vulnerability. *Proceedings of the National Academy of Sciences - PNAS* 2020; 117(28): 16118-20.
- Hamidi S., Sabouri S., Ewing R. Does density aggravate the COVID-19 Pandemic?: Early findings and lessons for planners. *Journal of the American Planning Association* 2020; 86(4): 495-509.
- Hethcote HW., Tudor DW. Integral equation models for endemic infectious diseases. *Journal of Mathematical Biology* 1980; 9(1): 37-47.
- Ibrahim AM., Mohammed Eid M., Mostafa NN., Mohamed Bishady NE., Elghalban SH. Modeling the effect of population density on controlling covid-19 initial spread with the use of MATLAB numerical methods and stringency index model. 2nd Novel Intelligent and Leading Emerging Sciences Conference (NILES) 2020, Paper no: 612-617.
- Kermack WO., McKendrick AG. A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of A Mathematical and Physical Character* 1927; 115(772): 700-721.
- Mogi R., Spijker J. The influence of social and economic ties to the spread of COVID-19 in Europe. *Journal of Population Research* 2022; 39(4): 495-511.
- Prem K., Cook AR., Jit M. Projecting social contact matrices in 152 countries using contact surveys and demographic data. *PLoS Computational Biology* 2017; 13(9): e1005697.
- Prem K., Zandvoort K., Klepac P., Eggo RM., Davies NG. Centre for the Mathematical Modelling of Infectious Diseases Covid-19 Working Group, Cook AR., Jit M. Projecting contact matrices in 177 geographical regions: An update and comparison with empirical data for the COVID-19 era. *PLoS Computational Biology* 2021; 17(7):e1009098.
- Samanlioglu F., Bilge AH. An overview of the 2009 A(H1N1) pandemic in Europe: efficiency of the vaccination and healthcare strategies. *Journal of Healthcare Engineering* 2016; 2016: 1-13.
- Simonsen L., Spreeuwenberg P., Lustig R., Taylor RJ., Fleming DM., Kroneman M, et al. Global mortality estimates for the 2009 influenza pandemic from the glamor project: a modeling study. *PLoS Medicine* 2013; 10(11): e1001558.
- Tuite AR., Greer AL., Whelan M., Winter A., Lee B., Yan P, et al. Estimated epidemiologic parameters and morbidity associated with pandemic H1N1 influenza. *Canadian Medical Association Journal (CMAJ)* 2010; 182(2): 131-136.
- WHO. Writing committee of the WHO consultation on clinical aspects of pandemic (H1N1) 2009 influenza. *Clinical aspects of pandemic 2009 influenza A (H1N1) virus infection. The New England Journal of Medicine* 2010; 362(18):1708-1719.
- WHO. World Health Organization. Transmission dynamics and impact of pandemic influenza A (H1N1) 2009 virus, *Weekly epidemiological record*. November 2009; 84(46).

## Depolama Süresinin Farklı Yağ Oranlarındaki Set Tipi Yoğurdun Fizikokimyasal, Duyusal ve Tekstürel Özelliklerine Etkisi

Celile Aylın OLUK<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, 01321 Yüreğir, Adana

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-8939-3610>

\*Sorumlu yazar: celileaylin.oluk@tarimorman.gov.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 22.09.2023

Kabul tarihi:06.02.2024

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Yoğurt

İnek sütü

Renk

Geri ekstrüzyon

### ÖZ

Bu çalışma ile yağlı ve yarı yağlı set tipi yoğurdun depolama süresince fizikokimyasal, duyusal ve tekstürel açıdan farklılıklarının ortaya konulması amaçlanmıştır. Depolama periyodu boyunca deneme yoğurt örneklerinde pH, kuru madde ve serum ayrılmasının azaldığı tespit edilmiştir. L ve Hue\* değerleri yağlı yoğurta 7. ve 15. günlerde sırasıyla 93,30 ve 79,62 ile en yüksek değerleri göstermiştir. En yüksek C\* değeri yarı yağlı yoğurta 15. günde (11,60) tespit edilmiştir. Yağlı yoğurtların genel beğeni, kıvam (kaşıkla ve ağızla) puanları yarı yağlı yoğurtlardan daha yüksek tespit edilmiştir. İstatistiksel değerlendirme sonucunda, yağlı yoğurta 7. günden sonra sertlik, konsistens, içyapışkanlık (kohesivlik) ve viskozite indeksi değerlerinin yarı yağlı yoğurttan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada, set tipi yoğurtların duyusal ve tekstürel özelliklerinde yağ içeriğine bağlı olarak farklılıklar tespit edilmiştir.

## Effect of Storage Time on Physicochemical, Sensory and Textural Properties of Set Type Yoghurt with Different Fat Contents

### Research Article

#### Article History:

Received: 22.09.2023

Accepted: 06.02.2024

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

Yogurt

Cow milk

Colour

Back extrusion

### ABSTRACT

This study aimed to reveal the physicochemical, sensory and textural differences of fatty and half-fat set type yoghurt during storage. It was determined that pH, dry matter and serum separation decreased in the both yoghurt samples during the storage period. L and Hue\* values showed the highest values in fatty yoghurt on the 7<sup>th</sup> and 15<sup>th</sup> days, with 93,30 and 79,62, respectively. The highest C\* value (11,60) was detected in half-fat yoghurt on the 15<sup>th</sup> day. The general overall, consistency (with a spoon and by mouth) scores of fatty yoghurts were determined to be higher than half-fat yoghurts. As a result of the statistical evaluation, it was determined that the hardness, consistency, cohesiveness and viscosity index values of fatty yoghurt were higher than those of half-fat yoghurt after the 7<sup>th</sup> day. In this study, differences were detected in the sensory and textural properties of set type yoghurts containing different amounts of fat, depending on the fat content.

**To Cite:** Oluk CA. Depolama Süresinin Farklı Yağ Oranlarındaki Set Tipi Yoğurdun Fizikokimyasal, Duyusal ve Tekstürel Özelliklerine Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(3): 1202-1214.

### 1. Giriş

Yoğurdun en popüler ve en çok talep edilen süt ürünlerinden biri olmasında sadece terapötik etkileri değil, aynı zamanda kendine has tat ve aroması gibi duyusal özellikleri ile doku ve kıvam gibi tekstürel özellikleri de etkili olmaktadır (Chen ve ark., 2017). Türk Gıda Kodeksi Fermente Süt

Ürünleri Tebliği'ne göre yoğurdun tanımı “Fermantasyonda spesifik starter kültür olarak *Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*'un birlikte kullanıldığı, inkübasyon sonrasında pıhtısı karıştırılarak kırılmamış (set) ya da kırılmış (stirred) formda elde edilen ve son tüketim tarihinde yeterli sayıda, canlı ve aktif starter bakteri bulduran fermente süt ürünü ” olarak yapılmıştır (Anonim, 2023).

Yoğurdun benzersiz, zayıf jel benzeri dokusu, fermantasyonun oluşturduğu asidik ortam tarafından denatüre edilen proteinlerin (kazein ve peynir altı suyu proteini) üç boyutlu karmaşık ağ yapısının bir sonucudur (Das ve ark., 2019). Süt yağı globülleri, kazein ağında hareketsizdir ve protein jel yapısında hapsolmuş çok büyük, nispeten pürüzsüz küreler halinde bulunurlar (Astráin-Redín ve ark., 2023). Süt proteinleri amfifilik doğalarından dolayı yağ globüllerinin yüzeyine absorbe edilebilir. Bağlı proteinlere sahip yağ kürecikleri ağın yapımında işlev görür (Sandoval-Castilla ve ark., 2004). Geriye kalan suda çözünür kısım, katlanmamış ayrılmış peynir altı suyu proteini ve serumda asılı duran yağ küreciklerinden oluşur. Hammaddenin yağ içeriği, istenilen yapısal ve organoleptik özelliklere sahip yoğurdun üretiminde oldukça önemlidir (Robinson ve ark., 2006; Akgun ve ark., 2016; Ahmed ve Razig, 2017). İyon odaklı lazer mikroskop kullanılarak yapılan görüntüleme bakteriyel aktivasyon ve pH düşüşü nedeniyle oluşan koloidal kazein jel ağı, genel reolojik ve dokusal özelliklerle niteliksel olarak ilişkilendirilmiştir (Lee ve Lucey, 2004). Yoğurt ürünlerinin dokusal ve reolojik özellikleri; mikroorganizmaların türüne, inkübasyon süresine, inkübasyon sıcaklığına, karıştırmaya, ısıl işleme, toplam kuru madde içeriğine, çiğ sütün bileşimine, yağ oranına, depolama süresine, stabilizatörlerin eklenmesine ve bileşimine göre değişebilmektedir (Chen ve ark., 2017; Das ve ark., 2019).

Son yıllarda probiyotik yoğurtların (Çomak-Göçer ve ark., 2016; Çakmakçı ve ark., 2019), bitki ekstraktları ile zenginleştirilmiş yoğurtların (Arslaner ve ark., 2021; Bulut ve ark., 2021), keçi-inek sütü karışım yoğurtlarının (Kesenkaş ve ark., 2017) fizikokimyasal ve yapısal özellikleri ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Güler ve Park (2011), Türk set tipi yoğurtların aroma profili ve duyu analizi arasındaki ilişkiyi incelemişler ve yağ ile genel kabul edilebilirlik arasında ilişki olduğunu belirtmişlerdir. Rashwan ve ark. (2023), tropikal *Melastoma dodecandrum* ilave edilmiş set-tipi yoğurtlarda yaptıkları çalışmada süt yağı küreciklerinin kaybolduğunu belirlemişlerdir.

Bu çalışmada yağlı ve yarım yağlı set tipi yoğurtların fizikokimyasal, tekstürel ve duyu özellikleri belirlenmiştir. Bu kapsamda üretilen yoğurtların soğukta 21 gün muhafazası süresince bazı fizikokimyasal ve tekstürel değişimleri takip edilmiş, ayrıca üretilen yoğurtların duyu açısından beğenilme derecesi izlenmiştir. Yapılan çalışma ile farklı yağ özelliklerinin endüstriyel şartlarda üretilen set tipi yoğurtların, tekstürel ve duyu özelliklerinin depolama süresince değişiminin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Yoğurt üretimleri Çay Çiftlik ürünleri San. Tic. Ltd. Şti.'de gerçekleştirilmiştir. Sütler yarım yağlı yoğurt için %1,5'e, yağlı yoğurt için %3,0'a krema separatörü aracılığıyla (REDA RE350T

35000l/saat kapasiteli) standardize edilmiştir. Homojenizasyon 55-60°C'de 190 barda yapılmıştır. Süt tozu ilave edilmiş yoğurtların kuru maddeleri %12,5'e standardize edilmiş ve her iki yoğurdun sütü 95°C 5 dakika ısıtılardan sonra 43°C'ye soğutulmuştur. %3 YO-PROX 570+YO-PROX-738 (BI-PROX-Fransa) (*Streptococcus thermophilus* ve *Lactobacillus bulgaricus*) ticari yoğurt kültürleri inoküle edilmiştir. 3,5-4 saat 44-47°C'de inkübe edilen yoğurtlar, inkübasyon süresinde belli aralıklarla pH'ları izlenmiştir. İnkübasyon, pH yaklaşık 4,70'e ulaştınca sonlandırılmış, yoğurtlar oda sıcaklığında 30 dakika ön soğutulduktan sonra 4°C'de depolamaya alınmıştır. Araştırma üç paralel ve üç tekerrürlü yürütülmüş ve yoğurtlar 1., 7., 14., ve 21. günlerde analizlere tabi tutulmuştur.

### **2.1. Kuru Madde Tayini**

Darası alınan tek kullanımlık alüminyum kurutma kapları içerisine 5'er g yoğurt örneği tartılarak 100-105°C'deki kurutma fırınında kurutulmuş ve kurutma işlemi bittikten sonra örnekler soğutulup tartılarak % kuru madde içeriği saptanmıştır (Arslaner ve ark., 2021).

### **2.2. Yağ Tayini**

Gerber yöntemiyle yağ içeriği belirlenmek üzere 10'ar g tartılan yoğurt örneklerinin üzerine 10 mL saf su ilave edilmiş ve bu karışımdan 11 mL alınıp bütirometrelere konulmuştur. Santrifüj işleminden sonra volümetrik değerin 2 ile çarpılmasıyla örneklerin % yağ içeriği saptanmıştır (Yıldız ve Bakırcı, 2019).

### **2.3. Protein Tayini**

Yoğurtlardaki protein miktarı, Kjeldahl yöntemi ile azot miktarlarının saptanması sonucu % toplam azot miktarının 6,38 faktörüyle çarpılması ile belirlenmiştir (Kurt ve ark., 2003).

### **2.4. Serum ayrılması (Sineresiz)**

Adi filtre kâğıdı kullanılarak 25 g yoğurt örneği 4±1°C'de 2 saat süreyle filtre edilmiş ve oluşan süzüntüden volümetrik olarak serum ayrılması miktarı saptanmıştır (Yıldız ve Bakırcı, 2019).

### **2.5. pH Tayini**

Yoğurt örneklerinin pH değeri, kalibrasyonu yapılmış pH-metre (Mettler Toledo, IONS220) kullanılarak ölçülmüştür.

### **2.6. Renk Tayini**

Yoğurtların renk değerleri Chroma Meter CR-5 (Konica Minolta) kullanılarak ölçülmüştür. Yoğurtlar analiz edilmeden önce beyaz plaka ile Chroma ölçer kalibre edilmiştir. Homojen hale getirilen yoğurt örneklerinin L\* a\* b\* değerleri 3 paralel ortalaması alınarak hesaplanmıştır (Martley ve Michel, 2001). Bu ölçümlere ilave olarak, C\* (renk yoğunluğu) ve hue\* açısı (renk homojenliği) değerleri

hesaplanmıştır (Lee ve Castle, 2001). Hue değeri, derece olarak hue açısını göstermekte olup 0° olması +a eksenine (kırmızı), 90° olması +b eksenine (sarı) karşılık gelmektedir (Wertz ve ark., 2004).

## 2.7. Deneme yoğurtlarında tekstürel ve reolojik analizler (Geri ekstrüzyon (back extrusion))

Deneme yoğurt örneklerinin geri ekstrüzyon analizi, Boz (2012) tarafından verilen metotta bazı modifikasyonlar yapılarak gerçekleştirilmiştir. Analizde TA.XTplus Texture Analyzer (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Surrey, U.K) cihazı 36 mm çapa sahip prob kullanılmıştır. Yoğurt örneklerinin geri ekstrüzyon analizinde test hızı, ön test hızı 1,00 mm/s, test sonrası hızı parametreleri 10,00 mm/s olarak kullanılırken mesafe 40 mm ve tetikleme gücü ise 5 g olarak gerçekleştirilmiştir. Yoğurt örneklerinin geri ekstrüzyon analizinde; proba uygulanan maksimum sıkıştırma kuvvetinin göstergesi olan sertlik (firmness) (N), ileri ekstrüzyonda elde edilen kurve altındaki alanı niteleyen konsistens (consistency) (N.s), probun çekilmesiyle oluşan maksimum kuvvetin göstergesi olan iç yapışkanlık (N) ve probun geri çekilmesi esnasında meydana gelen negatif kurve alanını ifade eden viskozite indeksi (N.s) parametreleri incelenmiştir.

## 2.8. Duyusal Analizler

Yoğurt örneklerinin duyusal analizleri, depolamanın 1., 7., 14. ve 21. günlerinde Anonim (2006) tarafından belirtilen kriterlere göre Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü laboratuvar personelinden oluşan süte alerjisi ve duyarlılığı olmayan 8 kişilik panelist grup tarafından 5 puan üzerinden yapılmıştır.

## 2.9. İstatistiksel analizler

Araştırmada yağlı ve yarım yağlı yoğurtların depolama günlerinin (1. 7. 14. ve 21.) analiz sonuçlarının parametrelerin ortalamaları ve standart sapmaları JMP istatistik programında All Pairs Tukey HSD testi ile belirlenmiştir. Önemli bulunan grupların istatistiksel analizde önemlilik düzeyi  $p < 0.05$ ) olarak alınmıştır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada kullanılan sütlere ait bazı fizikokimyasal analizlere ait değerler Tablo 1’de verilmiştir. Yoğurt örneklerinin fizikokimyasal özelliklerinin depolama süresince değişim ise Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Yoğurt üretiminde kullanılan sütün bazı fizikokimyasal analiz sonuçları

	pH	Yağ (%)	Kuru madde (%)
Yağlı	6,57	3,4	13,4
Yarım yağlı	6,62	1,7	13,1

Yağlı yoğurdun kuru maddesi 12,51-13,17 arasında değişirken, yarım yağlı yoğurdun kuru maddesi 10,85-12,26 arasında değişmiştir. Depolama süresi boyunca her iki grup yoğurt örneklerinde kuru madde değerlerinde önemli düşüşler gözlenmiştir. Yapılan analizlerde çeşitler arasındaki ve depolama sürelerine bağlı gözlenen farklılıkların istatistiki açıdan önemli olduğu tespit edilmiştir ( $p<0.05$ ). Probiyotik kültür kullanarak inek sütünden üretilmiş yoğurtların toplam kuru madde içeriği %13,88-14,68 arasında değişmiştir (Kavaz Yüksel ve Bakırcı, 2015). Yoğurdun kuru madde içeriği, protein ve yağ içeriğinden etkilenmiştir. Süt yağı içeriğindeki artış, çözünebilir minerallerin toplam miktarındaki azalma nedeniyle kuru madde içeriğindeki azalma ile ilişkilendirilmiştir (Madadlou ve ark., 2005; Kim ve ark., 2020). Yağlı yoğurdun yağ oranı 3,00-3,07 arasında değişirken, yarım yağlı yoğurtların oranı 1,54-1,60 arasında değişmiştir. Depolama süresindeki artışa paralel olarak, her iki grup yoğurt örneklerindeki yağ değerlerinde azalma gözlenmiştir. Çeşitler arasındaki farklılıklar istatistiki açıdan önemli bulunurken ( $p<0.05$ ) depolama süresine göre belirlenen farklılıkların istatistiki açıdan önemli olmadığı tespit edilmiştir ( $p>0.05$ ). Türk Gıda Kodeksi Fermente Süt Ürünleri Tebliği'ne göre yağlı yoğurt en az 3,0; yarım yağlı yoğurt en az 1,5 yağ içermelidir (Anonim, 2023). Yoğurt yapımında starter kültür olarak kullanılan *Str. thermophilus* ve *Lb. bulgaricus* 'un bakterilerinin lipolitik aktiviteye sahip olduğu belirlenmiştir. Yoğurt örneklerinin depolamaya bağlı yağ değerinin azalışı, yoğurt yapımında kullanılan starter kültürlerin ürettikleri enzimlerin süt yağını parçalamasından kaynaklı olduğu, yoğurt üretimi ve depolanması esnasında süt yağının parçalanıp serbest yağ asitlerinin arttığı bildirilmektedir (Alirezalu ve ark.,2019). Depolama süresince yoğurtların yağ oranları Tebliğde belirtilen değerlerin altına düşmemiştir. Örneklerin protein değerleri 3,39-4,30 arasında değişim göstermiştir. Çeşitler arasında farklılıklar istatistiki açıdan önemli bulunurken  $p<0.05$ ), yarım yağlı yoğurdun depolama sürelerine bağlı gözlenen farklılıkları istatistiki açıdan önemli olurken, yağlı yoğurttaki farklılık 15. günden sonra tespit edilmiştir ( $p<0.05$ ). İnek sütünden klasik yoğurt kültürü kullanarak üretilen yoğurdun proteini %3,38-3,82 arasında değişirken (Arslaner ve ark., 2021), yağsız yoğurdun proteini %4,1 bulunmuştur (İşleten ve Karagül-Yüceer, 2008).

**Tablo 2.** Yoğurtların depolama süresince değişen bazı fizikokimyasal değerleri\*

	Kuru madde (%)		Yağ (%)		Protein (%)		pH	
	Yağlı	Yarım yağlı	Yağlı	Yarım yağlı	Yağlı	Yarım yağlı	Yağlı	Yarım yağlı
1.gün	13,17±0,30 <sup>Aa</sup>	12,26±0,08 <sup>Ba</sup>	3,07±0,02 <sup>Aa</sup>	1,60±0,01 <sup>Ba</sup>	4,03±0,05 <sup>Aa</sup>	3,58±0,02 <sup>Ba</sup>	4,18±0,01 <sup>Aa</sup>	4,13±0,01 <sup>Ba</sup>
7.gün	12,92±0,10 <sup>Ab</sup>	11,80±0,18 <sup>Bb</sup>	3,03±0,02 <sup>Aa</sup>	1,57±0,02 <sup>Ba</sup>	3,98±0,02 <sup>Aa</sup>	3,48±0,02 <sup>Bb</sup>	4,11±0,01 <sup>Ab</sup>	4,11±0,01 <sup>Ab</sup>
15.gün	12,78±0,07 <sup>Ac</sup>	11,67±0,04 <sup>Bc</sup>	3,02±0,02 <sup>Aa</sup>	1,55±0,04 <sup>Ba</sup>	3,92±0,04 <sup>Aa</sup>	3,42±0,02 <sup>Bc</sup>	4,09±0,01 <sup>Ac</sup>	4,11±0,03 <sup>Ab</sup>
21.gün	12,51±0,12 <sup>Ad</sup>	10,85±0,06 <sup>Bd</sup>	3,00±0,01 <sup>Ab</sup>	1,54±0,04 <sup>Bb</sup>	3,82±0,02 <sup>Ab</sup>	3,39±0,01 <sup>Bc</sup>	4,07±0,01 <sup>Ac</sup>	4,05±0,01 <sup>Ac</sup>

\*(A,B): Aynı satır içinde farklı büyük harfle gösterilen değerler; örnekler arasındaki farklılıkların istatistiki açıdan önemli olduğunu göstermektedir ( $p<0.05$ )

(a-d): Aynı sütün içinde farklı küçük harfle gösterilen değerler, depolama süresine bağlı farklılıkların istatistiki açıdan önemli olduğunu göstermektedir ( $p<0.05$ )

Yoğurt örneklerinin pH değerleri 4,05-4,18 arasında değişmiştir. Her iki yoğurt örneğinin de depolama süresince pH değerleri düşmüştür ve bu düşme istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ( $p<0.05$ ). İnkübasyonu tamamlanan yoğurtların 4 °C’de 30 gün depolandıktan sonra pH değerlerinin depolamaya bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir (Çomak-Göçer ve ark., 2016). Gallina ve ark. (2011), yoğurtların pH’sının düşmesinin nedeninin, depolama sırasında laktozu tüketen bakteri aktivitesi nedeniyle laktik asit üretiminin devam etmesi olduğunu belirtmişlerdir.

Yoğurtların depolama süresince serum ayrılması renk değerleri Tablo3’de verilmiştir. Yağlı yoğurdun serum ayrılması 7,96-9,03ml arasında değişirken, yarım yağlı yoğurtta bu değer 8,96-10,03 ml arasındadır. Depolama süresince serum ayrılması değeri artmıştır. Çeşitler arasında ve depolama sürelerine bağlı gözlenen farklılıklar istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ( $p<0.05$ ). Kuru madde, protein miktarı, fermantasyon sıcaklığı, kullanılan starter kültür miktarları, yoğurt üretiminde süte uygulanan homojenizasyon gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösteren serum ayrılması değeri, yoğurtta bir kusur kabul edilir (Erkaya ve ark., 2011). Depolama periyodu ve sıcaklığı, serum ayrılması miktarını önemli ölçüde etkilemektedir (Bulut ve ark., 2021). Set tipi yoğurdun fiziksel olarak kırılmasından açığa çıkan serum olarak ifade ettiği sinerezisin, kuru madde ve protein oranının azalmasından kaynaklandığı belirtilmiştir (Temesgen ve Yetneberk, 2015). Ayrıca, Laiho ve ark. (2017), üründe asitlik arttıkça serum ayrılmasının arttığını, su tutma kapasitesinin azaldığını bildirmişlerdir. Tam yağlı sütten yapılan yoğurdun yapısındaki sinerezisin azalarak daha yüksek bir serum yüzdesi muhafaza edebildiği belirtilmiştir. (Brennan ve Tudorica, 2008). Le ve ark. (2011), süt yağı küreciklerinin yoğurt jelinin su tutma kapasitesini artırmaya yardımcı olabileceğini bildirmiştir. Yazarlar, süt yağı globüllerinin yoğurdun sertliğini arttırdığını ve yağsız yoğurtla karşılaştırıldığında daha yoğun mikro yapılar ürettiğini ve dolayısıyla su tutma kapasitesini arttırdığını belirtmişlerdir. Süt yağı ayrıca yoğurt karışımının fermantasyonu sonrasında oluşan protein jelinin büzülmesini stabilize eder ve peynir altı suyunun ayrılmasını engeller (Gyawali ve Ibrahim, 2016).

**Tablo 3.** Yoğurtların depolama süresince değişen serum ayrılması (%) ve renk değerleri\*

	Serum ayrılması (%)		L		Hue*		Chroma*	
	Yağlı	Yarım yağlı	Yağlı	Yarım yağlı	Yağlı	Yarım yağlı	Yağlı	Yarım yağlı
1.gün	9,03±0,05 <sup>Ba</sup>	10,03±0,05 <sup>Aa</sup>	91,68±0,07 <sup>Ab</sup>	91,35±0,09 <sup>Ab</sup>	79,62±0,04 <sup>Aa</sup>	78,30±0,09 <sup>Ba</sup>	11,08±0,02 <sup>Aa</sup>	11,26±0,09 <sup>Aa</sup>
7.gün	8,96±0,05 <sup>Ba</sup>	9,96±0,05 <sup>Ab</sup>	93,30±0,16 <sup>Aa</sup>	91,68±0,08 <sup>Ba</sup>	79,45±0,01 <sup>Aa</sup>	78,27±0,07 <sup>Ba</sup>	10,74±0,03 <sup>Bb</sup>	11,26±0,03 <sup>Aa</sup>
15.gün	8,03±0,05 <sup>Bb</sup>	9,93±0,11 <sup>Ab</sup>	91,75±0,12 <sup>Ab</sup>	91,35±0,10 <sup>Ab</sup>	79,53±0,03 <sup>Aa</sup>	77,55±0,02 <sup>Bb</sup>	11,53±0,07 <sup>Aa</sup>	11,60±0,02 <sup>Aa</sup>
21.gün	7,96±0,06 <sup>Bc</sup>	8,96±0,05 <sup>Ac</sup>	91,69±0,02 <sup>Ab</sup>	91,20±0,02 <sup>Ab</sup>	79,54±0,07 <sup>Aa</sup>	77,52±0,02 <sup>Bb</sup>	11,54±0,03 <sup>Aa</sup>	11,51±0,08 <sup>Aa</sup>

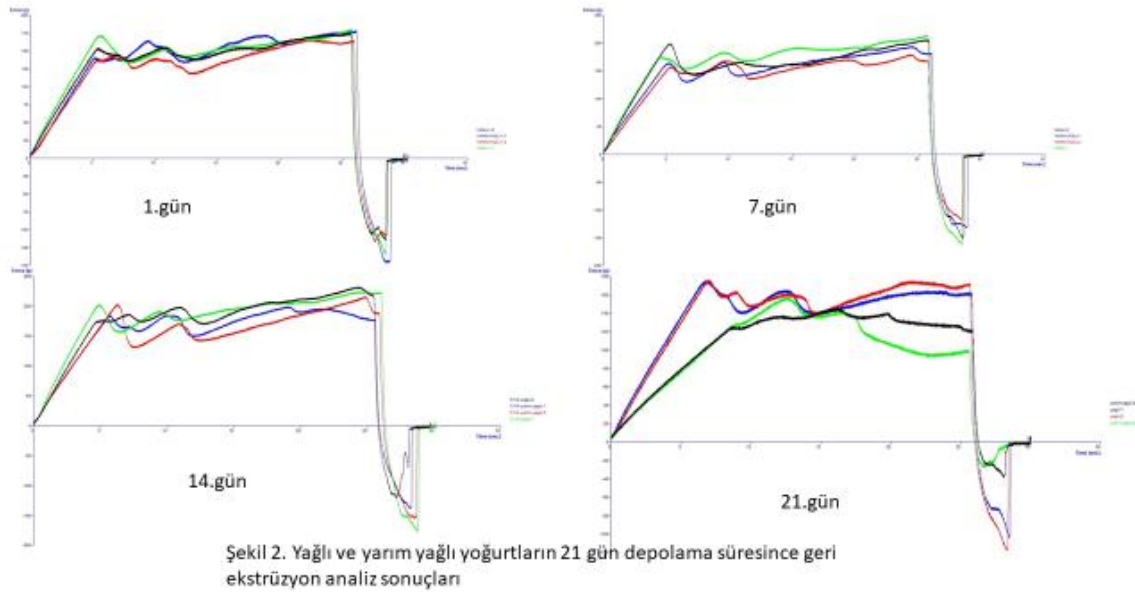
\*(A,B): Aynı satır içinde farklı büyük harfle gösterilen değerler; örnekler arasındaki farklılıkların istatistiki açıdan önemli olduğunu göstermektedir ( $p<0.05$ )

(a-c): Aynı sütun içinde farklı küçük harfle gösterilen değerler, depolama süresine bağlı farklılıkların istatistiki açıdan önemli olduğunu göstermektedir ( $p<0.05$ )

Gıdaların kabul edilebilirliği açısından renk, tat ve koku önemli özelliklerdir. Renk, tüketici tercihlerini etkilemektedir (Dai ve ark., 2016). L\* değeri dikey eksenle parlaklıktan koyuluğa gidişi

belirtirken +a\* kırmızılığa, -a\* yeşilliğe, +b\* sarılığa, -b\* ise maviliğe gidişi göstermektedir. Örneklerin L\* değerleri 93,30-91,20 arasında değişim göstermiştir. Depolama süresindeki artışa paralel olarak her iki grup yoğurt örneklerinde L\* değerlerinde düzensiz değişiklikler gözlenmiştir. Ancak 7. günde belirlenen L\* değeri her iki grupta birbirinden farklı ve en yüksek değeri göstermiştir ( $p<0.05$ ). Elde edilen bulgular daha önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Kalender ve Güzeler, 2014; Kim ve ark., 2020). Rengin saflığı ve homojenliği, Hue\* değerleri ile ifade edilir. Rengi analiz edilen yoğurdun sahip olduğu rengin hangi temel renge daha yakın olduğunu ifade eden değer, Hue açısıdır. Bu açı, dört temel renk (kırmızı, sarı, yeşil, mavi) vasıtasıyla trigonometrik bölgelere ayrılarak açıklanabilir. Yoğurt örnekleri  $90-180^\circ$  (-a, +b) II. Bölgede (sarı-yeşil) yer almaktadır (Liroach ve ark., 2002). Yağlı yoğurtta Hue\* değeri, 79,62-79,45 arasında değişirken, yarım yağlı yoğurtta 78,30-77,52 değerleri arasında değişmiştir. Çeşitler arasındaki farklılıkların istatistiki açıdan önemli olduğu tespit edilmiştir ( $p<0.05$ ). Bunun sebebinin yoğurtların yağ değerleri arasındaki farklılıktan olabileceği düşünülmektedir. Depolama süresine göre belirlenen farklılıklar yağlı yoğurtta istatistiki açıdan önemli değilken ( $p>0.05$ ), yarım yağlı yoğurtta önemli olduğu tespit edilmiştir ( $p<0.05$ ). Chroma (C\*) değeri, renk yoğunluğunu ifade etmektedir. Yoğurtlar arasında 11,60-10,74 arasında değişim göstermiştir. Depolama süresindeki artışa paralel olarak her iki grup yoğurt örneklerinde C\* değerlerinde düzensiz değişiklikler gözlenmiştir. Çeşitler arasında yağlı yoğurtta 10,74, yarım yağlı yoğurtta 11,26 en düşük C\* değeri belirlenmiş ve çeşitler arasındaki değişiklik istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ( $p>0.05$ ).

### 3.1. Deneme yoğurtlarının tekstürel ve reolojik sonuçları (Geri ekstrüzyon (back extrusion))



**Şekil 2.** Yağlı ve yarım yağlı yoğurtların 21 gün depolama süresince geri ekstrüzyon analiz sonuçları



**Tablo 4.** Yoğurt depolama süresince değişen geri ekstrüzyon yapı analizi sonuçları

	Sertlik (Firmness) (N)		Konsistens (N.s)		İç yapışkanlık (N)		Viskozite İndeksi (N.s)	
	Yağlı	Yarım yağlı	Yağlı	Yarım yağlı	Yağlı	Yarım yağlı	Yağlı	Yarım yağlı
1.gün	1,78±0,04 <sup>Ac</sup>	1,73±0,08 <sup>Bc</sup>	36,36±0,71 <sup>Ac</sup>	35,14±2,34 <sup>Bc</sup>	1,23±0,16 <sup>Ad</sup>	1,32±0,20 <sup>Ab</sup>	2,21±0,12 <sup>Ac</sup>	2,27±0,28 <sup>Bc</sup>
7.gün	2,11±0,05 <sup>Ab</sup>	1,88±0,09 <sup>Bb</sup>	42,54±1,79 <sup>Ab</sup>	38,12±1,59 <sup>Bb</sup>	1,58±0,07 <sup>Aa</sup>	1,26±0,10 <sup>Bc</sup>	2,53±0,91 <sup>Ab</sup>	2,31±0,36 <sup>Bb</sup>
14.gün	2,29±0,05 <sup>Aa</sup>	2,08±0,11 <sup>Ba</sup>	46,36±1,02 <sup>Aa</sup>	40,97±0,55 <sup>Ba</sup>	1,49±0,40 <sup>Ab</sup>	1,47±0,11 <sup>Aa</sup>	2,72±0,26 <sup>Aa</sup>	2,50±0,33 <sup>Aa</sup>
21.gün	1,76±0,01 <sup>Ac</sup>	1,52±0,07 <sup>Bd</sup>	36,34±0,37 <sup>Ac</sup>	27,87±1,57 <sup>Bd</sup>	1,38±0,76 <sup>Ac</sup>	1,15±0,09 <sup>Bd</sup>	2,02±0,22 <sup>Ad</sup>	1,72±0,14 <sup>Bd</sup>

\*(A,B): Aynı satır içinde farklı büyük harfle gösterilen değerler; örnekler arasındaki farklılıkların istatistiki açıdan önemli olduğunu göstermektedir (p<0.05)

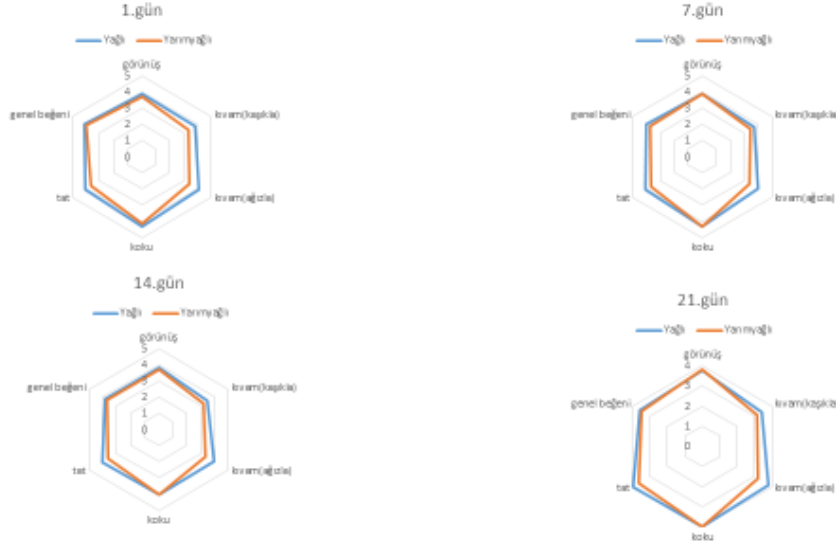
(a-d): Aynı sütün içinde farklı küçük harfle gösterilen değerler, depolama süresine bağlı farklılıkların istatistiki açıdan önemli olduğunu göstermektedir (p<0.05)

Analiz edilen deneme yoğurt örneklerinde depolama periyodu boyunca (1., 7., 14. ve 21. günler) yapılan geri ekstrüzyon analizinde (Şekil 2) sertlik (firmness), konsistens, iç yapışkanlık ve viskozite indeksi parametreleri incelenmiştir (Tablo 4). Çeşitler arasında ve depolama sürelerine bağlı gözlenen geri ekstrüzyon analiz değerleri arasındaki farklılıklar istatistiki açıdan önemli bulunmuştur (p<0.05). Sertlik değeri yağlı yoğurttan 1,76-2,29 N arasında değişirken, yarım yağlı yoğurttan 1,52-2,08 N arasında değişmiştir. Deneme yoğurt örneklerinin sertlik değerlerinin depolamanın 14. gününe kadar artış gösterdiği, sonrasında ise azaldığı saptanmıştır. Deneme yoğurt örneklerinin konsistens değerleri 27,87-46,36 Ns arasında değişiklik göstermiştir. En yüksek konsistens değeri yağlı yoğurttan 14. günde belirlenirken, en düşük değer yarım yağlı yoğurttan 21. günde belirlenmiştir. Yoğurt örneklerinin konsistens değerlerinin depolamanın 14. gününe kadar artış gösterdiği, sonrasında ise azaldığı tespit edilmiştir. İç yapışkanlık değeri; gıdanın yüzeyi, dil, diş ve damak ile gıda arasında oluşan çekim kuvvetine karşı gösterilen kuvvet olarak ifade edilmektedir (Bulut ve ark., 2021). İç yapışkanlık değeri yağlı yoğurttan 1,23-1,58 N arasında değişirken, yarım yağlı yoğurttan 1,15-1,47 N arasında değişmiştir. Deneme yoğurt örneklerinin viskozite indeksi değerlerinin ortalama 1,72-2,72 Ns arasında değişiklik gösterdiği saptanmıştır. Yoğurtlarda en yüksek viskozite indeksi değerleri 14. günde saptanırken en düşük değerler 21. günde saptanmıştır. Yapılan çalışmalar sertlik ve konsistens değerlerinin depolama periyodunun ilerlemesiyle arttığını, bunun nedeninin ısıl işlem, pH değerinin düşmesi, yoğurt kültürünün farklılığından kaynaklandığını belirtmişlerdir (Costa ve ark., 2015; Bulut ve ark., 2021; Hovjecki ve ark., 2021)

### 3.2. Yoğurtların duyu analizi sonuçları

Duyusal özellikler, yoğurdun kalitesini ve kabulünü etkileyen en belirgin faktörlerdendir. İnkübasyon sıcaklığı, işleme koşulları ve sütün bileşim özellikleri gibi pek çok parametre yoğurdun lezzetini ve dokusunu etkilemektedir (Laiho ve ark., 2017). Yoğurtların depolama süresince duyu özelliklerindeki değişimler Şekil 1'de verilmiştir. Panelistlerce depolama süresince görünüş, kıvam (kaşıkla), kıvam (ağızla), koku, tat ve genel beğeni puanları verilmiştir. Yağlı yoğurtların görünüş,

kıvam (kaşıkla), kıvam (ağızla), koku, tat puanları sırasıyla 3,9-3,7; 3,8-3,4; 4,1-3,8;4,3-3,9;4,0-3,9 arasında değişmiştir. Yarım yağlı yoğurtta bu parametreler 3,8-3,7; 3,4-3,1; 3,4-3,2;4,3-3,9; 3,7-3,6 arasında puanlanmıştır. Genel beğeni puanı depolamanın ilk gününde yağlı yoğurtta 4,0, yarım yağlı yoğurtta 3,9 olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Depolama süresince yağlı ve yarım yağlı yoğurtların duyu analizi sonuçları (1. 7. 14. 21. günler)

**Şekil 1.** Depolama süresince yağlı ve yarım yağlı yoğurtların duyu analizi sonuçları (1. 7. 14. 21. günler)

Depolama süresince genel beğeni puanları düşmüş, yağlı yoğurtta 3,9 iken, yarım yağlı yoğurtta 3,5 olarak belirlenmiştir. Genel beğeni, kıvam (kaşıkla ve ağızla) puanları depolamanın sonunda yağlı yoğurtta daha yüksek tespit edilmiştir. Görünüş ve koku puanları depolama süresince düşmüştür, ancak yoğurtlara verilen puanlar açısından farklılık belirlenmemiştir, bunun sebebinin standardize edildikten sonra süte uygulanan homojenizasyon işlemi olduğu düşünülmektedir. Homojenizasyon, yoğurtların mikro yapılarını ve lezzet dengesini etkilemekte ve bu da süt ürünlerinin doku ve genel duyu özelliklerinin artmasına yol açabilmektedir (Lesme ve ark., 2020). Kıvam değerlerinin depolama ile artış gösterdiği İşleten ve Karagül-Yüceer, (2006) tarafından yapılan çalışmada bildirilmiştir. Yapılan birçok çalışma depolama süresince yoğurdun duyu özelliklerinin değiştiğini bildirmiştir (Kesenkaş ve ark., 2017; Temerbayeva ve ark., 2018; Çakmakçı ve ark., 2019; Arslaner ve ark.,2021). Yapılan çalışmalar yağ miktarı azaldıkça yapı, doku, lezzet (Yadav ve ark.,2005) ve genel beğeni (Akalin ve ark.,2004) puanlarının önemli düzeyde düştüğünü belirtmişlerdir.

#### 4. Sonuçlar

Sonuç olarak; bu çalışmada yağlı ve yarım yağlı set tipi yoğurdun fizikokimyasal, duyu ve yapı özellikleri karşılaştırılmıştır. Her iki yoğurt da depolama süresi boyunca Türk Gıda Kodeksi Fermente

Süt Ürünleri Tebliği'ne uygun özellikler göstermiştir. Her iki yoğurdun depolama süresince kuru madde, yağ, protein ve pH değerleri düşmüş, serum ayrılması değerleri artmıştır. En fazla serum ayrılması değeri yarım yağlı yoğurtta tespit edilmiştir. Yağlı ve yarım yağlı yoğurtların arasında renk yoğunluğu (Chroma\*) değerleri bakımından fark bulunmazken, rengin homojenliği (Hue\*) açısından farklılık bulunmuştur. Bunun sebebinin yoğurtların yağ miktarları ile ilgili olabileceği düşünülmektedir. Yağlı ve yarım yağlı yoğurtlarda sertlik (firmness), konsistens, iç yapışkanlık ve viskozite indeksi parametreleri 14. güne kadar artmış daha sonra azalmıştır. Tekstürel değerlerin azalması yarım yağlı yoğurtlarda daha fazla olmuştur. Duyusal özelliklerden görünüş, kıvam (kaşıkla ve ağızla), koku, tat ve genel beğeni bakımından verilen puanlar yağlı ve yarım yağlı yoğurdun her ikisinde de depolama süresince azalmıştır. Depolama süresince, duyuşal özellikler bakımından yağlı yoğurt daha fazla tercih edilen yoğurt olmuştur.

### **Teşekkür**

Yoğurt üretimleri için Çay Çiftlik ürünleri San. Tic. Ltd. Şti.'den Ülkü Vural'a teşekkür ederim.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder. Bu araştırma için kamu, ticari veya kâr amacı gütmeyen sektörlerdeki finansman kuruluşlarından herhangi bir özel hibe almamıştır.

### **Kaynakça**

- Ahmed JAO., Razig KAA. Effect of levels of buttermilk on quality of set yoghurt. *Journal of Nutrition and Food Sciences* 2017; 7(5): 634-638.
- Akalın AS., Fenderya S., Akbulut N. Viability and activity of bifidobacteria in yoghurt containing fructooligosaccharide during refrigerated storage. *International Journal of Food Science and Technology* 2004; 39(6): 613-621.
- Akgun A., Yazici F., Gulec HA. Effect of reduced fat content on the physicochemical and microbiological properties of buffalo milk yoghurt. *2016 LWT- Food Science and Technology* 2016; 74: 521-527.
- Akpınar A., Saygılı D., Yerlikaya O. Production of set-type yoghurt using *Enterococcus faecium* and *Enterococcus durans* strains with probiotic potential as starter adjuncts. *International Journal of Dairy Technology* 2020; 73(4): 726-736.
- Alirezalu K., Inácio RS., Hesari J., Remize F., Nemati Z., Saraiva JA., Barba FJ., Sant'Ana AS., Lorenzo JM. Nutritional, chemical, syneresis, sensory properties, and shelf life of Iranian traditional yoghurts during storage. *LWT- Food Science and Technology* 2019; 114: 108417.
- Anonim. Türk Gıda Kodeksi Fermente Süt Ürünleri Tebliği (Tebliğ No: 2022/44) //Erişim Tarihi: 22.08.2023

- Arslaner A., Salik MA., Bakirci I. The effects of adding Hibiscus sabdariffa L. flowers marmalade on some quality properties, mineral content and antioxidant activities of yogurt. *Journal of Food Science and Technology* 2021; 58(1): 223-233.
- Astráin-Redín L., Skipnes D., Cebrián G., Álvarez-Lanzarote I., Rode TM. Effect of the application of ultrasound to homogenize milk and the subsequent pasteurization by pulsed electric field, high hydrostatic pressure, and microwaves. *Foods* 2023; 12(7): 1457.
- Brennan CS., Tudorica CM. Carbohydrate-based fat replacers in the modification of the rheological, textural and sensory quality of yoghurt: comparative study of the utilization of barley beta-glucan, guar gum and inulin. *International Journal of Food Science & Technology* 2008; 43(5): 824-833.
- Boz H. Dut pestilinin kimyasal, dokusal ve duyuşal özelliklerine buğday unu, sakkaroz şurubu, glikoz şurubu ve pişirme süresinin etkileri. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı Erzurum, Türkiye 2012.
- Bulut M., Tunçtürk Y., Alwazeer D. Effect of fortification of set-type yoghurt with different plant extracts on its physicochemical, rheological, textural and sensory properties during storage. *International Journal of Dairy Technology* 2021; 74(4): 723-736.
- Chen C., Zhao S., Hao G., Yu H., Tian H., Zhao G. Role of lactic acid bacteria on the yogurt flavour: A review. *International Journal of Food Properties* 2017; 20(1): 316-330.
- Costa MP., Frasco BS., Silva ACO., Freitas MQ., Franco RM., Conte-Junior CA. Cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) pulp, probiotic, and prebiotic: Influence on color, apparent viscosity, and texture of goat milk yogurts. *Journal of Dairy Science* 2015; 98(9): 5995-6003.
- Çakmakçı S., Öz E., Çakıroğlu K., Polat A., Gülçin İ., Ilgaz Ş., Seyyedcheraghi K., Özhamamcı İ. Probiotic shelf life, antioxidant, sensory, physical and chemical properties of yogurts produced with *Lactobacillus acidophilus* and green tea powder. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2019; 25(5): 673-682.
- Çomak-Göçer E. M., Ergin F., Aşçı-Arslan A., Küçükçetin A. Farklı inkübasyon sıcaklığı ile inkübasyon sonlandırma pH'sının probiyotik yoğurdun fizikokimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerine etkisi. *Akademik Gıda* 2016; 14(4): 341-350.
- Dai S., Corke H., Shah NP. Utilization of konjac glucomannan as a fat replacer in low-fat and skimmed yogurt. *Journal of Dairy Science* 2016; 99(9): 7063-7074.
- Das K., Choudhary R., Thompson-Witrick KA. Effects of new technology on the current manufacturing process of yogurt-to increase the overall marketability of yogurt. *LWT- Food Science and Technology* 2019; 108: 69-80.
- Erkaya T., Şengül M. Comparison of volatile compounds in yoghurts made from cows, buffaloes, ewes and goats milks. *Society of Dairy Technology* 2011; 64(2): 240-246.

- Gallina DA., Alves ATS., Trento FKH., Carusi J. Characterization of fermented milk, and probiotics and prebiotics free milk, and viability evaluation of lactic acid and probiotic bacteria during the shelf life. *Journal of Health Sciences* 2011; 3(4): 239-244.
- Güler Z., Park YW. Evaluation of sensory properties and their correlation coefficients with physico-chemical indices in Turkish set-type yoghurts. *Open Journal of Animal Sciences* 2011; 1(1): 10-15.
- Gyawali R., Ibrahim SA. Effects of hydrocolloids and processing conditions on acid whey production with reference to Greek yogurt. *Trends in Food Science and Technology* 2016; 56(S1): 61–76.
- Hovjecki M., Miloradovic Z., Mirkovic N., Radulovic A., Pudja P., Miocinovic J. Rheological and textural properties of goat's milk set-type yoghurt as affected by heat treatment, transglutaminase addition and storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2021; 101(14): 5898-5906.
- İşleten M., Karagül-Yüceer Y. Effects of dried dairy ingredients on physical and sensory properties of nonfat yogurt. *Journal of Dairy Science* 2006; 89(8): 2865-2872.
- İşleten M., Karagül-Yüceer Y. Effects of functional dairy based proteins on nonfat yogurt quality. *Journal of Food Quality* 2008; 31(3): 265-280.
- Kalender M., Güzeler N. Farklı oranlarda inülin ilavesinin yağı azaltılmış süzme yoğurtların bazı kalite özellikleri üzerine etkisi. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2014; 29(1): 21-34.
- Kavaz Yüksel A., Bakırcı İ. An investigation of the volatile compound profiles of probiotic yogurts produced using different inulin and demineralised whey powder combinations. *Food Science and Biotechnology* 2015; 24(3): 807-816.
- Kesenkaş H., Karagözlü C., Yerlikaya O., Özer E., Akpınar A., Akbulut N. Physicochemical and sensory characteristics of winter yoghurt produced from mixtures of cow's and goat's milk. *Journal of Agricultural Sciences* 2017; 23(1): 53-62.
- Kim SY., Hyeonbin O., Lee P., Kim YS. The quality characteristics, antioxidant activity, and sensory evaluation of reduced-fat yogurt and nonfat yogurt supplemented with basil seed gum as a fat substitute. *Journal of Dairy Science* 2020; 103(2): 1324-1336.
- Kurt A., Çakmakçı S., Çağlar A. Süt mamulleri muayene ve analiz metotlar rehberi, 8.Baskı, Atatürk Üniversitesi Yayınları, Yay. No: 252-D, 284, Erzurum, 2003.
- Laiho SRP., Williams W., Poelman A., Appelqvist I., Logan A. Effect of whey protein phase volume on the tribology, rheology and sensory properties of fat-free stirred yoghurts. *Food Hydrocolloid* 2017; 67: 166-177.
- Le TT., Van Camp J., Pascual PAL., Meesen G., Thienpont N., Messens K., Dewettinck K. Physical properties and microstructure of yoghurt enriched with milk fat globule membrane material. *International Dairy Journal* 2011; 21(10): 798-805.

- Lee HS., Castle WS. Seasonal changes of carotenoid pigments and color in HamLin, Earlygold, and Budd Blood orange juices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2001; 49(2): 877-888.
- Lesme H., Rannou C., Famelart MH., Bouhallab S., Prost C. Yogurts enriched with milk proteins: Texture properties, aroma release and sensory perception. *Trends in Food Science & Technology* 2020; 98: 140-149.
- Liroach R., Espin JC., Thomas-Barberan FA., Ferreres F. Artichoke (*Cynara scolymus* L.) byproducts as a potential source of healthpromoting antioxidant phenolics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2002; 50(12): 3458-3464.
- Madadlou A., Khosroshahi A., Mousavi ME. Rheology, microstructure, and functionality of reduced-fat Iranian White cheese made with different concentrations of rennet. *Journal of Dairy Science* 2005; 88(9): 3052-3062.
- Martley FG., Michel V. Pinkish colouration in cheddar cheese description and factors contributing to its formation. *Journal of Dairy Science* 2001; 68(2): 327-332.
- Lee WJ., Lucey JA. Structure and physical properties of yogurt gels: effect of inoculation rate and incubation temperature. *Journal of Dairy Science* 2004; 87(10): 3153- 3164.
- Rashwan AK., Karim N., Liu S., Paul B., Xu Y., Chen W. Physicochemical and antioxidant properties of set-type yogurt supplemented by lyophilized water-soluble *Melastoma dodecandrum* extract-bearded chitosan-coated nutrinosomes, *Food Hydrocolloids* 2023; 146(B) 109311.
- Robinson RK., Lucey JA., Tamime AY. Manufacture of yoghurt, in *Fermented Milks*. ed. by A Tamime. Blackwell, Oxford. 2006;53-75.
- Sandoval-Castilla O., Lobato-Calleros C., Aguirre-Mandujano E., Vernon-Carter EJ. Microstructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers. *International Dairy Journal* 2004; 14(2): 151-159.
- Temerbayeva M., Rebezov M., Okuskhanova E., Zinina O., Gorelik O., Vagapova O., Beginer T., Gritsenko S., Serikova A., Yessimbekov Z. Development of yoghurt from combination of goat and cow milk. *Annual Research and Review in Biology* 2018; 23(6): 1-7.
- Temesgen M., Yetneberk S. Effect of application of stabilizers on gelation and syneresis in yoghurt. *Food Science and Quality Management* 2015; 37: 90-102.
- Wertz K., Siler U., Goralczyk R., Lycopene: modes of action to promote prostate health. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 2004; 430(1): 127-134.
- Yadav H., Jain S., Sinha PR. Preparation of low fat probiotic dahi. *Journal of Dairying, Foods and Home Sciences* 2005; 24(3/4): 172-177.

## Analysis of Fractional Advection Equation with Improved Homotopy Analysis Method

Aslı ALKAN<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Fırat University, Institute of Science and Technology, 23200, Elazığ, Türkiye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-1036-7178>

\*Corresponding author: [alkanasli47@gmail.com](mailto:alkanasli47@gmail.com)

### Research Article

#### Article History:

Received: 07.11.2023

Accepted: 06.02.2024

Published online: 25.06.2024

#### Key words:

Error function

Advection equation

Fractional calculus

Improved homotopy analysis method

Convergence analysis

### ABSTRACT

The enhanced homotopy analysis method was employed to solve the nonlinear time-fractional advection equation, resulting in the derivation of a series of solutions. The objective of this study is to minimize the absolute error by identifying the ideal value for a certain parameter, indicated as  $h$ , by utilizing the residual error (RE) function associated with that parameter. The 3-dimensional graphs illustrating the absolute discrepancies between the solutions obtained from the exact approach and the modified homotopy analysis method have been made using the MAPLE software. Hence, the proposed approach demonstrates efficacy and appropriateness in tackling fractional partial differential equations. It has been discovered that all optimal homotopy-analysis methods significantly enhance the speed at which series solutions converge. It is highly recommended to use the most effective methods that involve four unknown convergence-control parameters. This efficient method possesses broad implications and can be employed to obtain rapidly converging series solutions for various types of equations exhibiting significant nonlinearity.

## Geliştirilmiş Homotopi Analiz Metodu ile Kesirli Mertebeden Adveksiyon Denklemine Analizi

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 07.11.2023

Kabul tarihi: 06.02.2024

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Hata fonksiyonu

Adveksiyon denklemi

Kesirli hesap

Geliştirilmiş homotopi analiz yöntemi

Yakınsama analizi

### ÖZ

Doğrusal olmayan zaman-kesirli mertebeden adveksiyon denklemini çözmek için geliştirilmiş homotopi analiz yöntemi kullanıldı ve bu da bir dizi çözümün türetilmesiyle sonuçlandı. Bu çalışmanın amacı,  $h$  ile gösterilen belirli bir parametre için o parametreye ilişkin artık hata fonksiyonundan yararlanılarak ideal değeri belirleyerek mutlak hatayı en aza indirmektir. Kesin yaklaşımla elde edilen çözümler ile değiştirilmiş homotopi analiz yöntemi arasındaki mutlak farklılıkları gösteren 3 boyutlu grafikler MAPLE yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Dolayısıyla önerilen yaklaşım kesirli kısmi diferansiyel denklemlerin çözümünde etkinlik ve uygunluk göstermektedir. Tüm optimal homotopi analizi yöntemlerinin, seri çözümlerin yakınsama hızını önemli ölçüde artırdığı keşfedilmiştir. Bilinmeyen dört yakınsama kontrol parametresini içeren en etkili yöntemlerin kullanılması şiddetle tavsiye edilir. Bu etkili yöntemin geniş sonuçları vardır ve önemli ölçüde doğrusal olmayanlık sergileyen çeşitli denklem türleri için hızla yakınsayan seri çözümler elde etmek için kullanılabilir.

**To Cite:** Alkan A. Analysis of Fractional Advection Equation with Improved Homotopy Analysis Method. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(3): 1215-1229.

## 1. Introduction

The field of fractional calculus has been subject to substantial research and has been rigorously defined by a multitude of eminent scientists. The researchers have developed innovative conceptualizations of fractional calculus, which have later established the foundation for the discipline of fractional analysis. Fractional partial differential equations (FPDEs) are commonly utilized in the development of nonlinear models and the analysis of dynamical systems. The application of fractional calculus has been employed to examine and investigate several topics, including chaos theory, financial models, disordered environments, and optics. The identification and analysis of nonlinear phenomena in natural systems are predominantly dependent on the resolution of fractional differential equations. A wide array of analytical and numerical approaches are utilized to obtain precise solutions for fractional differential equations that encompass nonlinear phenomena, owing to their inherent intricacy (Liouville, 1832; Riemann, 1896; Caputo, 1969; Miller and Ross, 1993; Podlubny, 1999; Caponetto et al., 2010; Baleanu et al., 2012; Liu et al., 2015; Povstenko, 2015; Baleanu et al., 2017; Sweilam et al., 2017; Esen et al., 2018; Veeresha et al., 2019).

The concept of the HAM was initially presented by Liao (1992) in his PhD dissertation. In subsequent years, the application of HAM was utilized to tackle various diverse issues. The application of the analytical series solution technique enabled the management of convergence control in combination with the HAM. By employing these techniques, a multitude of scholars have successfully addressed a wide range of physical and engineering challenges. Sun (2004) conducted a study that focused on the subject of nonlinear traveling waves. In this investigation, the HAM approach was employed. The HAM, initially proposed by Song and Zhang in 2007, was initially employed to investigate the fractional KdV-Burgers-Kuramoto problem. The HAM was effectively utilized to solve the generalized Benjamin-Bona-Mahony model. The application of the HAM has demonstrated efficacy in addressing several FPDEs, including the fractional wave equation, hyperbolic equation, and Fisher equation. The determination of the range of the convergence control parameter (CCP)  $h$  in the HAM is accomplished by utilizing the approach of plotting  $h$  curves. A study was conducted to ascertain the most effective parameter of the proposed methodology. A range of approaches were employed to determine the value of the  $h$  parameter (Liao, 1992; Liao, 1999; Liao, 2003; Liao, 2005; Abbasbandy, 2008; Abdulaziz et al., 2008; Dehghan et al., 2009; Liao, 2010; Niu et al., 2010; Elsaied, 2011; Arafa et al., 2012; Fan et al., 2013; Freihat et al., 2013; Lu, 2014; Lu and Liu, 2014; Aslanov, 2015; Jia et al., 2017; Hariharan, 2017; Alkan, 2022).

The utilization of the HAM has proven to be effective in the resolution of nonlinear functional partial differential equations (FPDEs). Yusufoglu and Selam (2010) conducted a study to examine the convergence range of the CCP  $h$ . The modified equal-width wave equation was investigated using the HAM. The authors further demonstrated the efficacy of the approach by determining the optimal value of  $h$ . The objective of Elsaied's (2011) work was to employ the HAM to address the space-time Riesz-Caputo FPDEs. The utilization of the HAM has been employed as a means to provide a numerical



solution for the time-fractional Swift-Hohenberg problem. The nonlinear Fornberg-Whitham problem has been computationally solved using the HAM. The researchers also determined the ideal values for the CCP within the stated limits. Furthermore, the HAM has been employed as a computational technique to address the nonlinear fractional wave-like equation (Song and Zhang, 2007; Sakar and Erdoğan, 2013; Shaiq et al., 2013; Odibat and Bataineh, 2015; Pandey and Mishra, 2017; Sakar, 2017; Odibat, 2018).

The HAM has been utilized to computationally solve the Korteweg-de Vries Burger equation. The application of the HAM has been utilized as a strategy to acquire solutions for nonlinear wave-like equations. A unique methodology has been introduced for utilizing the HAM to address nonlinear issues. The proposed methodology effectively addresses the challenge associated with the computation of intricate integrals. An approach was devised to effectively determine the most suitable critical control points (CCPs) utilized in the analysis of the convergence zone inside hierarchical agglomerative clustering. The present study presents a recommended methodology for effectively addressing third-order fractional dispersive wave equations through the utilization of a hybrid approach. The methodology utilized in this research involved the integration of the HAM and the Sumudu transform, as outlined in the reference (Sun, 2004). The utilization of the HAM has demonstrated efficacy in the resolution of Partial Differential Equations (PDEs) frequently encountered within the realm of engineering. The Optimal Homotopy Analysis Method (OHAM) has been utilized to address optimal control problems. A novel methodology was developed to ascertain the most suitable choice of a linear operator and initial condition. A novel methodology has been suggested for the use of the Optimal Homotopy Asymptotic Method (OHAM) and error control in the field of nonlinear ordinary differential equations (ODEs) (Liao, 1992; Van Gorder and Vajravelu, 2009; Yusufoglu and Selam, 2010; Vishal et al., 2012; Fan and You, 2013; Turkyilmazoglu, 2016; Hariharan, 2017; Van Gorder, 2019).

The fractional advection-diffusion equation is a significant FPDE. The resolution of this equation holds significance in enhancing comprehension of advection and diffusion phenomena within a fractional framework. Consequently, numerical and approximate analytical techniques are typically necessary for this endeavor. The finite element method was developed by Zheng et al. to solve the space fractional advection-diffusion problem. In this study, Wang and Wang (2019) proposed a rapid characteristic finite difference approach to solve the space fractional advection-diffusion problem. Shen et al. have established explicit and implicit difference approximations for space-time fractional advection-diffusion equations. Jiang et al. (2011) obtained analytical solutions for the Caputo-Riesz fractional advection-diffusion equations on a finite domain, incorporating multiple time-space terms were provided. The equations were subject to Dirichlet nonhomogeneous boundary conditions. The analytical solution was derived by utilizing the spectrum form of the fractional Laplacian operator, as demonstrated in reference. Liu et al. investigated a scheme utilizing the finite volume method for solving the space fractional diffusion problem. Bu et al. devised a finite element multigrid approach for solving multi-term time fractional advection-diffusion equations. In their study, Parvizi et al. (2014) introduced a Jacobi

collocation technique to numerically solve the classical fractional advection-diffusion equation, incorporating a nonlinear source factor. Rubab et al. (2015) examined analytical solutions for the time fractional advection-diffusion equation, specifically focusing on cases where the boundary experiences time-dependent pulses. The analytical solutions of the fractional advection-diffusion equation with the time fractional Caputo-Fabrizio derivative were determined using the Laplace and Fourier transforms as reference. The solutions of the space-time fractional advection-diffusion equations have been derived using two methodologies. This study employed the Caputo time fractional derivative and the Riesz fractional Laplacian in its analysis. A fully implicit finite difference scheme has been used to solve the time fractional advection–diffusion equation (Zheng et al., 2010; Wang and Wang, 2011; Shen et al., 2011; Jiang et al., 2012; Liu et al., 2014; Bu et al., 2015; Parvizi et al., 2015; Rubbab et al., 2016; Povstenko and Kyrlych, 2017; Mohyud-din et al., 2018).

The main aim of this study is to obtain the numerical solutions for the nonlinear time-fractional advection equation, which includes an arbitrary parameter  $\hbar$ , by the use of the HAM. Several solutions that have not been previously discussed in the existing body of literature are identified, and their graphical attributes are depicted comprehensively. Although the Adomian decomposition approach does not guarantee the convergence of its approximation series, the homotopy analysis method guarantees the convergence of its approximation series.

The current article is organized subsequent: The following section of the article provides a comprehensive analysis of HAM and its evolutionary path. The third chapter presents the application of the HAM to get numerical solutions for the nonlinear time-fractional advection equation. The concluding chapter of this study presents a comprehensive overview of the significant discoveries that have emerged from the examination.

## 2. Homotopy Analysis Method

In this section, we will present an introduction to the HAM and the OHAM.

### 2.1. Homotopy Analysis Method

The purpose of this inquiry is to analyze the underlying notion of the technique employed by examining the given nonlinear equation (Alkan, 2022)

$$\mathcal{N}[u(\rho, \sigma)] = 0, \quad (1)$$

where  $\mathcal{N}$  is a nonlinear operator,  $\rho$  and  $\sigma$  are spatial and time variables,  $u(\rho, \sigma)$  is unknown function. Let  $q$  is an embedding parameter in the range  $[0,1]$ . Let  $h$  be a nonzero CCP. Assume that  $H(\rho, \sigma)$  and  $M$  are the auxiliary function and linear operator, respectively. Let  $u_0(\rho, \sigma)$  be an initial iteration of  $u(\rho, \sigma)$ .

Hence, the equation describing the deformation of order zero for the solution series  $\psi(\rho, \sigma; q)$  can be expressed as follows:

$$(1 - q)M[\psi(\rho, \sigma; q) - u_0(\rho, \sigma)] = qhH(\rho, \sigma)\mathcal{N}[\psi(\rho, \sigma; q)]. \quad (2)$$

When the value of  $q$  is set to 0 and 1 in Eq. (2), the resulting expressions are derived as follows, correspondingly:

$$\psi(\rho, \sigma; 0) = u_0(\rho, \sigma), \psi(\rho, \sigma; 1) = u(\rho, \sigma). \quad (3)$$

As the homotopy parameter  $q$  varies from 0 to 1, the function  $\psi(\rho, \sigma; q)$  exhibits continuous convergence from the initial iteration  $u_0(\rho, \sigma)$  to the exact solution  $u(\rho, \sigma)$ . Within the field of homotopy theory, the process of continuous transformation is commonly denoted as deformation.

The derivatives for the  $m$ -th deformation equation are described as:

$$u_0^{(m)}(x, t) = \left. \frac{\partial^m \psi(x, t; q)}{\partial q^m} \right|_{q=0}. \quad (4)$$

By utilizing Taylor's theorem, we can derive the power series expansion of  $\psi(\rho, \sigma; q)$  with respect to  $q$ .

$$\psi(\rho, \sigma; q) = u_0(\rho, \sigma) + \sum_{m=1}^{+\infty} u_m(\rho, \sigma)q^m. \quad (5)$$

If the auxiliary linear operator  $M$ , initial iteration  $u_0(\rho, \sigma)$ , CCP  $h$ , and auxiliary function  $H(\rho, \sigma)$  are suitably selected, the power series  $\psi(\rho, \sigma; q)$  exhibits convergence at  $q = 1$  and can be derived as

$$u(\rho, \sigma) = u_0(\rho, \sigma) + \sum_{m=1}^{\infty} u_m(\rho, \sigma). \quad (8)$$

According to Liao's (2005) findings in the literature, it has been demonstrated that when one of the solutions to the Eq. (1) is  $\hbar = -1$  and  $H(x, t) = 1$ , the Eq. (2) may be converted to a specific form

$$(1 - q)M[\psi(\rho, \sigma; q) - u_0(\rho, \sigma)] + q\mathcal{N}[\psi(\rho, \sigma; q)] = 0. \quad (9)$$

that is employed in the homotopy perturbation method (Liao, 2005).

The vector  $\vec{u}_m$  is described by

$$\vec{u}_m = \{u_0(\rho, \sigma), u_1(\rho, \sigma), \dots, u_m(\rho, \sigma)\}. \quad (10)$$

The equation for  $u_m(\rho, \sigma)$  can be derived from the zeroth-order deformation equation, as stated in Eq. (6).

By employing the  $k_m$  function described by

$$k_m = \begin{cases} 0, & m \leq 1, \\ 1, & m > 1. \end{cases} \quad (11)$$

Then we derive the equation

$$M[u_m(\rho, \sigma) - k_m u_{m-1}(\rho, \sigma)] = hH(\rho, \sigma)R_m(\vec{u}_{m-1}, \rho, \sigma), \quad (12)$$

where  $R_m(\vec{u}_{m-1}, \rho, \sigma)$  is expressed in the following.

$$R_m(\vec{u}_{m-1}, \rho, \sigma) = \left. \frac{1}{(m-1)!} \frac{\partial^{m-1} \mathcal{N}[\psi(\rho, \sigma; q)]}{\partial q^{m-1}} \right|_{q=0}. \quad (13)$$

The  $m$ -th order deformation equation can be derived by utilizing Equation (13). By utilizing equations (5) through (13),  $R_m(\vec{u}_{m-1}, \rho, \sigma)$  has been determined as

$$R_m(\vec{u}_{m-1}, \rho, \sigma) = \frac{1}{(m-1)!} \frac{\partial^{m-1}}{\partial q^{m-1}} \mathcal{N} \left[ \sum_{n=0}^{+\infty} u_n(\rho, \sigma) q^n \right] \Big|_{q=0}. \quad (14)$$

The way to obtaining the  $m - th$  order solution is as follows:

$$u(\rho, \sigma) = \sum_{k=0}^m u_k(\rho, \sigma), \quad (15)$$

where the solution  $u(\rho, \sigma)$  incorporates the CCP  $\hbar$ .

## 2.2. Improved Homotopy Analysis Method

The exact calculation of the square RE in ODEs for the approximation of order  $m$  is formally established as (Liao, 2010; Alkan, 2022)

$$\Delta_m = \int_0^{+\infty} \left( \mathcal{N} \left( \sum_{i=0}^m s_i(r) \right) \right)^2 dr, \quad (16)$$

where the formula  $\Delta_m$  incorporates a CCP,  $\mathcal{N}$  is nonlinear operator, denoted as  $\mathbf{h}$ , which is currently unknown. The CCP  $\mathbf{h}$  for the approximation of order  $m$  is determined by finding a minimum value of  $\Delta_m$ , which represents the optimal value. Therefore, we have the equality

$$\frac{d\Delta_m}{dh} = 0. \quad (17)$$

Nevertheless, previous research has demonstrated that the computation of  $\Delta_m$ , as defined by Liao using formula (16), necessitates a substantial amount of CPU time, even when employing a low approximation. To decrease CPU time, the average quadratic RE ( $\sqrt{E_m}$ ) is formulated in the following [55]:

$$E_m = \frac{1}{n+1} \sum_{j=0}^n \left( \mathcal{N} \left( \sum_{i=0}^m s_i \left( \frac{j}{n}, h \right) \right) \right)^2. \quad (18)$$

The nonlinear time-fractional advection equation (NTFAE), as explained in this work, employed the appropriate form of Eq. (18).

## 2.3. Convergence Analysis

**Theorem 2.1.** If the homotopy series presented in Equation (8) exhibits convergence, the outcome is described as (Liao, 2010; Alkan, 2022)

$$\sum_{n=1}^{\infty} R_n(\vec{u}_{n-1}, \rho, \sigma) = 0. \quad (19)$$

**Proof.** The source of this information can be located in (Liao, 2010).

**Theorem 2.2.** In the event that the homotopy series shown in Equation (8) exhibits convergence, this series must serve as a solution to the initial nonlinear equation denoted as Equation (1) (Liao, 2010; Alkan, 2022).

**Proof.** It can be seen in (Liao, 2010; Alkan, 2022).

### 3. The Time-Fractional Advection Equation

In this section, we will examine the nonlinear cases of the NTFAE.

Example 3.1.

Consider the NTFAE with the initial condition

$$D_{\sigma}^{\alpha}u(\rho, \sigma) + u(\rho, \sigma)u_{\rho}(\rho, \sigma) = f(\rho, \sigma), 0 \leq \rho, \sigma \leq 1, 0 < \alpha \leq 1, \\ u(\rho, 0) = 0, \quad (20)$$

where,  $D_{\sigma}^{\alpha}$  is the Caputo fractional derivative operator,  $f(\rho, \sigma)$  is an unknown function.

If  $f(\rho, \sigma)$  in Eq. (20) is taken as

$$f(\rho, \sigma) = \frac{\rho(2\sigma^{(2-\alpha)} + \sigma^4\Gamma(3-\alpha))}{\Gamma(3-\alpha)}, \quad (21)$$

then Eq. (20) becomes

$$D_{\sigma}^{\alpha}u(\rho, \sigma) + u(\rho, \sigma)u_{\rho}(\rho, \sigma) = \frac{\rho(2\sigma^{(2-\alpha)} + \sigma^4\Gamma(3-\alpha))}{\Gamma(3-\alpha)}, \quad (22)$$

$$u(\rho, 0) = 0. \quad (23)$$

With initial condition in Eq. (23), the exact solution of Eq. (22) is  $u(\rho, \sigma) = \rho\sigma^2$ . In Eq. (22), the expression with fractional derivative

$$M[u(\rho, \sigma; q)] = D_{\sigma}^{\alpha}u(\rho, \sigma; q), \quad (24)$$

is chosen as the linear operator. In addition, the nonlinear operator from Eq. (22) is chosen as

$$N[u(\rho, \sigma; q)] = D_{\sigma}^{\alpha}u(\rho, \sigma) + u(\rho, \sigma)u_{\rho}(\rho, \sigma) - \frac{\rho(2\sigma^{(2-\alpha)} + \sigma^4\Gamma(3-\alpha))}{\Gamma(3-\alpha)}. \quad (25)$$

Using the homotopy definition, the equation for zeroth-order deformation is constructed in the form of

$$(1-q)M[u(\rho, \sigma; q) - u_0(\rho, \sigma)] = q\hbar H(\rho, \sigma)N[u(\rho, \sigma; q)], \quad (26)$$

where  $\hbar$  is the convergence-control parameter. When the values of  $q$  are taken to 0 and 1 in Eq. (26), the resulting outcomes are derived as

$$u(\rho, \sigma; 0) = u_0(\rho, \sigma) = u(\rho, 0), \quad u(\rho, \sigma; 1) = u(\rho, \sigma). \quad (26)$$

$m$ -th order deformation equation is also in the form of

$$L[u_m(\rho, \sigma) - k_m u_{m-1}(\rho, \sigma)] = \hbar R_m(\vec{u}_{m-1}(\rho, \sigma)), \quad (27)$$

where,

$$R_m(\vec{u}_{m-1}(\rho, \sigma)) = D_{\sigma}^{\alpha}u_{m-1}(\rho, \sigma) + \sum_{k=0}^{m-1} \left[ u_k(\rho, \sigma) \frac{\partial u_{m-1-k}(\rho, \sigma)}{\partial \rho} \right] - (1 - k_m)$$

$$\times \frac{\rho(2\sigma^{(2-\alpha)} + \sigma^4\Gamma(3-\alpha))}{\Gamma(3-\alpha)}. \quad (28)$$

In Eq. (27), for  $m \geq 1$  using the inverse of the operator, the equation for  $m$ -th order deformation is derived as

$$u_m(\rho, \sigma) = k_m u_{m-1}(\rho, \sigma) + \hbar M^{-1} \left( R_m(\vec{u}_{m-1}(\rho, \sigma)) \right). \quad (29)$$

For  $m = 0, 1, 2, \dots$  in Eq. (29), the iterations are derived sequentially as follows.

$$u_0(\rho, \sigma) = 0, \quad (30)$$

$$u_1(\rho, \sigma) = -\rho \hbar \sigma^2 - \frac{24\rho \hbar \sigma^{\alpha+4}}{\Gamma(\alpha+5)}, \quad (31)$$

⋮

The CCP in the iteration is denoted by the symbol  $\hbar$ . Also, the approach of squared RE is employed to determine the optimal value of this parameter.  $(\rho, \sigma) \in [0, 1] \times [0, 1]$  will be taken as the region. The Residual function will be defined in the following.

$$r_4(\rho, \sigma, \hbar) = D_\sigma^\alpha w_4(\rho, \sigma, \hbar) + w_4(\rho, \sigma, \hbar) \frac{\partial w_4(\rho, \sigma, \hbar)}{\partial \rho} - \frac{\rho(2\sigma^{(2-\alpha)} + \sigma^4\Gamma(3-\alpha))}{\Gamma(3-\alpha)}. \quad (32)$$

The second norm of this residual function has the form of

$$e_4(\hbar) = \left( \int_0^1 \int_0^1 |r_4(\rho, \sigma, \hbar)| d\sigma d\rho \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (33)$$

When specifying the optimal values of parameter  $\hbar$ , the minimum of  $e_4(\hbar)$  based on norm 2 will be selected. Table 1 presents the optimal  $\hbar$  parameters for several values of  $\alpha$ , specifically  $\alpha = 1, 0.9, 0.8$ , and  $0.7$ . The numerical outcomes are depicted as tables and graphs, specifically Tables 2-5 and Figures 1-4.

**Table 1.** The optimal  $\hbar$  parameters for  $\alpha = 0.7, 0.8, 0.9, 1$  for Example 3.1.

$m$	$\alpha = 1$	$\alpha = 0.9$	$\alpha = 0.8$	$\alpha = 0.7$
4	-0.8740320877	-0.8888546878	-0.8825292730	-0.8605335608

**Table 2.** Values of solutions and errors with  $\alpha = 1$  for Example 3.1

$\rho$	$\sigma$	HAM	Exact Solution	Error
0.20	0.10	0.2011817673	0.200	1.18E-3
	0.20	0.0080008508	0.008	8.50E-7
	0.40	0.0320795815	0.032	7.95E-5
	0.60	0.0725622976	0.072	5.62E-4
	0.80	0.1296835214	0.128	1.68E-3
0.40	0.10	0.4023635349	0.400	2.36E-3
	0.20	0.0160017017	0.016	1.70E-6
	0.40	0.0641591631	0.064	1.59E-4
	0.60	0.1451245952	0.144	1.12E-3
	0.80	0.2593670425	0.256	3.36E-3

**Table 3.** Values of solutions and errors with  $\alpha = 0.9$  for Example 3.1

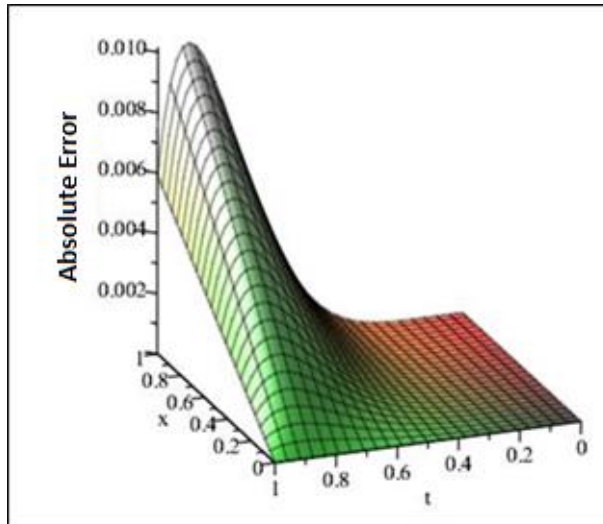
$\rho$	$\sigma$	HAM	Exact Solution	Error
0.20	0.10	0.1970572236	0.200	2.94E-3
	0.20	0.0080023240	0.008	2.32E-6
	0.40	0.0320935092	0.032	9.35E-5
	0.60	0.0725621051	0.072	5.62E-4
	0.80	0.1291435433	0.128	1.14E-3
0.40	0.10	0.3941144472	0.400	5.88E-3
	0.20	0.0160046481	0.016	4.64E-6
	0.40	0.0641870184	0.064	1.87E-4
	0.60	0.1451242103	0.144	1.12E-3
	0.80	0.2582870866	0.256	2.28E-3

**Table 4.** Values of solutions and errors with  $\alpha = 0.8$  for Example 3.1

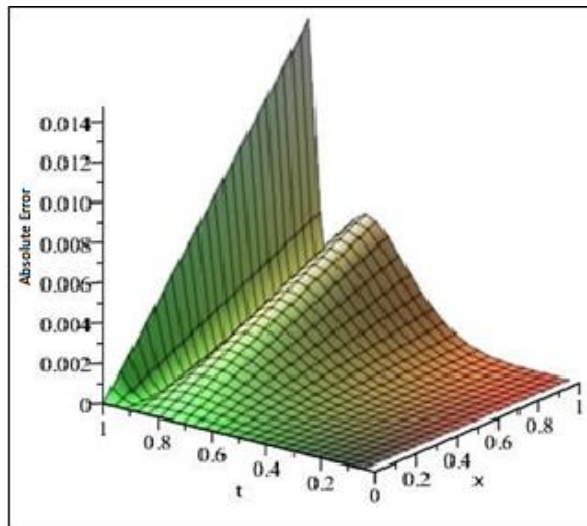
$\rho$	$\sigma$	HAM	Exact Solution	Error
0.20	0.10	0.1931274324	0.200	6.87E-3
	0.20	0.0080036345	0.008	3.63E-6
	0.40	0.0321247177	0.032	1.24E-4
	0.60	0.0726722204	0.072	6.72E-4
	0.80	0.1289050112	0.128	9.05E-4
0.40	0.10	0.3862548647	0.400	1.37E-2
	0.20	0.0160072690	0.016	7.26E-7
	0.40	0.0642494354	0.064	2.49E-4
	0.60	0.1453444408	0.144	1.34E-3
	0.80	0.2578100224	0.256	1.81E-3

**Table 5.** Values of solutions and errors with  $\alpha = 0.7$  for Example 3.1

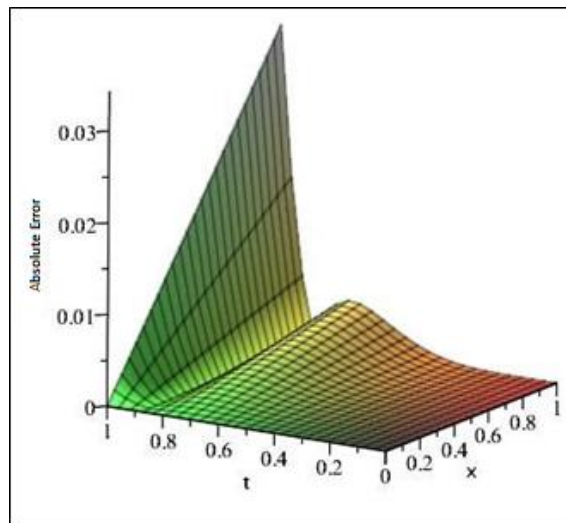
$\rho$	$\sigma$	HAM	Exact Solution	Error
0.20	0.10	0.1895745570	0.200	1.04E-2
	0.20	0.0080052958	0.008	5.29E-6
	0.40	0.0321829967	0.032	1.82E-4
	0.60	0.0729356757	0.072	9.35E-4
	0.80	0.1290735321	0.128	1.07E-3
0.40	0.10	0.3791491139	0.400	2.08E-2
	0.20	0.0160105915	0.016	1.05E-5
	0.40	0.0643659935	0.064	3.65E-4
	0.60	0.1458713515	0.144	1.87E-3
	0.80	0.2581470643	0.256	2.14E-3



**Figure 1.** Absolute error graph for  $\alpha = 1$  for Example 3.1.

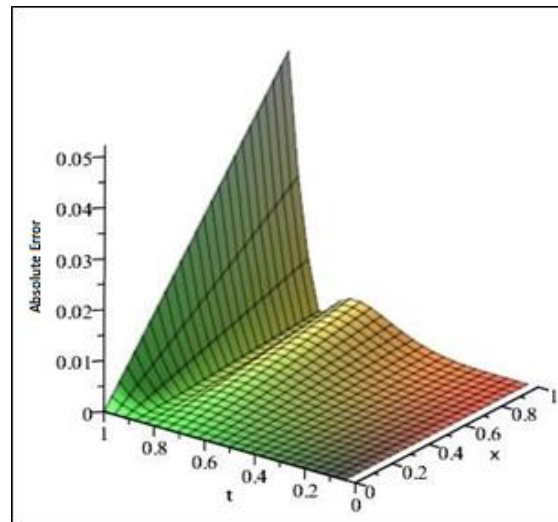


**Figure 2.** Absolute error graph for  $\alpha = 0.9$  for Example 3.1.



**Figure 3.** Absolute error graph for  $\alpha = 0.8$  for Example 3.1.





**Figure 4.** Absolute error graph for  $\alpha = 0.7$  for Example 3.1.

#### 4. Conclusion

The present study successfully implemented the optimal parameter for partial differential equations to solve the time-fractional advection equation, yielding a series of solutions. By implementing a more focused examination area or augmenting the number of iterations, it becomes feasible to reduce the absolute error. Based on the solutions derived for the time-fractional advection equation as presented in this study, it is believed that this approach has the potential to be applied in the resolution of both linear and nonlinear FPDEs.

#### Acknowledgement

This article was produced from the master's thesis.

#### Conflict of Interest Statement

The author of the article declares that she has no conflict of interest.

#### Authors' Contributions

The author declares that she has contributed 100% to the article.

#### References

- Abbasbandy S. Homotopy analysis method for generalized Benjamin-Bona-Mahony equation. *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Physik* 2008; 59: 51-62.
- Abdulaziz O., Hashim I., Saif A. Series solutions of time-fractional PDEs by homotopy analysis method. *Differential Equations and Nonlinear Mechanics* 2008; 13: 16.

- Alkan A. Improving homotopy analysis method with an optimal parameter for time-fractional Burgers equation. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi* 2022; 4(2): 117-134.
- Arafa AAM., Rida SZ, Mohamed H. Approximate analytical solutions of Schnakenberg systems by homotopy analysis method. *Applied Mathematical Modelling* 2012; 36: 4789–4796.
- Aslanov A. A homotopy analysis approach for nonlinear wave-like equations with variable coefficients. *Abstract and Applied Analysis* 2015; 2015: 1-7. <https://doi.org/10.1155/2015/628310>.
- Baleanu D., Diethelm K., Scalas E., Trujillo JJ. *Fractional calculus: models and numerical methods*. World Scientific Boston, 2012.
- Baleanu D., Wu GC., Zeng SD. Chaos analysis and asymptotic stability of generalized Caputo fractional differential equations. *Chaos Solitons Fractals* 2017; 102: 99-105.
- Bu W., Liu X., Tang Y., Yang J. Finite element multigrid method for multi-term time fractional advection diffusion equations. *International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing* 2015; 6(01): 1540001.
- Caponetto R., Dongola G., Fortuna L., Gallo A. New results on the synthesis of FO-PID controllers. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 2010; 15: 997–1007.
- Caputo M. *Elasticità e Dissipazione*. 1969; Zanichelli, Bologna.
- Dehghan M., Manafian J., Saadatmandi A. Solving nonlinear fractional partial differential equations using the homotopy analysis method. *Numerical Methods for Partial Differential Equations* 2009; 26: 448-479.
- Elsaid A. Homotopy analysis method for solving a class of fractional partial differential equations. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 2011; 16: 3655–3664.
- Esen A., Sulaiman TA., Bulut H., Baskonus HM. Optical solitons to the space-time fractional (1+1)-dimensional coupled nonlinear Schrödinger equation. *Optik* 2018; 167: 150–156.
- Fan T., You X. Optimal homotopy analysis method for nonlinear differential equations in the boundary layer. *Numerical Algorithms* 2013; 62(2): 337–354.
- Freihat AA., Zurigat M., Handam AH. The multi-step homotopy analysis method for modified epidemiological model for computer viruses. *Afrika Matematika* 2013; 26: 585–596.
- Hariharan G. A homotopy analysis method for the nonlinear partial differential equations arising in engineering. *International Journal for Computational Methods in Engineering Science and Mechanics* 2017; 18(2-3): 191-200.
- Jia V., He X., Guo L. The optimal homotopy analysis method for solving linear optimal control problems. *Applied Mathematical Modelling* 2017; 45: 865-880.
- Jiang H., Liu F., Turner I., Burrage K. Analytical solutions for the multi-term time–space Caputo–Riesz fractional advection–diffusion equations on a finite domain. *Journal of Mathematical Analysis and Applications* 2012; 389(2): 1117-1127.

- Liao SJ. The proposed homotopy analysis technique for the solution of non-linear problems. 1992; PhD Shanghai Jiao Tong University, Shanghai.
- Liao SJ. An explicit, totally analytic approximate solution for Blasius' viscous flow problems. *International Journal of Non-Linear Mechanics* 1999; 34(4): 759-778.
- Liao SJ. *Beyond Perturbation: Introduction to the Homotopy Analysis Method*. 2003; Chapman and Hall/CRC, Boca Raton FL.
- Liao SJ. Comparison between the homotopy analysis method and homotopy perturbation method. *Applied Mathematics and Computation* 2005; 169: 1186-1194.
- Liao SJ. An optimal homotopy-analysis approach for strongly nonlinear differential equations. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 2010; 15: 2003-2016.
- Liouville J. Mémoire sur quelques questions de géométrie et de mécanique, et sur un nouveau genre de calcul pour résoudre ces questions. *Ecole polytechnique* 1832; 13, 71-162.
- Liu F., Zhuang P., Turner I., Burrage K., Anh V. A new fractional finite volume method for solving the fractional diffusion equation. *Applied Mathematical Modelling* 2014; 38(15-16): 3871-3878.
- Liu DY., Gibaru O., Perruquetti W., Laleg-Kirati TM. Fractional order differentiation by integration and error analysis in noisy environment. *IEEE Transactions on Automatic Control* 2015; 60: 2945–2960.
- Lu D., Liu J. Application of the Homotopy Analysis Method for Solving the Variable Coefficient KdV-Burgers Equation. *Abstract and Applied Analysis* 2014; 309420, 1-4. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/309420>.
- Mohyud-Din ST., Akram T., Abbas M., Ismail AI., Ali NH. A fully implicit finite difference scheme based on extended cubic B-splines for time fractional advection–diffusion equation. *Advances in Difference Equations* 2018; 2018(1): 1-17.
- Niu Z., Wang C. A one-step optimal homotopy analysis method for nonlinear differential equations. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 2010; 15(8): 2026-2036.
- Odibat Z., Bataineh AS. An adaptation of homotopy analysis method for reliable treatment of strongly nonlinear problems: construction of homotopy polynomials. *Mathematical methods in the Applied Sciences* 2015; 38(5): 991–1000.
- Odibat Z. On the optimal selection of the linear operator and the initial approximation in the application of the homotopy analysis method to nonlinear fractional differential equations. *Applied Numerical Mathematics* 2018; 137: 203-212.
- Pandey RK., Mishra HR. Homotopy analysis Sumudu transform method for time-fractional third order dispersive partial differential equation. *Advances in Computational Mathematics* 2017; 43: 365–383.
- Parvizi M., Eslahchi MR., Dehghan M. Numerical solution of fractional advection-diffusion equation with a nonlinear source term. *Numerical Algorithms* 2015; 68: 601-629.

- Podlubny I. *Fractional Differential Equations*. 1999; Academic Press, New York, NY.
- Povstenko Y. *Linear Fractional Diffusion-Wave Equation for Scientists and Engineers*. 2015; Birkhäuser, New York, NY.
- Povstenko Y., Kyrlych T. Two approaches to obtaining the space-time fractional advection-diffusion equation. *Entropy* 2017; 19(7): 297.
- Riemann GFB. *Versuch einer allgemeinen Auffassung der Integration und Differentiation*. 1896; *Gesammelte Mathematische Werke*, Leipzig.
- Rubbab Q., Mirza IA., Qureshi M. Analytical solutions to the fractional advection-diffusion equation with time-dependent pulses on the boundary. *AIP Advances* 2016; 6(7). <https://doi.org/10.1063/1.4960108>.
- Sakar MG., Erdoğan F. The homotopy analysis method for solving the time-fractional Fornberg-Whitham equation and comparison with Adomian's decomposition method. *Applied Mathematical Modelling* 2013; 37: 8876-8885.
- Sakar MG. Numerical solution of neutral functional-differential equations with proportional delays. *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications* 2017; 7(2): 186-194.
- Shaiq MS., Iqbal Z., Mohyud-Din ST. Homotopy analysis method for time-fractional wave-like equations. *Computational Mathematics and Modeling* 2013; 24(4): 592-603.
- Shen S., Liu F., Anh V. Numerical approximations and solution techniques for the space-time Riesz–Caputo fractional advection-diffusion equation. *Numerical Algorithms* 2011; 56: 383-403.
- Song L., Zhang H. Application of homotopy analysis method to fractional KdV-Burgers-Kuramoto equation. *Physics Letters A* 2007; 367: 88-94.
- Sun Q. Solving the Klein–Gordon equation by means of the homotopy analysis method. *Applied Mathematics and Computation* 2004; 169: 355-365.
- Sweilam NH., Hasan MMA., Baleanu D. New studies for general fractional financial models of awareness and trial advertising decisions. *Chaos Solitons Fractals* 2017; 104: 772–784.
- Turkyilmazoğlu M. An effective approach for evaluation of the optimal convergence control parameter in the homotopy analysis method. *Filomat* 2016; 30(6): 1633 -1650.
- Van Gorder RA., Vajravelu K. On the selection of auxiliary functions, operators, and convergence control parameters in the application of the Homotopy Analysis Method to nonlinear differential equations: A general approach. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 2009; 14(12): 4078-4089.
- Van Gorder, RA. Optimal homotopy analysis and control of error for implicitly defined fully nonlinear differential equations. *Numerical Algorithms* 2019; 81(1): 181-196.
- Veerasha P., Prakasha DG., Baskonus HM. Novel simulations to the time-fractional Fisher's equation. *Mathematical Sciences* 2019; 13(1): 33-42.

- Vishal K., Kumar S., Das S. Application of homotopy analysis method for fractional Swift-Hohenberg equation-revisited. *Applied Mathematical Modelling* 2012; 36(8): 3630-3637.
- Wang K., Wang H. A fast characteristic finite difference method for fractional advection–diffusion equations. *Advances in water resources* 2011; 34(7): 810-816.
- Miller K.S., Ross B. *An Introduction to Fractional Calculus and Fractional Differential Equations*. 1993; Wiley, New York NY.
- Yusufoğlu E., Selam C. The homotopy analysis method to solve the modified Equal Width wave equation. *Numerical Methods Partial Differential Equations* 2010; 26: 1434-1442.
- Zheng Y., Li C., Zhao, Z. A note on the finite element method for the space-fractional advection diffusion equation. *Computers & Mathematics with Applications* 2010; 59(5): 1718-1726.

## Alkali Metal Katkılı ZnO Malzemesinin Üretimi ve Karakterizasyonu

Fatma AYDIN ÜNAL<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 07425, Antalya

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-0031-0047>

\*Sorumlu yazar: fatma.aydin@alanya.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 09.10.2023

Kabul tarihi: 08.02.2024

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

ZnO

Sol-jel

Potasyum

Sentez

Karakterizasyon

### ÖZ

Çinko oksit (ZnO) fotokatalizörleri sahip oldukları geniş bant aralığı (yaklaşık 3,37 eV) nedeniyle yarı iletken teknolojilerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Bu çalışmada 1A grubu alkali metallere biri olan Potasyum (K) alkali metal katkılı ZnO (K/ZnO) tozu sol-jel metoduna göre sentezlenmiştir. Elde edilen tozun yapısal özelliği XRD, kimyasal/morfolojik özellikleri SEM/EDX ve optik özellikleri UV-vis analizleriyle karakterize edilmiştir. UV absorpsiyon sonuçları, molce % 10 potasyum katkılı çinko oksidin optik enerji bant aralığının direkt ve indirekt olarak sırasıyla 2,49 eV ve 1,89 eV olarak elde edildiğini göstermiştir. Literatürdeki saf ZnO ile sentezlenen K katkılı ZnO örneği karşılaştırıldığında sonuçların literatürle uyumlu olduğu ve potasyum katkısının optik enerji bant aralığı değerini düşürdüğü gözlenmiştir.

## Production and Characterization of Alkali Metal Doped ZnO Materials

### Research Article

#### Article History:

Received: 09.10.2023

Accepted: 08.02.2024

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

ZnO

Sol-gel

Potassium

Synthesis

Characterization

### ABSTRACT

Zinc oxide (ZnO) photocatalysts are frequently preferred in semiconductor technologies due to their wide band gap (approximately 3.37 eV). In this study, Potassium (K), one of the 1A group alkali metals, alkali metal-doped ZnO (K/ZnO) powder was synthesized according to the sol-gel method. The structural properties of the obtained powder were characterized by XRD, chemical/morphological properties by SEM/EDX, and optical properties by UV-vis analysis. UV absorption results showed that the optical energy band gap of 10 mol % potassium-doped zinc oxide was obtained as 2,49 eV and 1,89 eV, directly and indirectly, respectively. When comparing the K-doped ZnO sample synthesized with pure ZnO in the literature, it was observed that the results were compatible with the literature and that the potassium doping reduced the optical energy band gap value.

**To Cite:** Aydın Ünal F. Alkali Metal Katkılı ZnO Malzemesinin Üretimi ve Karakterizasyonu. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(3): 1230-1241.

### 1. Giriş

Küresel çevre kirliliği ve enerji arzı talebi son yıllarda önemli endişelere sebep olmaktadır. Metal oksit yarı iletkenler, çevresel avantajının yanı sıra suyun parçalanmasından ve karbondioksitin azaltılmasına kadar yakıt üretimi için önemli fotokatalizörlerdir (Samadi ve ark., 2016; Pastor ve ark., 2022). Fotokatalizörler olarak en yaygın kullanılan malzemeler arasında titanyum dioksit (TiO<sub>2</sub>) ve çinko oksit (ZnO) yer almaktadır (Hernández ve ark., 2015). ZnO benzer bant genişliği ve daha düşük maliyeti

nedeniyle titanyum dioksit olarak seçilmiştir (Habib ve ark., 2013; Wibowo ve ark., 2020; Kumar ve ark., 2022).

ZnO nanopartikülleri, nanoteknolojinin birçok alanında potansiyel uygulama alanlarına sahip malzemeler arasında sınıflandırılmaktadır (Azeez, 2020). Mükemmel optoelektronik ve piezoelektrik özellikleri, biyouyumluluğu, çevre dostu olması ve termal kararlılığı nedeniyle ZnO nano yapıları, ışık yayan diyotlar (LED), aktüatörler, sensörler, alan emisyon cihazları, ultraviyole lazer diyotlar, fotokatalizörler, spintronik ve piezoelektrik cihazlar, güneş pilleri dahil olmak üzere elektronik ve optoelektronik uygulamalar için en umut verici adaydır (Unal ve ark., 2020).

ZnO, oda sıcaklığında 3,37 eV'lik doğrudan geniş bant aralığına ve 60 meV'lik büyük bir eksiton bağlanma enerjisine sahip bir II-VI oksit yarı iletkenidir (Miao ve Liu, 2015; Au ve Chan 2017; Unal ve ark., 2020; Jabbar ve ark., 2022). Ayrıca ZnO, yüksek elektronik iletkenlik ve toksik olmama gibi son derece iyi özelliklere sahip olduğundan dolayı güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için fotokatalizör ve fotoanot olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır (Wibowo ve ark., 2020).

Son yıllarda, metal katkı ZnO nanomalzemelere olan talep pek çok modern elektronik endüstri alanında hızla artmaktadır. Bunun temel sebebi, saf ZnO malzemelerin cihaz performansları ve kullanım ömürlerinin düşük kalmasıdır. Bu nedenle çinko oksit n-tipi ya da p-tipi katkılamalar yapılarak bu soruna çözüm aranmaktadır. Metal iyonları  $Zn^{2+}$  iyonları ile yer değiştirerek alıcı ya da verici davranışı göstermektedir. Ayrıca elektron taşınma sürecini ve Fermi enerji seviyesinin ayarlanması ile ZnO yapılarının gerek optik özellikleri gerek ise elektriksel özelliklerini iyileştirebilmektedir (Fatma ve Yakar, 2022). Bu nedenle ZnO bazlı optik cihazların geliştirilmesi için hem p hem de n tipi ZnO örneklerin hazırlanması gerekir.

Sol-jel veya hidrotermal yöntem ile kristal büyüme aşamasında katkı maddelerinin eklenmesi yaygın katkılama yöntemlerinden biridir. Katkı yabancı maddelerin matris malzeme yüzeyinde birikmesi, katkı maddesi konsantrasyonunun ZnO kristal kafesindeki katkı maddesinin çözünürlüğünden daha fazla olması durumunda kristal büyümesi meydana gelmektedir. Ayrıca, ağır katkılama meydana gelirse, kristal kafes bir dereceye kadar tahrip olabilmekte ve daha sonra matris malzemelerin fonksiyonel nano yapısı da tahrip olabilmektedir (Rouhi ve ark., 2020; Shanshool ve ark., 2016). Vargas ve ark. farklı konsantrasyonlarda (molce % 1, 2 ve 4) MgO katkı çinko oksit ve ZnO nanopartiküllerini Pechini polimer öncü yöntemi kullanarak sentezlemiştir. Elde edilen parçacıkların nanometrik boyutta (<50 nm) ve deforme olmuş altıgen morfolojiye sahip olduğu ortaya konmuştur. Katkı yüzdesi dikkate alındığında, enerji aralığı değeri saf ZnO için 3,3 eV ile molce %4 Mg içeren ZnO için 3,45 eV arasında değişmiştir. Bu durum nanopartiküllerin optik özelliklerinin katkı konsantrasyonundan etkilendiğini göstermiştir. Ayrıca, MgO katkı tüm ZnO numuneleri, çinko oksitten daha yüksek fotoaktivite göstermiştir (Vargas ve ark., 2021). Kammoun ve El ghouli,  $Co^{2+}$  konsantrasyonu % 1 ila % 5 arasında değişen kobalt katkı ZnO nanopartiküllerini sol-jel yöntemiyle sentezlemiştir. Bu nanopartiküllerin X-ışını kırınımı, yarı iletkenlerin P63mc uzay grubuyla wurtzite tek kristalli fazda kristalleştiğini göstermiştir. Yapıda, kobalt iyonu  $Co^{2+}$ , ZnO yarı iletkenindeki çinko iyonu  $Zn^{2+}$ 'nın

iyonunun yerine geçmiştir. ZnO kafesinin bant aralığı enerjisi,  $\text{Co}^{2+}$  iyonlarının eklenmesini takiben kademeli olarak azalmıştır. Kırmızı absorpsiyon spektrumları çinko oksitteki  $\text{Co}^{2+}$  iyonunun elektronik geçişlerine atfedilmiştir (Kammoun ve El ghou, 2021).

Bir n-tipi ZnO örneği, Zn arayerleri ve oksijen boşlukları nedeniyle kolayca üretilebilir. ZnO, n tipi doğrudan bant aralıklı bir yarı iletken olmasına rağmen, araştırmacılar p tipi varlığı için çeşitli girişimlerde bulunmuştur. Ancak kararlı p-tipi ZnO örneğine en uygun katkı maddesinin keşfedilmemiş olması, bunların optoelektronik cihazlara uygulanmasının araştırılmasında birtakım problemlere neden olmaktadır (Ji ve ark., 2014). Ayrıca, katkılı alıcı safsızlıkları, ikame alıcıları telafi etmek için vericiye benzer merkezler oluşturabilmekte ve bunları elektriksel olarak inaktif hale getirebilmektedir (Ye ve ark., 2018). Bu sorunu çözebilmek için literatürde I-A grubu elementleri ile katkılama işlemlerinin uygulandığı görülmektedir. Zn bölgesindeki Li, Na ve K gibi çok az sayıda aday element, p-tipi iletkenliğe katkıda bulunarak kararlı bir şekilde hareket eder. Bu özellik onları optoelektronik cihazlar, ultraviyole ışık yayan diyotlar, foto dedektörler,  $\text{NO}_2$  gaz sensörleri, ZnO bazlı LED'ler, boyalar, transistörler, sensörler, güneş pilleri, optik anahtarlar foto-kataliz, yüzey akustik dalga kılavuzları ve piezoelektrik malzemeler için uygun kılar (Shanmuganathan ve ark. 2013). Ji ve ark. ve Jun ve Yintang ve ark. tarafından I. grup elementleri (Na, Li ve K) ile V. grup elementleri (N, P ve As) arasında karşılaştırma yapılmıştır. I. ve V. grup elementleri arasında yapılan bir karşılaştırmada, alıcı seviyesinin sığ olması nedeniyle I. grup elementlerinin katkı maddesi olarak daha uygun olduğu belirlenmiştir (Jun ve Yintang, 2008; Ji ve ark., 2014). Son zamanlarda,  $\text{Zn}^{2+}$  katyonunu yerini alabilen ve aynı şekilde ZnO filminde bir delik oluşturabilen Li ve Na gibi I. grup elementleri araştırılmıştır (Zhang ve ark., 2011). Park ve arkadaşları, ZnO'da ikame ve ara yer Li, Na ve K için iyonizasyon enerjilerini sırasıyla 0,09 eV, 0,17 eV ve 0,32 eV olarak hesaplamıştır (Park ve ark. 2002). Oguzlar ve ark. çalışmalarında K, Fe, Ni, Ag, Mn, Cu, Cd, Al, La ve Ce gibi çeşitli elementlerin ZnO yapısına katkılanmasını sağlamışlardır. Çalışmalarda I. grup elementlerin belirli bir derinlikte ZnO yapısında daha düşük enerji seviyeleri oluşturmaları nedeniyle p-tipi katkılama ve kararlılığını artırmak için iyi adaylar olduğu belirtilmiştir (Oguzlar ve ark., 2023). Raj ve ark. potasyum klorürün yüksek oranda çözünürlüğü ve kolayca ayrışmaya uğraması nedeniyle ZnO ve K katkılı ZnO nanopartikülleri ıslak kimyasal yöntemle sentezlemiştir (Raj ve ark., 2016). Baizid ve ark. K-katkılı ZnO nanokristal tozları hazırlamışlardır. Ayrıca, ultraviyole görünür spektroskopi kullanarak potasyum katkılamanın çinko oksidin ışık absorpsiyon özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda potasyum katkılamanın çinko oksidin görünür bölgedeki absorpsiyon özelliklerini iyileştirdiği gösterilmiştir (Baizid ve ark., 2021). Jang ve ark. K katkılı ZnO örneğinde Zn kusurları ve K ile ilgili enerji durumları arasındaki geçişin görünür aralıkta kırmızıya kaydığını bildirmiştir (Jang ve ark., 2015).

ZnO, Zn 4s yörüngeleri ve O 2p yörüngelerinden oluşan bir iletim bandı ve değerlik bandıyla yarı iletken bir malzeme gibi davranır. Katkılama, malzemenin elektriksel yapısını, geniş bant aralığını ve içsel özelliklerini değiştirerek görünür aralıkta daha geniş bir foto-tepkiye yol açar (Cao ve ark., 2019; Zahoor, 2021; Kayani ve ark. 2023). Ayrıca, ışığın emilimini artırarak çinko oksidin fotokatalitik



özelliklerini geliştirmek için etkili ve kolay bir yöntemdir. Katkı iyonlarının dahil edilmesi, kafes kusurları ve bant aralığı enerjisinde değişiklik meydana getirmektedir (Raj ve ark., 2016; Umadevi, 2017).

Bir alkali element olarak potasyumun ise en dış kabuğunda yalnızca bir elektronu vardır ve çekirdeğin yükü çekirdek elektronları tarafından korunur. En dıştaki elektronun nispeten düşük iyonizasyon enerjisinden dolayı element kimyasal olarak reaktiftir. Ma ve ark. tarafından  $K^+$  iyonunun iyonik boyutu 1,38 Å olarak verilmiştir (Ma ve ark., 2021). Potasyum klorür yüksek oranda çözünür ve kolayca ayrışmaya uğrar (Raj ve ark., 2016). Bu nedenle potasyum (K) katkılı ZnO, önemli fotokimyasal özellikleri nedeniyle büyük ilgi görmektedir.

Bu çalışmada özellikle de fotokatalitik uygulamalarda kullanılan çinko okside alkali metaller arasında yer alan potasyum katkısı ile elde edilen p tipi K/ZnO tozunun yapısal, kimyasal, morfolojik ve optik özelliklerinin incelenerek yarı iletken teknolojisinde kullanımının araştırılması amaçlanmıştır.

## **2. Materyal ve Metot**

### *2.1. Materyal*

Çalışmada; çinko klorür ( $ZnCl_2$ ) prekürsör, potasyum klorür (KCl) katkı maddesi, sitrik asit monohidrat ( $HOC(COOH)(CH_2COOH)_2.H_2O$ ) asit katalizörü, deiyonize su ve izopropil alkol çözücü olarak kullanılmıştır. Tüm kimyasallar Sigma Aldrich'ten tedarik edilmiş olup, analitik saflık derecesindedir.

### *2.2. Metot*

#### *2.2. 1. Potasyum (K) Alkali Metal Katkılı ZnO Tozlarının Sentezi*

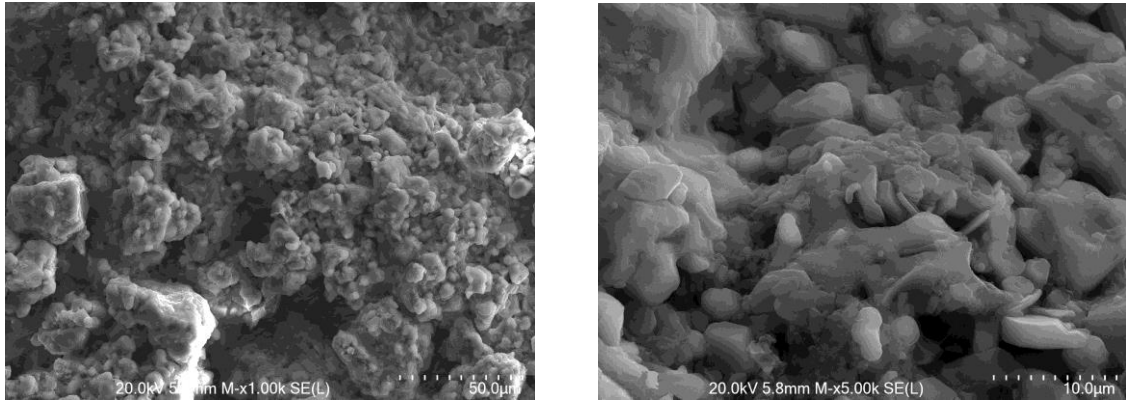
K katkılı ZnO tozları sol-jel yöntemine göre hazırlanmıştır. Bunun için 0,1 M, 100 mL  $ZnCl_2$  çözeltisi ve 10 mL %10'luk KCl çözeltisi hazırlanmıştır. Hazırlanan  $ZnCl_2$  çözeltisi manyetik karıştırıcıda karıştırırken KCl çözeltisi damla damla  $ZnCl_2$  çözeltisine ilave edilmiştir. Isıtmalı manyetik karıştırıcıda karıştırırken, bu karışıma 0,2 M, 100 mL'lik sitrik asit monohidrat çözeltisi damla damla ilave edilmiştir. Karışım sıcaklığı 80 °C'ye getirilmiştir. Bu sıcaklıkta karışım 4-5 saat karıştırılarak jelleşmenin tamamlanması sağlanmıştır. Elde edilen jeller etüvde 80 °C'de 18 saat kurutulmuştur. Kurutulan jeller 600 °C'de 2 saat kalsine edilmiştir (Aydın Ünal, 2023).

#### *2.2.2. Karakterizasyon Teknikleri*

Elde edilen K katkılı ZnO tozlarının yapısal, kimyasal, morfolojik ve optik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen tozun karakterizasyonu için aşağıdaki teknikler kullanılmıştır. Tozun kristal yapısının aydınlatılması için X ışını kırınım (XRD) yöntemi (APD 2000 Pro XRD), morfolojik ve elementel analizi için taramalı elektron mikroskobu/enerji dağılımlı X ışını spektroskopisi (SEM/EDX) (Hitachi SU5000) ve optik özelliklerinin incelenmesi için ultraviyole görünür (UV-vis) spektroskopisi (Perkin Elmer UV Visible Spectrometer) ile analizler yapılmıştır. Saf çinko okside ait karakterizasyon çalışmaları bir önceki çalışmamızda verilmiştir (Aydın Ünal ve ark., 2023).

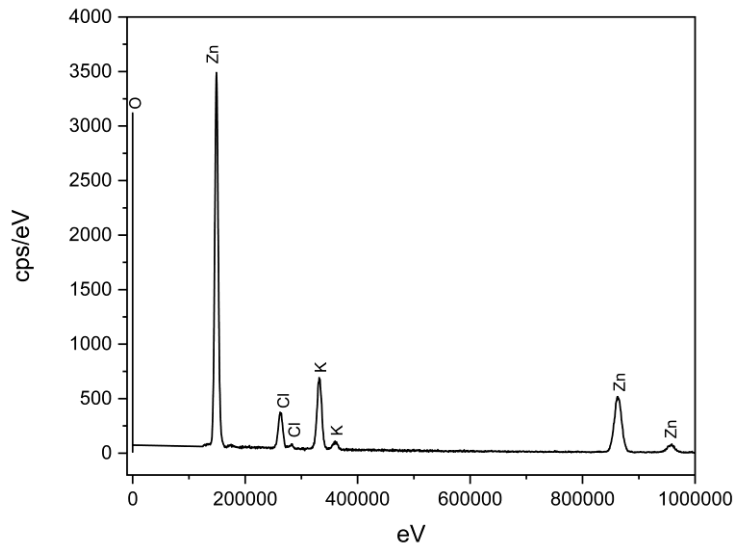
### 3.Tartışma ve Bulgular

Sol-jel yöntemine göre sentezlenen molce %10 oranında K alkali metali katkılı ZnO tozlarına ait SEM ve EDX analizleri Şekil 1(a-b)'de verilmiştir. Sentezlenen K/ZnO örneğinin SEM görüntüsü Şekil 1(a)'da gösterilmiştir. SEM analizine bakıldığında tozların kaynaştığı ve topaklandığı görülmekte olup, küresel olmayan, yoğun ve homojen olmayan düzensiz bir mikroyapı elde edildiği görülmektedir. Bu nedenle K katkısının çinko oksidin morfolojisi üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmektedir (Mao ve ark., 2022). Elde edilen K/ZnO örneğinin elementel analiz sonucu Şekil 1(b)'de verilmiştir. Burada EDX analizi K katkısının varlığını doğrulayarak tozların başarılı bir şekilde sentezlendiğini göstermektedir.



(a)

(b)

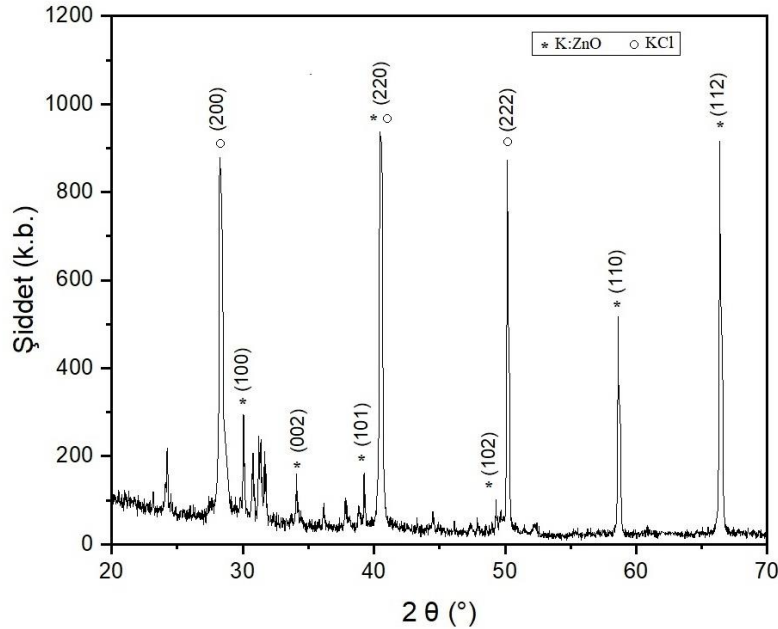


(c)

Şekil 1. K/ZnO tozuna ait (a-b) SEM ve (c) EDX analizi

X-ışınları kırınım deseni, sentezlenen malzemenin kristal yapısı hakkında bilgi sahibi olmak için kullanılmıştır. Bu nedenle, K/ZnO-malzemesinin kristal düzlemi ve saflığı Şekil 2'de gösterildiği gibi XRD analizi ile belirlenmiştir. K/ZnO örneğin XRD toz desenleri 20-70° aralığında kaydedilmiştir.

Geniş tepe noktaları, hazırlanan numunenin küçük parçacık boyutundan kaynaklanmaktadır ve keskinliği, ürünün doğası gereği kristalin olduğunu göstermektedir (Raj ve ark., 2016). K/ZnO'nun malzemesinin karakteristik pikleri  $2\theta = 28,22^\circ, 30,05^\circ, 31,3^\circ, 31,75^\circ, 34,41^\circ, 36,2^\circ, 39,25^\circ, 40,8^\circ, 50,17^\circ, 58,63^\circ, 66,37^\circ$  olarak bulunmuştur (Elmorsi, 2017; Haghighat ve ark., 2022). Saf ZnO (Aydın Ünal, 2023) ve K katkılı ZnO örneğinin difraksiyon pikleri karşılaştırıldığında, K metalik nanopartiküllerinin karakteristik piklerinde ekstra pikler görülmüştür. Bu modelde  $2\theta = 28,22^\circ, 40,8^\circ$  ve  $51,17^\circ$ 'de gözlemlenen sırasıyla (200), (220) ve (222) düzlemlerine ait ikincil tepe noktaları daha önceki çalışmalarla tutarlı olan potasyum klorür safsızlıklarıyla ilişkili olduğu EDX analiziyle doğrulanmıştır (Cao ve ark., 2021; Ismail ark., 2022). Bu gözlem, çinko oksidin kristal yapısında  $K^+$  iyonlarının Zn bölgelerinin tamamını ikame etmese de büyük çoğunluğunu ikame ettiğini gösterir (Bu, 2018). Ayrıca, K/ZnO örneği bir önceki çalışmamızda (Aydın Ünal ve ark., 2024) gösterilen saf çinko okside kıyasla daha düşük açılara doğru kayma göstermiştir (Athma ve ark., 2014; Obeid ve ark., 2019). Bu pik kayması,  $Zn^{2+}$  iyonlarının kristalografik konumlarının, ZnO ana kafesindeki  $K^+$  iyonları ve kafeste artan gerginlik ile başarılı bir şekilde işgal edildiğini göstermektedir (Mazhdi ve ark., 2018; Obeid, 2019). Wang ve ark., çinko oksidin  $350^\circ C$ 'ye ısıtıldıktan sonra  $30,2^\circ, 35,2^\circ, 50,3^\circ$  ve  $60,2^\circ$ 'deki kırınım piklerini tetragonal faz olarak indekslemiştir. Isıtma sıcaklığı  $450^\circ C$ 'ye ulaştıktan sonra monoklinik faz, sıcaklık  $600^\circ C$ 'ye ulaştıktan sonra ise karışık (monoklinik+tetragonal) faz görülmüştür (Wang vd. 2018). K/ZnO nanoparçacıklarla ilişkili olarak XRD analiz sonucunun literatürle uyumlu olduğu ortaya koyulmuştur (Ji ve ark., 2014; Devi ve Velu, 2016).

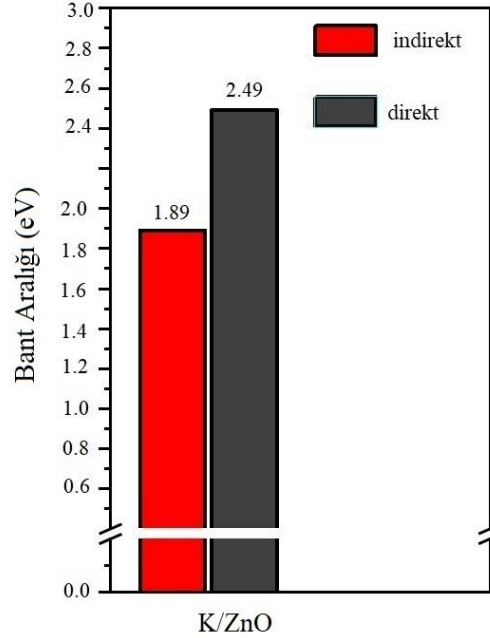


Şekil 2. K/ZnO tozunun XRD analizi

UV-vis analizlerinden elde edilen veriler ile bant aralıkları aşağıda verilen Tauc denklemi (denklem 1) kullanılarak hesaplanmıştır (Unal ve ark., 2020).

$$\alpha(h\nu) = A(h\nu - E_g)^n \quad (1)$$

A enerjiden bağımsız bir sabit,  $\alpha$  soğurma katsayısı,  $h\nu$  foton enerjisi,  $E_g$  enerji bant aralığı ve  $n$  geçiş olasılığına bağlı bir katsayıdır. Direkt izinli geçişler için  $n=1/2$  ve indirekt geçişler için  $n=2$ 'dir. Buna göre, Şekil 3'te UV-vis spektroskopisi analiz sonucunda hesaplanan bant aralığı enerji değerleri direkt ve indirekt olarak sırasıyla 2,49 eV ve 1,89 eV olarak elde edilmiştir. Önceki çalışmamızda verilen saf çinko okside göre bant aralığı değerleri düşük bulunmuştur (Aydın Ünal ve ark., 2024). Razavi-Khosroshah ve ark., ZnO'nun bant aralığını 1,8 eV'ye düşmesinin görünür ışık altında fotokatalitik aktiviteyi önemli ölçüde artırdığını tespit etmişlerdir (Razavi-Khosroshah ve ark., 2017). Deneysel sonuçlar, K katkılı ZnO nanoparçacıklarının bant aralığı enerjilerinin azaldığını, yani K katkılamanın ZnO nanoparçacıklarının optik bant aralığında önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Literatüre göre, çinko oksidin bant aralığı daralması esas olarak, katkı nedeniyle safsızlık bandının valans veya iletim bandıyla birleşmesinden kaynaklanmaktadır (Sajjad ve ark., 2018). Bir başka açıklamaya göre bant aralığında gözlemlenen bu daralma, ZnO kafesindeki safsızlıklardan dolayı daha düşük emisyon enerjisine sahip yeni rekombinasyon merkezlerinin oluşumuna atfedilmiştir (Ilican, 2013).



Şekil 3. K/ZnO fotokatalizöre ait direkt ve indirekt optik bant aralığı gösterimi

#### 4.Sonuçlar

Bu çalışmada molce %10 oranında potasyum alkali metal katkılı çinko oksit tozları sol-jel yöntemine göre başarılı bir şekilde sentezlenmiştir. Sentezlenen tozların morfolojisi SEM analizi ile incelenmiş olup, tozların küresel olmayan, düzensiz heterojen bir yapıya sahip olduğu görülmüştür. Kimyasal analiz

için EDX analizi klor safsızlığıyla birlikte potasyum katkısının varlığını da doğrulamıştır. K/ZnO tozunun yapısal analizi XRD analizi ile belirlenmiş ve yapıda potasyum klorürden gelen klorür iyonlarının varlığı tespit edilerek EDX analiziyle de doğrulanmıştır. UV absorpsiyon spektrumu bulguları, molce % 10 potasyum katkılı çinko oksidin optik enerji bant aralığının direkt ve indirekt olarak sırasıyla 2,49 eV ve 1,89 eV olduğunu ortaya koymuştur. Katkısız ZnO ve sentezlenen K katkılı ZnO karşılaştırıldığında potasyum katkısının enerji bant aralığı değerlerini düşürdüğü gözlenmiştir (Kahouli ve ark., 2015; Gora ve ark., 2023; Aydın Ünal ve ark., 2023). Bu sonuç, K/ZnO'nun görünür ışığa saf çinko oksitten daha duyarlı olduğunu göstererek yarı iletken teknolojisinde fotokatalizör olarak kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır.

### **Teşekkür**

Analiz desteği için Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi ile Prof. Dr. Süleyman Özçelik ve Dr. Murat Ünal'a teşekkür ederim.

### **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.

### **Kaynaklar**

- Athma PV., Johns N., Anila EI., Safeera TA. Structural and optical characterization of potassium doped zinc oxide nanosheets. *Optical Materials* 2014; 38: 223-227.
- Au BWC., Chan KY. Sodium and potassium doped P-type ZnO films by sol-gel spin-coating technique. *Applied Physics A* 2017; 123: 1-9.
- Aydın Ünal F., Ünal M., Ataşer T., Özçelik S. Synthesis, characterization, photocatalytic application of Gd/K co-doped ZnO. *International Journal of Applied Ceramic Technology* 2024; 21: 349–357.
- Aydın Ünal F. Synthesis and characterization of (La, Cu) co-doped CeO<sub>2</sub> nanomaterials used as electrolyte material in SOFC applications. *Applied Physics A* 2023; 129(11): 817.
- Azeez HH., Barzinjy AA., Hamad SM. Structure, synthesis and applications of ZnO nanoparticles: A review. *Jordan Journal of Physics* 2020; 13(2): 123-135.
- Baizid A., Mokadem A., Ouerdane A., Bouslama MH., Benchenane H., Kharroubi B., Halati MS. First principles calculation of structural, electronic and optical properties of K-doped ZnO. *Computational Condensed Matter* 2021; 27: e00558.
- Bu IYY. Direct formation of p-type ZnO by using potassium hydroxide. *Optik* 2018; 159: 87-93.

- Cao Y., Alijani HQ., Khatami M., Bagheri-Baravati F., Iravani S., Sharifi F. K-doped ZnO nanostructures: Biosynthesis and parasiticidal application. *Journal of Materials Research and Technology* 2021; 15: 5445-5451.
- Cao Y., Tu Y., Zhou P., Zhang J., Deng Y., Kong B., Mo F. Zn+O-dual-spin surface state formation by modification of ZnO nanoparticles with diboron compounds. *Langmuir* 2019; 35(44): 14173-14179.
- Devi PG., Velu AS. Synthesis, structural and optical properties of pure ZnO and Co doped ZnO nanoparticles prepared by the co-precipitation method. *Journal of Theoretical and Applied Physics* 2016; 10(3): 233-240.
- Elmorsi T. Toward visible-light responsive photocatalysts: nano-potassium doping zinc oxide (K-ZnO) for degradation of 2-naphthol. *Phys Chem* 2017; 7(2): 42-53.
- Fatma SARF., Yakar E. Potasyum katkılamanın Ag: ZnO filmlerinin yapısal özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2022; 22(1): 214-221.
- Gora MK., Kumar A., Kumar S., Maheshwari PK., Patidar D., Dolia SN., Singhal RK. Electronic, optical and magnetic properties of Cu-doped ZnO, a possible system for eco-friendly and energy efficient spintronic applications. *Environmental Science and Pollution Research* 2023; 30: 98632–98646
- Habib MA., Shahadat MT., Bahadur, NM., Ismail, IM., Mahmood, AJ. Synthesis and characterization of ZnO-TiO<sub>2</sub> nanocomposites and their application as photocatalysts. *International Nano Letters* 2013; 3: 1-8.
- Haghighat M., Alijani HQ., Ghasemi M., Khosravi S., Borhani F., Sharifi F., Khatami M. Cytotoxicity properties of plant-mediated synthesized K-doped ZnO nanostructures. *Bioprocess and Biosystems Engineering* 2022; 45: 97-105
- Hernández S., Hidalgo D., Sacco A., Chiodoni A., Lamberti A., Cauda V., Saracco G. Comparison of photocatalytic and transport properties of TiO<sub>2</sub> and ZnO nanostructures for solar-driven water splitting. *Physical Chemistry Chemical Physics* 2015; 17(12): 7775-7786.
- Ilican S. Effect of Na doping on the microstructures and optical properties of ZnO nanorods. *Journal of Alloys and Compounds* 2013; 553: 225-232.
- Ismail SN., Ali EM., Alwan BJ., Abd AN. Potassium chloride nanoparticles: synthesis, characterization, and study the antimicrobial applications. In *Macromolecular Symposia* 2022; 401(1): 2100312.
- Jabbar I., Zaman Y., Althubeiti K., Al Otaibi S., Ishaque MZ., Rahman N., Khan A. Diluted magnetic semiconductor properties in TM doped ZnO nanoparticles. *RSC Advances* 2022; 12(21): 13456-13463.
- Jang S., Son P., Kim J., Lee SN., Baik KH. K doping effect on structural and optical properties of ZnO nanorods grown on semipolar (112-2) GaN films using a hydrothermal growth method. *Optical Materials Express* 2015; 5(7): 1621-1627.

- Ji I., Kim Y., Leem JY., Park H., Kim S., Kim JS., Kim JS. K-doping effects on the characteristics of ZnO thin films synthesized by using a spin-coating method. *Journal of the Korean Physical Society* 2014; 64 (10): 1581-1585.
- Jun W., Yintang Y. Deposition of K-doped p type ZnO thin films on (0001) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> substrates. *Materials Letters* 2008; 62(12-13): 1899-1901.
- Kahouli M., Barhoumi A., Bouzid A., Al-Hajry A., Guermazi S. Structural and optical properties of ZnO nanoparticles prepared by direct precipitation method. *Superlattices and Microstructures* 2015; 85: 7-23.
- Kammoun S., Ghouli JE. Structural and optical investigation of Co-doped ZnO nanoparticles for nano-optoelectronic devices. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 2021; 32: 7215-7225.
- Kayani ZN., Iqbal A., Bashir Z., Riaz S., Naseem S. Effect of K contents on the efficiency of K-doped TiO<sub>2</sub> thin films for smart window applications. *Inorganic Chemistry Communications* 2023; 151: 110560.
- Kumar RR., Kumar KU., Haranath D. Synthesis, characterization, and applications of ZnO–TiO<sub>2</sub> nanocomposites, In *Nanoscale Compound Semiconductors and their Optoelectronics Applications*. Woodhead Publishing 2022; 271-314.
- Ma L., Lv Y., Wu J., Xia C., Kang Q., Zhang Y., Jin Z. Recent advances in anode materials for potassium-ion batteries: A review. *Nano Research* 2021; 14: 4442-4470.
- Mao T., Liu M., Lin L., Cheng Y., Fang C. A study on doping and compound of zinc oxide photocatalysts. *Polymers* 2022; 14(21): 4484.
- Mazhdi M., Tafreshi MJ. The effects of gadolinium doping on the structural, morphological, optical, and photoluminescence properties of zinc oxide nanoparticles prepared by co-precipitation method. *Applied Physics A* 2018; 124: 1-8.
- Miao J., Liu B. II–VI semiconductor nanowires: ZnO. In *semiconductor nanowires*, Woodhead Publishing 2015: 3-28.
- Obeid MM., Jappor HR., Al-Marzoki K., Al-Hydary IA., Edrees SJ., Shukur MM. Unraveling the effect of Gd doping on the structural, optical, and magnetic properties of ZnO based diluted magnetic semiconductor nanorods. *RSC Advances* 2019; 9(57): 33207-33221.
- Oguzlar S., Zeyrek Ongun M., Dogan Tunc I., Erol M. Development of high luminous efficacy red-emitting CaAl<sub>12</sub>O<sub>19</sub>: Mn<sup>4+</sup> phosphor using Al-and K-doped ZnO NWs/CFs. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 2023; 34(16): 1267.
- Park CH., Zhang SB., Wei SH. Origin of p-type doping difficulty in ZnO: The impurity perspective. *Physical Review B* 2002; 66(7): 073202.
- Pastor E., Sachs M., Selim S., Durrant JR., Bakulin AA., Walsh A. Electronic defects in metal oxide photocatalysts. *Nature Reviews Materials* 2022; 7(7): 503-521.

- Raj RB., Umadevi M, Parvathi VP., Parimaladevi R. Effect of potassium on structural, photocatalytic and antibacterial activities of ZnO nanoparticles. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology* 2016; 7(4): 045008.
- Razavi-Khosroshahi H., Edalati K., Wu J., Nakashima Y., Arita M., Ikoma Y., Fuji M. High-pressure zinc oxide phase as visible-light-active photocatalyst with narrow band gap. *Journal of Materials Chemistry A* 2017; 5(38): 20298-20303.
- Rouhi J., Kakooei S., Sadeghzadeh SM., Rouhi O., Karimzadeh R. Highly efficient photocatalytic performance of dye-sensitized K-doped ZnO nanopapers synthesized by a facile one-step electrochemical method for quantitative hydrogen generation. *Journal of Solid State Electrochemistry* 2020; 24: 1599-1606.
- Sajjad M., Ullah I., Khan MI., Khan J., Khan MY., Qureshi MT. Structural and optical properties of pure and copper doped zinc oxide nanoparticles. *Results in Physics* 2018; 9: 1301-1309.
- Samadi M., Zirak M., Naseri A., Khorashadzade E., Moshfegh AZ. Recent progress on doped ZnO nanostructures for visible-light photocatalysis. *Thin Solid Films* 2016; 605: 2-19.
- Shanmuganathan G., Banu IS., Krishnan S., Ranganathan B. Influence of K-doping on the optical properties of ZnO thin films grown by chemical bath deposition method. *Journal of Alloys and Compounds* 2013; 562: 187-193.
- Shanshool HM., Yahaya M., Yunus WMM., Abdullah IY. Investigation of energy band gap in polymer/ZnO nanocomposites. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 2016; 27: 9804-9811.
- Umadevi M. Effect of potassium on structural, photocatalytic and antibacterial activities of ZnO nanoparticles. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology* 2017; 7(4): 045008.
- Unal FA., Ok S., Unal M., Topal S., Cellat K., Şen F. Synthesis, characterization, and application of transition metals (Ni, Zr, and Fe) doped TiO<sub>2</sub> photoelectrodes for dye-sensitized solar cells. *Journal of Molecular Liquids* 2020; 299(112177): 1-10.
- Vargas MA., Rivera-Muñoz EM., Diosa JE., Mosquera EE., Rodríguez-Páez JE. Nanoparticles of ZnO and Mg-doped ZnO: Synthesis, characterization and efficient removal of methyl orange (MO) from aqueous solution. *Ceramics International* 2021; 47(11): 15668-15681.
- Wang X., Li C., Shi Z., Zhi M., Hong Z. The investigation of an organic acid assisted sol-gel method for preparing monolithic zirconia aerogels. *RSC Advances* 2018; 8(15): 8011-8020.
- Wibowo A., Marsudi MA., Amal MI., Ananda MB., Stephanie R., Ardy H., Diguna LJ. ZnO nanostructured materials for emerging solar cell applications. *RSC Advances* 2020; 10(70): 42838-42859.
- Ye Z., He H., Jiang L. Co-doping: an effective strategy for achieving stable p-type ZnO thin films. *Nano Energy* 2018; 52: 527-540.



Zhang LQ., Ye ZZ., Huang JY., Lu B., He HP., Lu JG., Zhang, WG. Fabrication and properties of p-type K doped  $Zn_{1-x}Mg_xO$  thin film. *Journal of Alloys and Compounds* 2011; 509(27): 7405-7409.

Zahoor R., Jalil A., Ilyas SZ., Ahmed S., Hassan, A. Optoelectronic and solar cell applications of ZnO nanostructures. *Results in Surfaces and Interfaces* 2021; 2: 100003.

## Hazır Giyim Sektöründe Simülasyon ile Üretim Hattı Süreç İyileştirme Çalışması

Hacer GÜNER GÖREN<sup>1\*</sup>, Duygu TOSUN<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 20060, Denizli

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-0297-7571>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-5174-3910>

\*Sorumlu yazar: hgoren@pau.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 09.06.2023

Kabul tarihi: 09.12.2023

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Üretim hattı

Simülasyon

Konfeksiyon

Süreç iyileştirme

Tekstil sektörü

### ÖZ

Günden güne hızla artan rekabet ortamı işletmelerin kaynaklarını etkin ve verimli kullanması gerekliliğini her geçen gün daha da ortaya koymaktadır. Başarılı olmak için işletmeler mevcut durumlarını sürekli analiz ederek iyileştirme çalışmaları yapmalı, üretim hızlarını artırırken maliyetlerini en azlama hedefinde olmalıdırlar. Bu çalışmada hazır giyim üretimi yapan bir işletmede üretim hattında süreç iyileştirme için simülasyon tekniğine dayalı önerilerde bulunulmuştur. Hızla büyüyen tekstil sektöründe, dikim işleminin gerçekleştiği atölyeler en yüksek direkt işçilik maliyetlerine sahiptir. Bu kapsamda ele alınan atölyede bulunan mevcut üretim hattı incelenmiş ve simülasyon yardımıyla analiz edilmiştir. Farklı senaryolar oluşturularak en uygun iş akışı belirlenmiştir. Bu çalışma, gerçekleştirilen üretim hattındaki çevrim süresini düşürmüş, kişi başına düşen üretim miktarını ve kaynak kullanım oranını arttırarak boş zamanı en aza indirmiştir. Elde edilen sonuçlar simülasyonun üretim sistemlerinde etkin olarak kullanılmasının faydalı olacağını açıkça göstermektedir.

### Process Improvement Study of Production Line using Simulation in Garment Industry

#### Research Article

#### Article History:

Received: 09.06.2023

Accepted: 09.12.2023

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

Production line

Simulation

Garment

Process improvement

Textile sector

#### ABSTRACT

The competitive environment rapidly increasing day by day reveals the necessity of enterprises to use their resources effectively and efficiently daily. In order to be successful, businesses should constantly analyze their current situation and make improvement studies, and they should aim to minimize their costs while increasing their production speed. In this study, improvement suggestions were made based on simulation technique for process improvement in the production line in a company producing garments. In the rapidly growing textile sector, it can be seen that sewing workshops has the highest direct labor cost in garment industry. Therefore, the existing production line in the workshop was examined and analyzed using simulation. The most appropriate workflow was determined by creating different scenarios. This study reduced the cycle time in the production line, increased the production amount per person and the resource utilization rate, thus minimizing the idle time. The results obtained clearly show that the effective use of simulation in production systems will be very helpful.

**To Cite:** Güner Gören H., Tosun D. Hazır Giyim Sektöründe Simülasyon ile Üretim Hattı Süreç İyileştirme Çalışması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(3): 1242-1260.

## 1. Giriş

Simülasyon, “gerçek sistemin bir modelini oluşturmak ve sistemin davranışını anlayabilmek için oluşturulan bu modellerle denemeler yaparak gerçek sistem için çeşitli stratejileri değerlendirme süreci” olarak tanımlanabilir (Pedgen ve ark., 1995). Son yıllarda, mühendislik (Wu ve ark., 2023; Jia ve ark., 2023; Zheng ve ark., 2023), finans (Ulussever, 2011; Tacha ve ark., 2016), tıp (Zargaran ve ark., 2022; Baker ve ark., 2023), eğlence (Costanza ve ark., 2014; Valente ve ark., 2018) vs. gibi birçok alanda gerçek hayat senaryoları oluşturarak denemeler yapmayı ve sonuçları görmeyi sağlamaktadır. Üretim sistemlerinde, değişken talep karşısında işletmelerin ayakta kalabilmesi, iyileştirici faaliyetler için gerekli planlamaların oluşturulmasında da simülasyonun oldukça önemli bir rolü olduğunu söylemek mümkündür (Nwankpa ve ark., 2021; Dias ve ark., 2022). Hazır giyim sektöründe faaliyet gösteren işletmeler hammaddeleri son ürüne dönüştürmek için birçok süreçten geçirmektedir (Ünal ve Bilget, 2021). Bu işletmelerdeki süreçleri iyileştirmek adına yapılan faaliyetler hem zahmetli hem de maliyetli olabilmektedir. Gerçek sistem denemeleri bilgisayar yardımıyla simülasyon modelleri sayesinde kolaylıkla yapılabilmekte ve sonuçlara göre iyileştirme faaliyetleri hayata geçirilmektedir. İyileştirme faaliyetleri süreç planlama çalışmaları altında yapılmaktadır. Süreç planlama çalışmaları süreçlerin sürekli ve düzenli olarak izlenmesi ve geliştirilmesine yöneliktir. Süreç iyileştirme çalışmaları kapsamında simülasyon, istatistiksel analiz yöntemleri, balık kılçığı diyagramı, pareto analizi gibi tekniklere başvurulmaktadır. Bu çalışma kapsamında simülasyonun bahsedilen özelliklerinden yola çıkılarak tekstil sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede simülasyon kullanarak süreç iyileştirme çalışması yapılmıştır. Bu işletmede, üretim verimliliğini artırmak, gerekli olan kaynakları tespit ederek etkin şekilde kullanımlarını sağlamak adına en çok talebi olan ürünün üretildiği ürün hattındaki sorunlar belirlenip iyileştirme önerilerinde bulunulmuştur. Bu iyileştirme önerileri simülasyon yardımıyla analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlara göre önerilerin işletme verimliliğinin arttığı görülmüştür.

Çalışmanın ikinci bölümünde konuyla ilgili literatür çalışmalarına yer verilerek bu çalışmanın öneminden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde kullanılan yöntem hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde bulgular tartışılmıştır. Öncelikle mevcut durum analizi yapılarak işletmede karşılaşılan sorunlar ortaya konmuş, devamında bu sorunları çözebilmek adına önerilen çözümlere yer verilmiş ve bu öneriler analiz edilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Beşinci bölümde ise çalışma sonucunda elde edilen kazanımlar özetlenmiş ve gelecekte yapılabilecek çalışmalardan bahsedilmiştir.

## 2. Literatür

Tekstil ve hazır giyim sektörü, Türkiye ekonomisi için oldukça önemli bir yer teşkil etmektedir. 2023 yılının ilk dört ayında gerçekleşen hazır giyim ve konfeksiyon ihracat oranı bu dört ayda gerçekleşen toplam ihracat değerinin yaklaşık %10'nuna karşılık gelmektedir (Türkiye İhracatçılar Meclisi, 2023). Toplam ihracat içinde yüksek oranda bir paya sahip olan sektörde kaynakların etkin ve verimli kullanılmasının işletmelerin rekabet gücünün de artmasını sağlayacağı söylenebilir. Kaynaklarını verimli kullanmak adına işletmelerin sürekli olarak mevcut durumlarını gözden geçirmeleri ve

iyileştirici faaliyetlerle rekabet avantajı kazanmaları sağlanabilir. Bu iyileştirme araçlarından biri olan simülasyonun tekstil sektöründe dokuma, örme, konfeksiyon (Rajakumar ve ark., 2005; Gürsoy, 2011; Ferro ve ark., 2021; Pirola ve ark., 2021) gibi üretim süreçlerinde planlamaya ve iyileştirmeye dayalı ya da tasarım aşamasında ürünlerin germe, yıkama (Antonietti ve ark., 2011; Zhao ve ark., 2023; Cherunova ve ark., 2023) gibi farklı durumları söz konusu olduğunda nasıl davranabileceğini denemeye olanak sağlayan başarılı uygulamalarından söz edilebilir. Ayrıca, enerji tüketimi, atık miktarını hesaplama ve su tüketimi vs. (Lee ve ark., 2012; Gao ve ark., 2013) konularında simülasyon sayesinde çevreye olan etki kolayca hesaplanabilir. Bu çalışma kapsamında ele alınan problem, işletmenin en çok talep edilen ürünün üretim hattında gözlemlendiği için tekstil sektöründe üretim hattı ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Rajakumar ve ark. (2005), bir konfeksiyon işletmesinin hat dengeleme problemini ele almışlar ve az iş yükü olan işçilere yeni işler atamak koşuluyla probleme çözüm aramışlardır. Konfeksiyon işletmesindeki başka bir çalışmada, Eryürük (2005), dikim bölümünde hat dengeleme problemine çözüm arayarak, "Konum Ağırlıklı Dengeleme Tekniği" ve "Olasılıksal Hat Dengeleme Yöntemi" ile sabit bir çevrim süresi için yüksek hat etkinliği elde etmeye çalışmıştır. Özdeş olmayan dikiş hatları için Chen ve ark. (2012) çalışmalarında gruplandırma genetik algoritma (GGA) tabanlı bir yaklaşım önermişlerdir. Gürsoy (2011), hazır giyim üreten işletmelerde kullanılmak üzere operatör başına düşen boş zamanı en küçükleyen esnek bir üretim aralığı sunan tamsayı bir matematiksel model geliştirmiştir. Çalışmada ayrıca, en düşük operatör sayısını belirleyen, her operatöre ait boş zamanı bulan sezgisel bir yaklaşım da önerilmiş, önerilen iki yaklaşımdan elde edilen hat dengeleme sonuçları sunulmuştur. Bir bluz dikim bandında Kayar ve Akalın (2014) tarafından yapılan çalışmada, dikim bandında bulunan operasyonlar incelenerek metod etüdü yapılmıştır. Etüd sonucu elde edilen işlem zamanları kullanılarak Konum Ağırlık Yöntemi ile montaj hattı dengeleme çalışması yapılmıştır. Başka bir hat dengeleme çalışmasında Güner ve ark. (2014), operasyon sürelerinin en uzununu ve en kısası dikkate alınarak dikim hattı dengelenmiştir. Stokastik karma model montaj hattı dengeleme problemi Liu ve ark. (2019) tarafından ele alınmış hat dengeleme ve tampon stok dağılımı için bütünlük bir çözüm yöntemi önerilmiştir.

Pantolon dikim hattında yaptıkları çalışmada Güner ve Ünal (2008), gerçek sistem verilerini kullanarak simülasyon ve sezgisel bir algoritma yardımıyla U-tipi ve düz hat olarak sistemi simüle ederek denemeler gerçekleştirmişlerdir. Bir konfeksiyon işletmesindeki simülasyon ile yapılan diğer bir hat dengeleme çalışması Kurşun ve Kalaoğlu (2010)'a aittir. Çalışmada öncelikle hatta iş ve zaman etüdüleri yapılmış, elde edilen verinin uygunluk testi Kolmogorov-Smirnov testi ile sağlanmıştır. Bu veriler eşliğinde model çalıştırılmış ve gerçek sistem ile modelin geçerliliği test edilmiştir. Çörekçi (2014) çalışmasında iş çizelgeleme ve üretim planlama problemleri için simülasyonu kullanarak dinamik bir model önermiştir. Önerdiği modeli 50 farklı ürün üretebilecek kapasitede olan dörder adet özdeş makineli dört iş merkezli hayali bir atölye üzerinde test etmiştir. Başka bir simülasyon çalışmasında Bilget (2015), yalın üretim felsefelerini benimsemiş bir işletmede, üretilen üç ürünün

üretim süreçlerini inceleyerek sürelerini tespit etmiş ve bu süreleri kullanarak simülasyon modelleri oluşturmuştur. Oluşturulan modeller, gerçek çıktı değerleriyle karşılaştırılarak doğruluğu test edilmiştir. Çalışmada, hat dengelemede kullanılacak “Kalp Algoritması” adı verilen bir yaklaşım önerilerek performansı test edilmiştir. Doğan ve Taccı (2015), çalışmalarında Kayseri’de faaliyet gösteren bir tekstil işletmesinde süreç iyileştirme çalışması yaparak kaynak etkinliğini artırmayı hedeflemişlerdir. Simülasyon kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında, önerdikleri modelin %47 oranında fazla ürün ürettiğini gözlemişlerdir. Tekstil sektöründeki başka bir simülasyon çalışmasında, Aslan ve ark. (2017), çalışmalarında simülasyondan montaj hattı dengeleme ve üretim süreçlerini iyileştirme için faydalanmışlardır. Bu sayede, işletmenin kapasite kullanım oranlarında ve aynı işçi sayısı ile üretim kapasitesinde artış gözlenmiştir. Hazır giyim sektöründe yer alan başka bir çalışmada, Sime ve ark. (2019), bayan kıyafeti üreten bir hatta simülasyon kullanarak dengeleme çalışması yaparak süreci iyileştirmeye yönelmişlerdir. Çalışma sonunda simülasyon tekniğinin bu sektörde etkin hat dengeleme yoluyla kaynaklarının kullanımını optimum seviyeye getirmeye yardımcı olacağı sonucu ortaya konmuştur.

Çalışmanın hem literatüre hem de tekstil sektörüne katkılarının olacağı düşünülmektedir. Sektörel anlamda bakıldığında, bu çalışmaya konu olan işletmede de ürünlerin birim maliyetlerinin oldukça yüksek olması sebebiyle işletmenin sürekli zarar ettiği, bu durumun büyümeyi engellediği ve çoğu siparişin fason olarak dışarıda dikildiği gözlenmiştir. Sektördeki yoğun rekabet sonucunda rakip firmaların verdikleri fiyatlar karşısında işletmenin zaman zaman zor duruma düştüğü, bazı dönemlerde sipariş olmadığından üretim hattının boş kaldığı buna karşılık bazı dönemlerde de aşırı miktarda stok tuttuğu yöneticiler tarafından tespit edilen önemli sorunlardır. Konfeksiyon dikim hattı kapsamında iyileştirme yapıldığı takdirde işçilik ve ürün birim maliyetlerinin azalacağı düşünülmektedir. Konuyla ilgili bilimsel çalışmalara bakıldığında da tekstil işletmelerinde süreç iyileştirme çalışmalarında simülasyon tekniğinden yararlanan çalışma sayısının fazla olduğu görülmüştür. Ancak, Türkiye’de bu alanda yapılan çalışma sayısının oldukça az olduğu belirlenmiş ve simülasyonun avantajlarından yararlanarak bu problemin simülasyon ile ele alınmasının hem bilimsel yazına hem de çalışmaya konu olan işletmeye faydalı olabileceği öngörülmüştür.

### **3. Materyal ve Metot**

Bu çalışmada, Denizli’de kurulu konfeksiyon ürünleri üreten bir işletmenin dikimhane bölümündeki üretim hattı ele alınmış ve simülasyon ile hat üzerinde iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Simülasyon gerçek sistemin bilgisayar ortamında bir kopyasının yaratılması olarak ifade edilebilir. Bilgisayar ortamında taklit edilen gerçek sistemin davranışını anlamak veya bu sisteme ilişkin değişik stratejileri değerlendirmek amacı ile bu model üzerinde denemeler yapmaktır (Banks, 2000). Bir simülasyon modeli geliştirirken izlenmesi gereken adımlar mevcut sistemin incelenmesi, sistemin bilgisayar ortamına aktarılması (simülasyon modelinin oluşturulması), oluşturulan modelin doğruluğunun ve

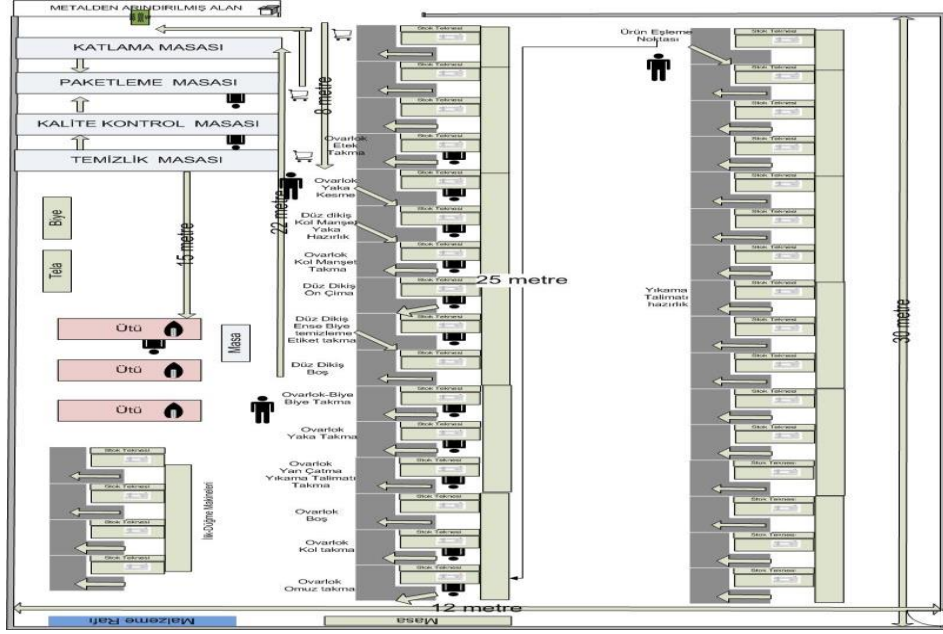
geçerliliğinin kontrol edilmesi, deneylerin planlanması, sonuçların analizi ve yorumlanması şeklindedir (Sarıaslan, 1986).

Uzun kollu erkek kazak ürünü işletmenin en çok talep edilen ürünü olması sebebiyle bu hat üzerinde yapılacak iyileştirme çalışmasının etkisinin işletmeye getirisinin fazla olacağı düşünülmektedir. Ele alınan işletmede modelhane, kesim ve dikimhane olmak üzere üç bölüm bulunmaktadır. İşletmenin ürettiği polar, bez çanta, T-shirt, eşofman altı, önlük, uzun kollu kazak ürün grupları işletmenin kendisi tarafından üretilmekte; buna karşılık yelek, gömlek, mont, pantolon gibi diğer ürünler ise fason şeklinde dışarda dikilmektedir. İşletmedeki üretim süreci kısaca şu şekilde özetlenebilir. Müşteri talebi geldiğinde tasarımcı, müşteri istekleri doğrultusunda ürün tasarımını gerçekleştirir ve müşteri onayı alındıktan sonra ürünün bilgisayar yardımıyla kalıpları çıkartılır. Bu kalıplara uygun olacak şekilde ürün özelliklerine uygun kumaştan kesim işlemi gerçekleştirilerek ürün dikilir ve bu numune müşteriye gönderilir. Ürün numunesi müşteri tarafından onaylanırsa müşteri siparişi oluşturur. Ürünün ürün grubu, bant kapasitesi, üretim planı dikkate alınarak siparişi gelen ürünün nerede kesileceğine ve dikileceğine karar verilmektedir. Siparişlerin nasıl karşılanacağına dair dört farklı durum söz konusudur. İlk olarak ürünlerin işletmede kesim ve dikimleri yapılmaktadır. İkinci olarak sadece kesim işlemi gerçekleştirilmekte, aksesuarlar ve kesilmiş parçalar fasona gönderilmekte ve son ürün haline gelmektedir. Üçüncü olarak, kumaş ve aksesuarlar fasona gönderilmekte, kesim ve dikim işlemleri fasonda gerçekleştirilmektedir. Son olarak ise tüm işlemler fasonda yapılarak son ürün oluşmaktadır (Tosun, 2020).

#### **4. Bulgular ve Tartışma**

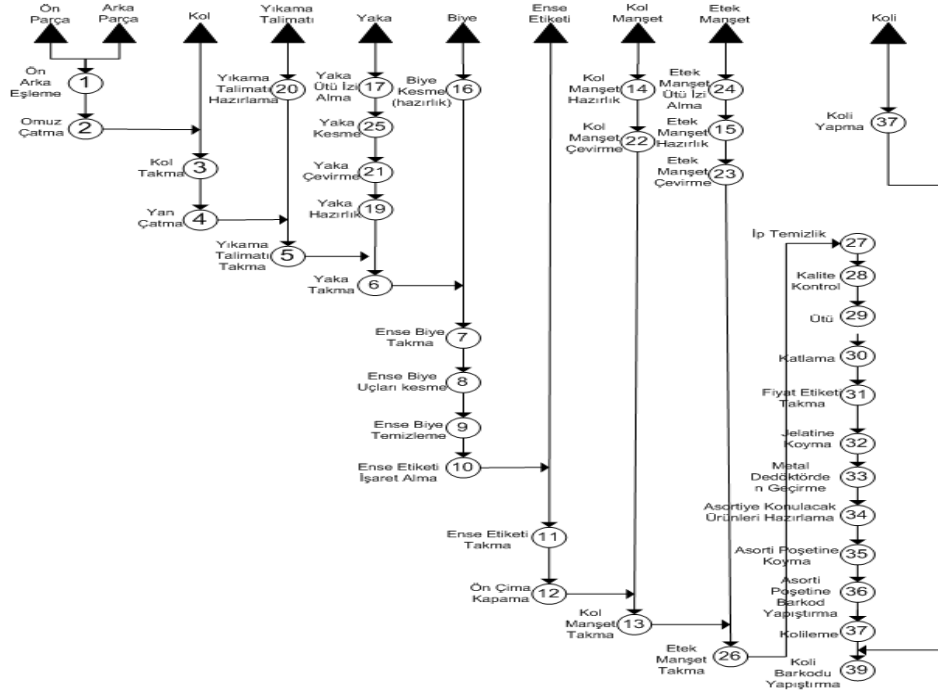
##### *4.1. Mevcut Durum Analizi*

Çalışmanın konusu olan işletmede, günde 15 dakika olmak üzere iki defa çay molası, 30 dakika olmak üzere bir defa yemek molası verilmekte olup günlük çalışma saati dokuz saattir. Toplamda 40 makine bulunmakta olup bu makineler bir çift iğne, üç adet recme, 16 adet düz dikiş makinesi, 13 adet overlok, bir adet punterez, bir adet merdaneli, sekiz adet iplik, iki adet düğme, bir adet çıt çıt, iki adet ilik makinesi şeklindedir. Mevcut durumda, tek vardiyadaki kapasite kullanım oranı %30'dur. Mevcut konfeksiyon yerleşim planı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Mevcut durumda işletmenin yerleşim planı

Çalışmaya erkek uzun kollu kazak mevcut üretim süreci incelenerek başlanmış, ürünün yapım aşaması adımları belirlenerek (Ek 1) her adımın standart süresini hesaplamak üzere zaman etüdü çalışması yapılmıştır. İş öğelerinin standart süreleri elde edilmiş, elde edilen bu standart sürelerin Arena Input Analyzer programı yardımıyla istatistiksel dağılımları belirlenmiş (Ek 2). Bir yıkama talimatı, dokuz kesilmiş kumaş parçası ve bir ense etiketi kullanılarak erkek uzun kollu kazak ürünü oluşturulmaktadır. Üretim Şekil 2’de gösterilen ve paketleme ile kolileme dahil olarak 39 operasyon ile gerçekleşmektedir.



Şekil 2. Mevcut Durumdaki İş Akışı

Dikim hattında üç ayakçı, sekiz makineci, üç temizlik ve kalite, bir ütü, bir kolileme, bir ustabaşı ve bir paketleme elemanı olmak üzere 18 personel mevcuttur. Bir adet erkek uzun kollu kazak üretmek için gerekli sürenin (çevrim süresi) 12,4 dakika olduğu yapılan etüd çalışması ile hesaplanmıştır. Paketleme bölümü kayıtlarına göre günlük ortalama üretim miktarı ise 420 adettir.

Simülasyon modelini oluşturmadan önce bazı varsayımlar ortaya koyarak simülasyon modeli Arena programı yardımıyla oluşturulmuştur (Tosun, 2020). Bu varsayımlar şu şekildedir:

- Üretim kesintisiz devam etmektedir. Elektrik kesintisi, kompresör arızası gibi dış etkenler üretimi durdurmamaktadır.
- Gözlemler sırasında kişisel ihtiyaç payları ve ilik değiştirme dikkate alınmış, işlemlere ait süreler içinde bulunmamaktadır.
- Makinelere arızalar dikkate alınmamıştır.
- Üretim süresi boyunca modelde herhangi bir değişiklik yapılmamaktadır.
- Her çalışan her işi yapabilir niteliktedir.
- Model üretim bandı içindeki taşımaları kapsamamaktadır.

#### 4.2. Modelin Doğrulanması ve Geçerliliği

Oluşturulan simülasyon modelinin geçerliliğini test etmek için paketlenmiş üretim miktarı ölçüt olarak alınmıştır. Öncelikle, gerçek sistem verileri ve simülasyon modeli çıktılarının Kolmogrov-Smirnov (KS) testi ile normal dağılıma uyup uymadığı kontrol edilmiştir. %95 önem düzeyinde sistem ve modelden elde edilen çıktılar SPSS istatistik programı ile test edilmiş, sistem ve model çıktılarının normal dağılıma uygun olduğu bulunmuştur. İkinci olarak, sistem ve model verilerinin doğal eşleşmeden gelmemesi sebebiyle, sistem ve model arasında istatistiki açıdan anlamlı bir fark olup olmadığını anlayabilmek için SPSS programında *t*-testi uygulanmış, %95 önem düzeyinde model ile sistem arasında anlamlı bir fark olmadığı ortaya konulmuştur. Bu sonuç, modelin geçerli olduğunu göstermiştir.

#### 4.3. Çıktı Analizi

Bu bölümde, geçerliliği onaylanan simülasyon modeli ile elde edilen çıktılar analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen konfeksiyon atölyesi, dikim işlemi normal çalışma süresi sona erdiğinde durduğu ve bir sonraki gün bırakıldığı yerden devam etmesi sebebiyle sonlanmayan simülasyon modeline uygundur (Law ve Kelton, 2000). Ancak, sistemdeki günlük üretilen uzun kollu kazak miktarını hesaplayabilmek adına sistem sonlu olarak ele alınmış, *n* bağımsız tekrar yapılarak sonuçlar incelenmiştir. Modelin ısınma süresini belirlemek için model bir gün dokuz saat beş tekrar olarak çalıştırılarak her tekrardaki çıktı miktarı 1000 saniyelik süreler şeklinde kaydedilmiş ve 3500. saniyeden sonra elde edilen çıktı miktarlarında doğrusal bir eğilim olduğu gözlenmiştir. Modelin kararlı duruma ulaşması için gerekli süresinin 60 dakika olarak belirlenmesine karar verilmiş ve bir gün dokuz saat ve 20 tekrar olarak model çalıştırılmıştır. Tablo 1’de mevcut durumdaki 8400 adetlik



müşteri talebini karşılamak için 20 gün üretim yapılarak ortalama elde edilen üretim miktarları gösterilmiştir. Mevcut durumdaki personel kullanım oranları Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Mevcut durumdaki üretim miktarı

Müşteri Talep Miktarı (adet)	8400
Paketlenmiş Ortalama Üretim Miktarı (gün/adet)	421
Ortalama Üretim Miktarı (gün/koli)	15
Üretim Gün Sayısı	20
Eleman Sayısı	18
Kişi Başı Günlük Üretim Miktarı	23

**Tablo 2.** Mevcut durum personel kullanım oranı

Personel	Kaynak kullanım oranı %
Ayakçı_1	99
Ayakçı_2	99
Ayakçı_3	100
DüzMakineci_1	99
DüzMakineci_2	75
DüzMakineci_4	100
Overlok_Makineci1	100
Overlok_Makineci2	98
Overlok_Makineci3	100
Overlok_Makineci4	83
Overlok_Makineci5	79
Temizlik_1	98
Ütü_1	67
Kalite_1	88
Paket_1	80
Kolici_1	13
Temizlik ve Kalite	96
Usta_baş	64

**Tablo 3.** Ürün miktarları sınıflandırması

Üretim Bandından Çıkan Ürün	648
Kalite Kontrolü Yapılmış Ürün	625
Kaliteli Ürün	421
Tamire Giden Ürün	204
Paketli Ürün	421
Kolili Ürün	417
Tamir Oranı	%31

**Tablo 4.** Ürünler arası geliş süre ortalamaları (saniye)

Dikilmiş Ürün	44,46
Paketlenmiş Ürün	68,46
Kolili Ürün	68,6

Mevcut duruma bakıldığında kişi başı üretimin 23 adet olduğu ancak bazı personellerin (ayakçı, düzmakineci vb.) kullanım oranı (Tablo 2) %100 iken kolici, ustabaşı ve üretici vb. personelin kaynak kullanım oranlarının oldukça düşük olduğu gözlenmektedir. Ürün miktarlarının kaliteli, paketlenmiş, kolilenmiş veya tamire giden ürün şeklinde sınıflandırılarak elde edilen miktarları ve tamir oranı yüzdesi Tablo 3'te sunulmuştur. Bu tabloya göre tamire giden ürün sayısı da toplam üretilen miktarın yaklaşık üçte biri kadardır. Tablo 4'te sunulan ürünlerin gelişler arası süreleri dikkate alındığında ise dikilmiş, paketlenmiş ve kolilenmiş ürün gelişleri arasındaki sürelerin oldukça yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Gözlemler ve simülasyon modeli çıktıları analizleri sonucunda hat kapsamındaki sorunlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

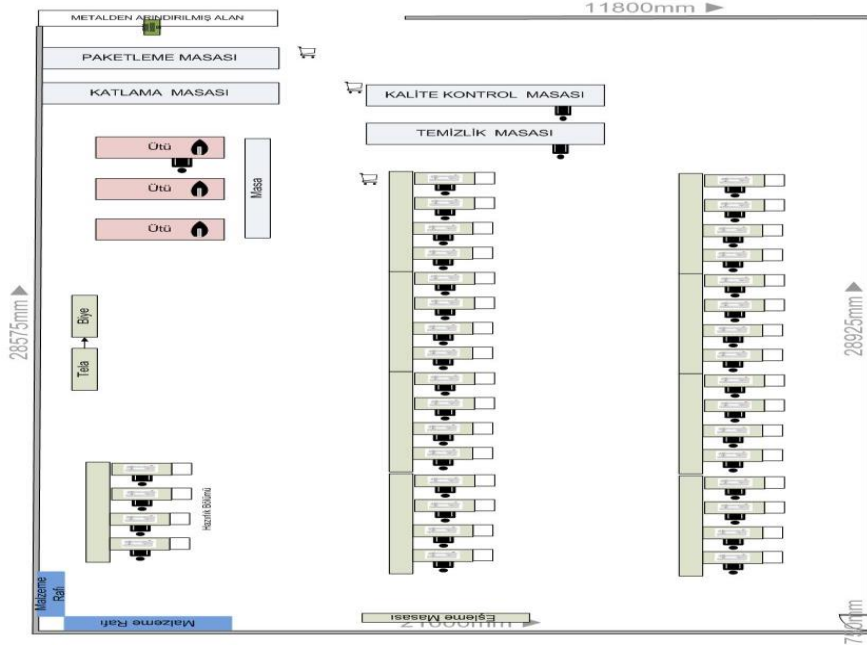
- Üretim miktarı oldukça düşüktür.
- Üretilen ürünlerin yaklaşık üçte biri (%31) kalite kontrolden sonra ayrılıp, tamir için banda geri gönderilmektedir.
- İlk adım olarak, ön ve arka beden parçaları eşleştirilmekte ve oluşan yarı mamuller omuz çatma operasyonuna taşınmaktadır. Omuz çatma operasyonundan sonra, operatör biten yarı mamulü taşımaktadır. Yapılan gözlemler sonucunda bu işlemin günde 30 kere gerçekleştiği ve gidip dönmesinin 25 dakika sürdüğü hesaplanmıştır.
- Hazırlık işlemlerinin bandın içerisinde gerçekleştiği gözlenmiştir.
- Operasyonlar arasında boş makinelerin olduğu gözlenmiştir. İşlemlerini tamandıktan sonra, her makine operatörü ürünü önündeki stok tekesine atar. Ortacı olarak adlandırılan ara elemanlar, bir stok bölgesinden yarı mamulleri alıp düzeltip diğer bölgeye sürekli ürün taşırlar.
- Temizlik, ütü, kalite kontrol, paketlenme ve katlama masaları üretim akışına uygun değildir. Ütü ile katlama masası birbirlerinden 22 metre, temizlik masası ve ütü 15 metre uzaktadır. Bu üç bölüm arasında personeller sürekli hareket halinde ürün taşımaktadırlar. Yapılan gözlemler, üretimde çalışan bir kişinin günde 60 dakikasını yürümek için harcadığını göstermiştir.

#### 4.4. İyileştirilmiş Durum ve Analizi

İşletmenin mevcut durum analizi ile ortaya çıkan sorunlar için önerilen iyileştirmeler aşağıda gösterilmiştir.

1. Önerilen yeni yerleşim düzeni iş akışı ile uyumlu hale getirilmiştir. Şekil 3 dikimhane bölümünün geliştirilmiş hat yerleşimini göstermektedir.

2. İstifleleme işlemi bandın en başındaki istifleme masasına taşınmıştır. Mevcut durumda taşıma operasyonu için 25 dakikaya ihtiyaç duyulduğu hesaplanmıştır. Bu taşıma işlemi ortadan kaldırılmasıyla 25 dakikalık tasarruf sağlanmıştır.
3. İş akışına uygun olarak temizlik, ütü, kalite kontrol, paketlenme ve katlama masalarının yerleri değiştirilmiştir. Kalite kontrol masası temizlik masasının, temizlik masası ise bandın sonunda bulunan işlemin ön tarafına alınmıştır. Kalite kontrol ve katlama masaları yakınlarına ütü masası taşınmıştır. Bu sayede ürünlerin son işlemden sonra temizlik kısmına, ütüden kalite kontrol masasına, ütüden katlamaya olan taşınma işlemleri elimine edilmiştir. Böylece, ütü, paketlenme ve katlama arasındaki katma değer sağlamayan bir saat ortadan kaldırılmış oldu.
4. Üretim bandı üzerinde yer alan her makinenin önünde bulunan ara stok alanları kaldırılmış, üretim bandı yalın bir bant haline getirilmiştir. Bu sayede, stok alanlarından sürekli yarı ürün taşıyan ortacı denilen ara elemanların iş yükleri azaltılmış ve bu elemanlar katma değer sağlayan diğer işlere yönlendirilmişlerdir.



Şekil 3. İyileştirilmiş durumda işletmenin yerleşim planı

Yukarıda önerilen iyileştirme çalışmalarına ek olarak ürün üretiminde farklı iş akışları önerilmiş ve sistem üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Önerilen iş akışlarının detayları senaryolar bazında aşağıda kısaca özetlenmiştir.

#### Senaryo 1:

Simülasyon sonuçlarına bakıldığında, ürüne yıkama talimatı takılırken iki operasyon gerçekleştirildiği görülmüştür. Yan çatma operasyonunu yapan kişi önce yıkama talimatının takıldığı bölgeyi diker, daha sonra aynı bölge yıkama talimatını diken kişi tarafından tekrar dikilir. Yan çatma işlemi sırasında yıkama talimatı parçası takılabilmektedir. Ense biye temizleme işlemi esnasında da ense etiketi takma

operasyonu gerçekleştirebilmektedir. Buradan hareketle, bundan sonra yıkama talimatı takma işlemi, yan çatma işlemi ile ense etiketi takma işlemi ile ense biye kapama işlemlerinin aynı anda gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. Ütude oluşan darboğaz dikkate alınarak yaka ütü izi alma ve etek manşet ütü izi alma işlemleri de kaldırılarak deneme yapılmıştır. Bu işlemler, denemenin başarılı sonuçlanması üzerine kaldırılmıştır. Bununla birlikte temizlik operasyonu ayrıntılı incelenmiş ve makas kullanmanın vakit kaybına sebep olduğu bulunmuştur. Temizlik operasyonu süresi uzun olduğu için birden fazla kaynak kullanımına ihtiyaç duymaktadır. Bu sebeple, ip temizleme makinesi satın alınmış ve operasyon süresi ortalama 40 saniyeye düşmüştür. Önerilen bu iyileştirme önerileri doğrultusunda erkek uzun kollu kazak çevrim süresi 11,07 dakika olarak ölçülmüştür. Özetle, birim üretim bazında 1,33 dakikalık iyileştirilme elde edilmiştir.

**Senaryo 2:**

Senaryo 2'de omuz çatma operasyonunun ardından yaka takma işlemi gerçekleştirilir. Yaka takma işlemi kol takma ve yan çatma operasyonunun önüne alınmıştır.

**Senaryo 3:**

Ense biye takma, ense biye kapama, ön çima operasyonları kol takma işleminin önüne alınmıştır.

**Senaryo 4:**

Ön çima işlemi en sona alınmıştır.

**Senaryo 5:**

Ense biye kapama ve ön çima işlemleri en sona alınmıştır.

**Senaryo 6:**

Yan çatma işleminden sonra etek manşet ve kol manşet takma işlemi alınmıştır.

**Senaryo 7:**

Etek manşet ve kol manşet işlemlerinin yerleri değiştirilmiştir.

Geliştirilen simülasyon modeli her bir senaryo için bir gün dokuz saat 20 tekrar olarak çalıştırılmış ve sonuçlar kaydedilmiştir. Önerilen her iş akışı senaryosundan elde edilen sonuçlar Tablo 5- 8'de gösterilmektedir.

**Tablo 5.** Senaryolar bazında girdi-çıkı miktarları

<b>Erkek uzun kollu kazak</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>	<b>S6</b>	<b>S7</b>
Paketlenmiş Ortalama Üretim Miktarı (gün/adet)	504	501	502	500	504	503	501
Ortalama Üretim Miktarı (gün/koli)	19	19	19	19	19	19	19
Üretim Gün Sayısı	17	17	17	17	17	17	17
Eleman Sayısı	18	18	18	18	18	18	18
Paketlenmiş Üretim Miktarı (kişi/gün)	28	28	28	28	28	28	28

İyileştirme ve farklı iş akışları dikkate alınarak elde edilen sonuçlara bakıldığında mevcut duruma göre üretim miktarlarının her senaryo bazında artmış olduğu görülmektedir. Kaynak kullanım oranları

incelendiğinde ise mevcut duruma göre düşük kaynak kullanım oranlarına sahip kaynakların kullanım oranlarının da arttığı gözlenmiştir. Tamire giden ürün oranı ise %31'den %20'lere düşmüş, üretilen kaliteli ürün sayısı ise artmıştır. Dikilmiş, paketli ve kolili ürünlerin gelişler arası sürelerine bakıldığında ise bu sürelerin her senaryo bazında mevcut duruma göre azaldığı görülmektedir. Her senaryo bazında elde edilen bu kazanımlar Tablo 8'de parantez içinde ifade edilmiştir.

**Tablo 6.** Senaryolar bazında kaynak kullanım oranları

<i>Personel</i>	<i>Kullanım oranı %</i>						
	<i>S 1</i>	<i>S 2</i>	<i>S 3</i>	<i>S 4</i>	<i>S 5</i>	<i>S 6</i>	<i>S 7</i>
Ayakçı_1	99	99	99	99	99	99	99
Ayakçı_2	61	61	61	60	67	61	60
Ayakçı_3	87	87	87	86	87	87	87
DüzMakineci_1	80	81	80	79	86	80	79
DüzMakineci_2	91	91	90	90	96	90	91
DüzMakineci_4	81	80	80	81	80	81	80
Overlok_Makineci_1	100	100	97	97	96	100	100
Overlok_Makineci_2	98	96	91	91	90	98	97
Overlok_Makineci_3	100	100	100	100	100	100	100
Overlok_Makineci_4	91	92	93	97	96	100	99
Overlok_Makineci_5	85	85	86	83	82	89	91
Temizlik_1	63	64	64	65	65	58	59
Ütü_1	88	88	89	88	86	80	80
Kalite_1	97	97	98	97	98	90	89
Paket_1	100	100	100	100	100	97	96
Kolici_1	15	15	14	14	15	15	15
Temizlik ve Kalite	84	84	85	85	85	76	75
Usta_baş1	88	82	81	82	84	78	78

**Tablo 7.** Mevcut durum ve senaryolar bazında elde edilen ürün karakteristiklerine göre elde edilen çıktı miktarları

	Üretim Bandından Çıkan Ürün	Kalite Kontrolü Yapılmış Ürün	Kaliteli Ürün	Tamire Giden Ürün	Tamir oranı%	Paketli Ürün	Kolili Ürün
MD*	648	625	421	204	31	421	417
S1	697	693	551	142	20	504	510
S2	697	691	555	136	20	501	505
S3	710	699	560	139	20	502	508
S4	709	700	561	139	20	500	502
S5	711	699	559	140	20	504	509
S6	636	636	506	130	20	503	506
S7	635	634	505	129	20	501	508

\*MD: Mevcut Durum

**Tablo 8.** Senaryo bazında gelişler arası süre ortalaması (saniye)

	MD*	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Dikilmiş Ürün	44,46	41,34 (%-7,02)	41,2 (%-7,33)	40,57 (%-8,75)	40,61 (%-8,66)	40,47 (%-8,97)	45,29 (%1,87)	45,32 (%1,93)
Paketli Ürün	68,46	57,1 (% -16,59)	57,5 (%-16,01)	57,4 (%-16,16)	57,61 (%-15,85)	57,13 (%-16,55)	57,23 (%-16,40)	57,43 (%-16,11)
Kolili Ürün	68,6	57,1 (%-16,76)	57,6 (%-16,03)	57,4 (%-16,33)	57,6 (%-16,03)	57,1 (%-16,76)	57,3 (%-16,47)	57,6 (%-16,03)

\*MD: Mevcut Durum

Tablo 7 ve 8’de sunulan sonuçlara bakıldığında, senaryo beşte önerilen iş akışının önerilen senaryolar içinde üretim bandından çıkan en fazla ürüne sahip olduğu görülmüştür. Mevcut durumla senaryo beş sonucu elde edilen sonuçları karşılaştırdığımızda üretim bandından çıkan üretim miktarı dikkate alındığında mevcut duruma göre yaklaşık %10’luk iyileşme elde edildiği görülebilir.

## 5. Sonuçlar

Tekstil sektörü hem Türkiye’de hem de dünya çapında önemli ölçüde büyüyen öneme sahip bir sektördür. Bu pazardaki yoğun rekabetle baş edebilmek için üreticiler maliyetlerini düşürmelidir. Konfeksiyon üretimi yapan işletmelerde, dikim atölyeleri işçilik oranının çok yüksek olduğu yerlerdir. Bu çalışmada, bir konfeksiyon işletmesinin dikimhane bölümünde gözlenen sorunlarını çözebilmek adına simülasyon tekniği kullanılarak üretimin etkinliğinin artırılması hedeflenmiştir.

Bu çalışma kapsamında erkek uzun kollu kazak üretilen üretim hattı ele alınarak ve mevcut durum analizi ile belirlenen sorunlar için çeşitli iyileştirme faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Malzeme akışının düzenini sağlamak adına hat yerleşimi değiştirilmiştir. Üretime katma değer sağlamayan boş zaman yerleşim planında yapılan değişiklikler ile ortadan kaldırılmıştır. Üretim bandı boyunca her makine önünde yer alan ara stok alanları kaldırılarak üretim bandı yalınlaştırılmıştır. Mevcut durum yerleşim planındaki makinecilerin masaları, daha esnek masalar ile değiştirilerek yalın üretime uygun hale getirilmiştir. Ütü masalarının yanlarına masalar yerleştirilmiştir. Malzemeler için iki adet raf oluşturulmuş ve raflarda 5S çalışması yapılarak gereksiz malzemeler ayrılmıştır. Üretim bandı iş akışı dikkate alınarak düzenlenmiş ve atıl durumdaki makineler ortadan kaldırılmıştır. Hazırlık işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi adına hazırlık işlemleri için bir bölüm oluşturulmuştur. Mevcut durumdaki operasyon sayısı azaltılarak hat üzerinde bulunan iş istasyonu sayısı azaltılmıştır. İp temizleme işlemi için makine alınmış bu sayede temizlik operasyonunun süresi düşürülmüştür. Yapılan bu iyileştirme faaliyetleri ile erkek uzun kollu kazak çevrim süresinde iyileşme sağlanarak malzeme akışının düzenini sağlamak, kaynak kullanım oranlarını en büyükmek, işlem sürelerini en küçükmek ve verimliliği artırmak amacıyla üretim hattındaki sorunlar çözülmüştür. Çok da yatırım gerektirmeyen değişiklikler yaparak hem günlük üretim miktarlarında artış sağlanmış hem de kaynak kullanım oranları arttırılmıştır. Elde edilen sonuçlar simülasyon tekniğinin tekstil sektöründe iyileştirme faaliyetlerinde oldukça faydalı olabileceğini göstermektedir.

Çalışmanın bazı kısıtları da bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında sadece bir ürün ele alınmıştır. Gelecek çalışmalarda işletme içinde üretilen diğer ürünler de dikkate alınarak uygulama yapılabilir. Çalışma kapsamında artan verim ve üretimin parasal boyutta incelemesi yapılmamıştır. İlerleyen çalışmalarda bu artış değerleri ekonomik olarak incelenebilir. Personel verimliliğini ölçmek adına akıllı sayaç sisteminden yararlanılarak verim artırılabilir. Operasyonlar bazında hedef belirlenerek personellerin verimleri artırılabilir.

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

Birinci yazar, yazın denetimi ve makalenin içerik açısından kontrol edilmesi, makalenin yazımı, elde edilen sonuçların analiz edilmesi; ikinci yazar, fikrin oluşması, bilimsel yazın araştırması, verilerin toplanması, deneylerin yapılması, elde edilen sonuçların analiz edilmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

### **Teşekkür**

Bu makale ikinci yazarın Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasından üretilmiştir. Uygulamanın yapıldığı işletme çalışanlarına veri paylaşımı ve yardımlarından dolayı çok teşekkür ederiz.

### **Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı**

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Kaynaklar**

- Antonietti PF., Biscari P., Tavakoli A., Verani M., Vianello M. Theoretical study and numerical simulation of textiles. *Applied Mathematical Modelling* 2011; 35(6): 2669-2681.
- Aslan Ş., Akdağ R., Yıldırım A. Bir tekstil işletmesinde benzetim yöntemiyle montaj hattı dengeleme uygulaması. *SSS Journal* 2017; 3(7): 1355-1365.
- Baker M. Katherine., Angela LQ., Shah Jaimin S., Korkidakis Ann., Sakkas Denny., Penzias Alan., Thomas TL. Simulation-based training for embryo transfer for clinicians with differing levels of expertise: an application of the American Society for Reproductive Medicine Embryo Transfer Simulator. *F&S Reports* 2023; 4(1): 29-35.
- Banks J., Nelson BL., Nicol D. *Discrete-event system simulation* 4th Edition, New Jersey, Prentice Hall; 2004.
- Bilget S. Konfeksiyonda benzetim tekniğiyle yalın üretim sistemlerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2015.
- Costanza R., Chichakly K., Dale V., Farber S., Finnigan D., Grigg K., Heckbert S., Kubiszewski I., Lee H., Liu S., Magnuszewski P., Maynard S., McDonald N., Mills R., Ogilvy S., Pert L., Renz

- J., Wainger L., Young M., Ziegler C. Richard. Simulation games that integrate research, entertainment, and learning around ecosystem services. *Ecosystem Services* 2014; 10, 195-201.
- Chen JC., Chen CC., Su LH., Wu HB., Sun CJ. Assembly line balancing in garment industry. *Expert Systems with Applications* 2012; 39: 10073-10081.
- Cherunova I., Kornev N., Ia GB, Richter K., Plentz J. Development of infrared reflective textiles and simulation of their effect in cold-protection garments. *Applied Sciences Basel* 2023; 13(6) (doi:10.3390/app13064043)
- Çörekçi C. Atölye tipi üretimde simülasyon teknikleri ile dinamik çizelgeleme ve atölye simülasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 2014.
- Dias ASME., Antunes RMG., Abreu A., Anes V., Navas HVG., Morgado T., Calado JMF. Utilization of the Arena simulation software and Lean improvements in the management of metal surface treatment processes. *Procedia Computer Science* 2022; 204, 140-147.
- Doğan NÖ., Tankcı E. Bir tekstil işletmesinde simülasyon yardımıyla süreç iyileştirme. *Ege Akademik Bakış* 2015; 15(2): 185-196.
- Eryürük S. Bir konfeksiyon işletmesinde montaj hattı dengeleme. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005.
- Ferro R., Cordeiro GA., Ordonez REC., Beydoun G., Shukla N. An optimization tool for production planning: a case study in a textile industry. *Applied Sciences Basel* 2021; 11(18).
- Gao L., Ding YS., Li F. Evaluating environmental strategies in a textile printing and dyeing enterprise by an agent-based simulation model. *International Journal of Systems Science* 2013; 44(5): 865-876
- Güner M., Ünal C. Line balancing in the apparel industry using simulation techniques. *Fibres&Textiles in Eastern Europe* 2008; 16, 75-78.
- Güner M., İşler M., Acar E. Bir konfeksiyon ürünü üretiminde dikim hattının farklı yöntemler ile dengelenmesi. *ISITES 2014, Karabük*, 2014.
- Gürsoy A. An integer model and a heuristic algorithm for flexible line balancing problem. *Tekstil ve Konfeksiyon* 2011; 1: 58-63.
- Jia D., Wen H., Sun F., Wang Q., Yang Q., Fu T. Dynamic modelling and engineering simulation of fluid mechanics in water injectors. *Petroleum Exploration and Development* 2023; 50(5): 1236-1245.
- Kayar M., Akalın M. A research on the effect of method study on production volume and assembly line efficiency. *Tekstil ve Konfeksiyon* 2019; 24(2): 228-239.
- Kurşun S., Kalaoğlu F. Dikim bandında benzetim ile bant dengeleme. *Tekstil ve Konfeksiyon* 2010; 3: 257-261.
- Law M., Kelton WD. *Simulation modeling and analysis*. New York, McGraw-Hill; 2000.
- Lee C., Park S., Won J. Jeoung J., Sohn B., Choi H. Evaluation of thermal performance of energy textile installed in Tunnel. *Renewable Energy* 2012; 42, 11-22.



- Liu X., Lei M., Zeng Q., Li A. Integrated optimization on mixed-model assembly line balancing and buffer allocation based on operation time complexity. *Procedia CIRP* 2019; 81: 1040–1045.
- Nwankpa CE., Ijomah W., Gachagan A. Design for automated inspection in remanufacturing: A discrete event simulation for process improvement. *Cleaner Engineering and Technology* 2021; 4, 100199.
- Pedgen C., Sadowski R., Shannon R. *Introduction to simulation using siman*. New York: McGraw-Hill, 1995.
- Pirola F., Zambetti M., Cimini C. Applying simulation for sustainable production scheduling: a case study in the textile industry. *IFAC-Papers OnLine* 2021; 54(1): 373-378.
- Rajakumar S., Arunachalam V., Selladurai V. Simulation of workflow balancing in assembly shopfloor operations. *Journal of Manufacturing Technology Management* 2005; 16, 265-281.
- Sariaslan H. *Sıra bekleme sistemlerinde simülasyon tekniği*. Ankara: Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Yayınları, 1986.
- Sime H., Jana H., Panghal D. Feasibility of using simulation technique for line balancing in apparel industry. *Procedia Manufacturing* 2019; 30: 300–307.
- Tacha OI., Volos CHK., Kyprianidis IM., Stouboulos IN., Vaidyanathan S., Pham VT. Analysis, adaptive control and circuit simulation of a novel nonlinear finance system. *Applied Mathematics and Computation* 2016; 276: 200-217.
- Tosun D. Hazır giyim sektöründe benzetim tekniği kullanılarak üretim hattı dengelemesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2020.
- Türkiye İhracatçılar Meclisi. Sektörel Bazda Rakamlar, 02.06.2023, <https://tim.org.tr/tr/ihracat-rakamlari>.
- Ulussever T. A welfare policy analysis in the Turkish economy: A simulation based macroeconomic application of the deficit financing policies. *Journal of the Franklin Institute* 2011; 348(7): 1416-1434.
- Valente L., Feijó B., Ribeiro A., Clua E. Pervasive virtuality in digital entertainment applications and its quality requirements. *Entertainment Computing* 2018; 26: 139-152.
- Wu H., Xu Y., Liu Z., Li Y., Wang P. Adaptive machine learning with physics-based simulations for mean time to failure prediction of engineering systems. *Reliability Engineering & System Safety* 2023; 240: 109553.
- Zargaran A., Houlden R., O'Neill P., Schaffer S., Chang V., Golahmadi AK., Hirniak J., Turki M., Zargaran D. Emergency medicine undergraduate simulation training during the COVID-19 pandemic: A course evaluation. *Injury* 2022; 53(10): 3191-3194.
- Zhao XQ., Yang H., Shi X., Liu KX., Wang Y., Zhang GG. CPRM: Color perception and representation model for fabric image based on color sensitivity of human visual system. *Textile Research Journal* 2023 (doi: 10.1177/00405175221150647)

Zheng Y., Lei M., Peng Y. A simulation optimization method for coordination of production. Transportation and Sales Fundamental Research 2023; In Press.

## EKLER

### EK 1: Erkek Uzun kollu Kazak Üretimi İş Öğeleri

Operasyon	Kullanılan Makine
1 İstifleme	Ortacı
2 Omuz Çatma	Overlok
3 Kol Takma	Overlok
4 Yan Çatma	Overlok
5 Yıkama Talimatı Takma	Düz Dikiş
6 Yaka Takma	Overlok
7 Ense Biye Takma	Overlok (biye)
8 Ense Biye Kesme	Ortacı
9 Ense Biye Kapama	Düz Dikiş
10 Ense Etiketli İşareti Alma	Ortacı
11 Etiket Takma	Düz Dikiş
12 Ön Çıma Kapama	Düz Dikiş
13 Kol Manşet Takma	Overlok
14 Kol Manşet Hazırlık	Düz Dikiş
15 Etek Manşet Hazırlık	Düz Dikiş
16 Biye Kesme	Biye Makinesi
17 Yaka Ütü İzi Alma	Ütü
19 Yaka Hazırlık	Overlok
20 Yıkama Talimatı Hazırlık	Düz Dikiş
21 Yaka Çevirme	Ortacı
22 Kol Manşet Çevirme	Ortacı
23 Etek Manşet Çevirme	Ortacı
24 Etek Manşet Ütü İzi Alma	Ütü
25 Yaka Kesme	Overlok
26 Etek Takma	Overlok
27 Temizlik	
28 Kalite Kontrol	
29 Son Ürün Ütü	Ütü
30 Katlama	
31 Fiyat Etiketli Takma	Kılıçık Tabancası
32 Jelatine Koyma	
33 Metal Dedektör Makinesinden Geçirme	Metal Dedektör
34 Asortiyeli Konulacak Ürünleri Hazırlama (9 adet)	
35 Asortiyeli Poşetine Koyma (9 adet)	
36 Asortiyeli Poşetine Barkod Yapıştırma	
37 Koli Yapma (1 birim ürün için)1 koli-27 adet ürün	
38 Kolileme	
39 Koli Üzeri Barkod Yapıştırma	

## EK 2. İş Öğelerine Ait Sürelerin İstatistiksel Dağılımı

İş Ögesi	İstatistiksel Dağılım	İş Ögesi	İstatistiksel Dağılım
İstifleme	TRIA (33, 38.2, 42)	Yaka Çevirme	$7.56 + 0.94 * \text{BETA}(1.82, 2.11)$
Omuz Çatma	TRIA (11, 13.1, 17)	Kol Manşet Çevirme	$10.7 + 1.32 * \text{BETA}(1.44, 1.39)$
Kol Takma	23 + WEIB (5.23, 2.29)	Etek Manşet Çevirme	TRIA(11.8, 12.2, 13.4)
Yan Çatma	35 + LOGN (4.89, 3.25)	Etek Manşet Ütü İzi Alma	$10.7 + 1.27 * \text{BETA}(1.09, 1.42)$
Yıkama Talimatı Takma	NORM (13.3, 1.79)	Yaka Kesme	NORM(7.53, 0.639)
Yaka Takma	NORM (22.2, 1.42)	Etek Takma	NORM(35, 4.36)
Ense Biye Takma	$10 + 8 * \text{BETA}(5.91, 10.8)$	Temizlik	$65 + 6.67 * \text{BETA}(0.693, 0.931)$
Ense Biye Kesme	$14.1 + \text{WEIB}(4.99, 5.51)$	Kalite Kontrol	TRIA(53, 59,5, 66)
Ense Biye Kapama	$18 + \text{LOGN}(3.95, 2.07)$	Son Ürün Ütü	TRIA(59, 70.6, 77)
Ense Etiketli İşareti Alma	NORM(6.93, 0.53)	Katlama	$34 + 4.65 * \text{BETA}(0.62, 0.787)$
Etiket Takma	$10.2 + \text{LOGN}(2.44, 0.998)$	Fiyat Etiketli Takma	$5.52 + 4.48 * \text{BETA}(0.733, 0.783)$
Ön Çima Kapama	NORM (21.3, 1.67)	Jelatine Koyma	NORM(32.1, 1.63)
Kol Manşet Takma	NORM(39.3, 3.32)	Metal Dedektör	$2.17 + 2.31 * \text{BETA}(0.568, 0.457)$
Kol Manşet Hazırlık	NORM(11.2, 0.391)	Asorti Hazırlama(9 adet)	$3.36 + 2.17 * \text{BETA}(0.5, 0.698)$
Etek Manşet Hazırlık	TRIA(15, 15.6, 16.6)	Asorti Poşetleme(9 adet)	UNIF(4.34, 9)
Biye Kesme	TRIA(1.4,1.6,1.8)	Asorti Barkodlama	$1.08 + 1.16 * \text{BETA}(0.262, 0.188)$
Yaka Ütü İzi Alma	$11.4 + 5.46 * \text{BETA}(1.32, 1.06)$	Koli Yapma	TRIA(20,25,30)
Yaka Hazırlık	$15.7 + \text{WEIB}(1.91, 2.76)$	Kolileme	$2.17 + 2.31 * \text{BETA}(0.524, 0.44)$
Yıkama Talimatı Hazırlık	NORM(11.2, 1.08)	Koli Üzeri Barkod Yapıştırma	$2.17 + 2.31 * \text{BETA}(0.627, 0.441)$

## The Effect of Manganese and Sulfur Applications on the Rocket (*Eruca vesicaria subsp. Sativa*) Plant Grown in Lime Soils

Ayşen AKAY<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, 42130, Konya

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-2541-0167>

\*Sorumlu yazar: aakay@selcuk.edu.tr

### Research Article

#### Article History:

Received: 26.05.2022

Accepted: 12.02.2024

Published online: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Sulfur  
Manganese  
Fertilizer  
Interaction  
Rocket  
Calcareous soil

### ABSTRACT

Due to the high lime and pH in the soil, sulfur and micro element deficiencies are observed in green vegetable plants. Rocket, one of the green vegetables and a member of the Brassicaceae family, is widely produced in our country. It is noteworthy that rocket is grown by producers almost everywhere and that this plant grown in our region also has a deficiency of microelements. For this reason, in this study were investigated that the sulfur and manganese requirement of rocket, which is one of the vegetable plants grown in Konya calcareous soil, and the effect of the interaction between these two elements on plant growth and yield. In our study, sulfur (S) fertilizer was applied in three doses (0- 40- 80 kg S da<sup>-1</sup>) and manganese (Mn) fertilizer in three doses (0- 1- 2 kg Mn da<sup>-1</sup>) was applied to the rocket plant. The experiment was carried out in the greenhouse conditions according to the randomized plots factorial design. At the end of the experiment, the average leaf height, chlorophyll SPAD value, plant fresh weight, plant height and plant Mn concentration did not differ with different doses of fertilizer applications in the rocket plant. On the other hand, the sulfur concentration in the plant and soil increased significantly with sulfur fertilization (p<0.05). It has been determined that if there is sufficient sulfur in the soil for rocket, there is no need for additional sulfur fertilization.

## Kireçli Topraklarda Yetiştirilen Roka (*Eruca vesicaria subsp. Sativa*) Bitkisine Mangan ve Kükürt Uygulamalarının Etkisi

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 26.05.2022

Kabul tarihi: 12.02.2024

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Kükürt  
Mangan  
Gübre  
İnteraksiyon  
Roka  
Kireçli toprak

### ÖZ

Topraklardaki yüksek kireç ve pH' dan dolayı yeşil sebze bitkilerinde kükürt ve mikro element noksanlığı gözlenmektedir. Yeşil sebzelerden biri olan ve Brassica familyasının bir üyesi olan roka ülkemizde yaygın şekilde üretilmektedir. Rokanın hemen her yerde yetiştirilmesi ve bölgemizde yetiştirilen bu bitkide de mikro element noksanlığı görülmesi dikkati çekmiştir. Bu nedenle yürütülen çalışmada, Konya kireçli topraklarında yetiştirilen rokanın kükürt (S) ve mangan (Mn) ihtiyacının belirlenmesi ve bu iki element arasındaki etkileşimin bitki gelişimi ve verimine etkisi araştırılmıştır. Çalışmamızda; kükürtlü gübre üç dozda (0- 40- 80 kg S da<sup>-1</sup>) ve manganlı gübrede üç dozda (0- 1- 2 kg da<sup>-1</sup> Mn) roka bitkisine uygulanmıştır. Deneme sera şartlarında tesadüf parselleri faktöriyel deneme desenine göre yürütülmüştür. Deneme sonunda roka bitkisinde ortalama yaprak boyu, klorofil SPAD değeri, bitki

yaş ağırlığı, bitki boyu ve bitki Mn konsantrasyonu farklı dozlarda gübre uygulamaları ile farklılık göstermemiştir. Buna karşın bitkide ve toprakta kükürt konsantrasyonu kükürt gübrelemesi ile önemli artış göstermiştir ( $p<0.05$ ). Roka için toprakta yeterli seviyede kükürtün bulunması halinde ek kükürtlü gübrelemeye ihtiyaç olmadığı belirlenmiştir.

---

**To Cite:** Akay A. The Effect of Manganese and Sulfur Applications on the Rocket (*Eruca vesicaria subsp. Sativa*) Plant Grown in Lime Soils. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(3): 1261-1271.

## 1. Introduction

Existing agricultural lands in our country contain relatively high amounts of  $\text{CaCO}_3$  and have extremely poor organic matter, resulting in high pH of the soils. This situation directly affects the availability of plant nutrients necessary for plant growth. Elemental sulfur (S) can be used as a nutrient and a soil acidifier (Lindemann et al., 1991; Neilsen et al., 1993). Acidity produced during elemental S oxidation, it increases the chemical and physical properties of alkaline and sodic soils (Wainwright, 1984) and also this acidity increases the availability of nutrients such as P, Mn, Ca and  $\text{SO}_4$  in soils (Lindemann et al., 1991).

Sulfur is one of the six macroelements essential for plants, plays an important role in catalysis and regulation functions in plants (Marshner, 2005). For many years, it has been thought that sulfur does not limit plant productivity. Sulfur deficiency is observed in some agricultural areas in the world due to the recent restrictions on sulfur air pollutant emissions, which are components of acid rain (Leustek and Kazuki Saito, 1999). Sulfur is also a powerful pesticide and fungicide. It is used in large quantities to combat powdery mildew for crops such as grapes and sugar beets. This creates another source that leaves a residual effect on the soil, apart from the use of sulfur as a fertilizer (Hinckley et al., 2020).

It is found in sulfur, cystine and methionine amino acids and various metabolites in the plant. The product after sulfate assimilation is cysteine, then other compounds such as methionine, S-adenosylmethionine, glutathione, thiamine, coenzyme-A, iron-sulfur centers, phytochelatins and glucosinolates are produced (Leustek et al., 2000; Lewandowska and Sirko, 2008). Sulfur is involved in many events such as regulation of enzyme activities and biosynthesis, protection of cells, photosynthesis, and respiration in plants (Davidian and Kopriva, 2010). In recent studies, it has been stated that sulfur has become a limiting factor in plant growth (Scherer, 2001). Almotory et al. (2020) stated that agricultural sulfur application increases the availability of  $\text{Fe}^{+2}$  and  $\text{Mn}^{+2}$  in the soil, but it decreases the availability of  $\text{Zn}^{+2}$  and  $\text{Cu}^{+2}$ . In this study, the application of sulfur at  $2000 \text{ kg ha}^{-1}$  level increased up to 21.43% the amount of the available  $\text{Mn}^{+2}$  in the soil. In another study, sulfur increased the amount of available Fe, Mn, and Zn in the soil (Saleh 2001).

Sulfur is important for various agricultural products as well as vegetables such as rocket. Low availability of sulfur may affect the quality of cultivated plants and especially the Brassicaceae family due to their high sulfur requirement (Houhou et al., 2018). Sulfur deficiency affected the biochemical quality and morphological parameters of *Eruca sativa* and decreased the total dry weight of the plant and the chlorophyll concentration. It was also observed that both sulfate and total sulfur concentrations

in the leaves decreased rapidly in response to the reduced sulfur supply to the plant (Houhou et al., 2018).

Rocket (*Eruca sativa*) is in the Brassicaceae family, it is an endemic, one-year species that is extensively produced in our country and in Mediterranean countries such as Italy, Greece, Portugal, and Egypt, and has a spicy sharp taste (Bianco and Boari, 1997; Morales and Janick, 2002). Rocket, which dates back to the Middle Ages, is also known as a medicinal plant and is used as an aphrodisiac, eye infections, digestive and kidney problems (Yaniv et al., 1998); it has cell protective and anti-ulcer activities against stomach lesions (Alqasoumi et al., 2009). Similar to other Brassica species, rocket contains glucosinolates such as allyl sulfocyanate, and compounds very rich in sulfur such as isothiocyanates (Bennet et al., 2002; Martinez-Sanchez et al., 2006), and erucic acid in the seed oil. Rocket (*Eruca sativa*) has consumed as a vegetable (leaves) and a spice (leaves, seeds, flowers) (Bermejo and León, 1994).

According to the data of 2021, the annual production of rocket in Turkey is 27.350 tons (Anonymous, 2022). However, the production data of individual gardeners are not known exactly, except for the officially announced values. In addition to nitrogen, phosphorus, and potassium at the nutrition of the rocket plant should not be ignored the effect of sulfur and manganese. Manganese acts as a cofactor for many enzymes, including lignin synthesis, as is known (Burnell, 1988). This function of manganese assumes a key role in disease resistance. In soil experiments, it was stated that fertilizers containing sulfur in reduced (thiosulfate) form had a strong mobilizing effect on Mn, and plants accumulated large amounts of Mn in the biomass compared to oxidized S (sulphate). Thus, fertilization with sulfur in the form of thiosulfate can be very effective in correcting Mn deficiency in soils formed on ancient marine sediments where Mn availability limits plant growth (Husted et al., 2005). The plant's tolerance to soluble Mn can also be affected by the concentration of S, Al, Zn and Cu in the medium. In addition, S can be lower the pH of the growth medium and increase the availability of Mn to plants (El-Jaoual and Cox, 1998). Wallace et al. (1974) reported that S significantly reduced the yield of soybeans suffering from Mn toxicity.

Studies on the sulphurous and manganese fertilizer demand of plants on calcareous soils in our region are insufficient. For this reason, the effect of sulphurous and manganese fertilizer application on the yield, plant growth, chlorophyll content, product quality and element concentration of rocket, which is one of the green vegetable plants, was investigated in this study. In the study, suitable and economical sulfur and manganese doses were tried to be determined for the plant grown in calcareous soil.

## **2. Material and Method**

### **Material**

The soil used in the experiment was taken from Konya - Selcuk University Faculty of Agriculture, Saricalar farmland from a depth of 0-30 cm. After drying in the air, it was passed through a 4 mm

sieve and filled into pots (2.5 kg pot<sup>-1</sup>). Rocket seeds used in the experiment are commercial seeds produced and sold to farmers.

### **Method**

The experiment was set up in the greenhouse according to the factorial experimental design at randomized plots with 4 replications. In the study carried out to determine the effect of sulfur and manganese fertilization on the development and some yield characteristics of rocket, three doses of S (0- 40- 80 kg da<sup>-1</sup>) (S0- S1- S2) using bentonite-S containing 90% S and three doses of Mn (0- 1- 2 kg da<sup>-1</sup> Mn) (Mn0- Mn1- Mn2 ) Mn EDTA form was applied to the experiment pots.

The experiment was carried out in 36 pots in total. After rocket seeds were planted in pots in a greenhouse environment, their development was followed until the beginning of flowering. Additional fertilization was applied to all pots, according to the soil analysis results (Fe-EDDHA (0.5 kg Fe/da) and urea fertilizer (10 kg N/da) was applied to the pots. After these processes, the pots were regularly watered considering the field capacity of the soil. Chlorophyll spad value (with Minolta-502 SPAD meter) in mature leaves in each pot at the beginning of flowering, and plant leaf height, plant height, and plant above-ground weight values were determined at the end of the experiment.

### **Plant Analyzes**

The harvested plants were pre-washed, dried at 65 degrees Celsius and ground in a mill made of steel material. The ground plant samples were wet burned with HNO<sub>3</sub> on the hot plate, and then S and Mn were determined. For this purpose, the Mn contents of the solutions obtained were determined by reading in AAS (Bayraklı, 1987; Kacar and Inal, 2010) and S concentrations were determined by reading in a spectrophotometer according to the turbidimetric method adapted from Chesnin and Yien (1951).

### **Soil analyzes**

Before the experiment, soil samples were taken from 0-30 cm from the field and some physical and chemical properties were determined by analyzing (Table 1). Soil texture, pH, salinity, CaCO<sub>3</sub> by Scheibler calcimeter method, organic matter, available phosphorus, exchangeable cations, plant useful Fe, Zn, Cu, Mn, field capacity and wilting point (Kacar, 2016) analyzes were made. In addition, soil samples were taken from the pots at the end of the experiment and sulfur determined by spectrophotometer using potassium dihydrogen phosphate (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) according to turbidimetric method (Fox et al., 1964).

The soil used in the experiment, which was carried out under greenhouse conditions, has a slightly alkaline pH and is in the salt-free soil class. Clay loam is textured, poor in organic matter and has a high lime content. The soil contains sufficient K, moderate levels of P, Mn and Cu, and low levels of Fe and Zn (Table 1).



**Table 1.** Some physical and chemical properties of the experiment soils

Experiment Soil Properties	Texture class	EC(ds/m)	pH	CaCO <sub>3</sub> (%)	Organic Matter (%)	Field capacity	Fading point
	Clay loam	0.93	7.90	12.94	1.98	26	14
		<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>P</b>	<b>K</b>
		(mg kg <sup>-1</sup> )					
		0.96	1.30	0.58	2.46	5.15	831.88

### Statistical evaluation

The results obtained from the greenhouse experiment were subjected to analysis of variance using MINITAB package programs in four replications. The results expressed as mean  $\pm$  standard deviation (SD) (significant differences between mean at 95% level of confidence). Significant differences were determined by Anova test.

### 3. Results

Different doses of Mn applications in the experiment caused significant differences on leaf chlorophyll spad value, plant fresh weight, plant height, the S concentration in the plant, the Mn concentration in the plant and the S concentrations remaining in the soil at the end of the experiment ( $p < 0.05$ ). While increasing Mn dose caused a decrease in chlorophyll spad value, plant fresh weight, plant height, S concentration in the plant compared to the control applications. The Mn concentration in the plant and the S concentration in the soil increased compared to the control.

There was no significant difference in leaf length values. Mn contents in the plant are in the range of the sufficiency limit values given for vegetables (30-250 mg Mn kg<sup>-1</sup> per leaf). Sulfur contents in the plant are slightly above the sufficiency limit values (0.30-1.00% S per leaf) (Kacar and Katkat, 1998). The S content in the soil showed a significant increase in the 2 kg da<sup>-1</sup> Mn application compared to the control and 1 kg da<sup>-1</sup> Mn application (Table 2).

**Table 2.** The effect of sulfur fertilizer applications on the data obtained from the rocket plant and the results of variance and Tukey test analysis  
(\*Different letters show the comparison of the mean values according to Tukey test;  $p < 0.05$ )

Application doses (kg S da <sup>-1</sup> )	Leaf length (cm)	Leaf chlorophyll spad value	Plant fresh weight (g pot <sup>-1</sup> )	Plant height (cm)	S in soil (mg kg <sup>-1</sup> )	S in the plant (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn in the plant (mg kg <sup>-1</sup> )
0	10.14 $\pm$ 0.41 a	41.73 $\pm$ 2.08 a	58.28 $\pm$ 4.21 a	19.55 $\pm$ 1.11 b	5.20 $\pm$ 1.14 c	9306 $\pm$ 795 b	46.55 $\pm$ 2.27 b
40	8.83 $\pm$ 0.34 b	37.43 $\pm$ 0.73 b	44.13 $\pm$ 4.14 b	19.25 $\pm$ 3.72 b	33.34 $\pm$ 6.79 b	11548 $\pm$ 1696 a	48.67 $\pm$ 4.40 a
80	8.71 $\pm$ 0.23 b	35.46 $\pm$ 1.22 c	43.99 $\pm$ 2.35 b	23.15 $\pm$ 2.53 a	58.94 $\pm$ 25.66 a	10965 $\pm$ 587 a	49.03 $\pm$ 1.52 a

**Table 3.** The effect of manganese fertilizer applications on the data obtained from the rocket plant and the results of variance and Tukey test analysis

(\*Different letters show the comparison of the mean values according to Tukey test;  $p < 0.05$ )

S doses (kg S da <sup>-1</sup> )	Mn doses (kg Mn da <sup>-1</sup> )	Leaf length (cm)	Leaf chlorop. spad value	Plant fresh weight (g pot <sup>-1</sup> )	Plant height (cm)	S in the plant (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn in the plant (mg kg <sup>-1</sup> )	S in soil (mg kg <sup>-1</sup> )
0	0	9.95 ± 0.49	43.07 ± 0.69 a	62.95 ± 1.41 a	18.82 ± 0.84 b	8594 ± 503 e	44.21 ± 1.62 c	5.75 ± 0.96 d
	1.0	10.17 ± 0.41	43.03 ± 0.58 a	56.86 ± 2.89 b	19.88 ± 1.42 b	10183 ± 505 cde	47.81 ± 2.01 bc	4.68 ± 1.21 d
	2.0	10.32 ± 0.35	39.07 ± 0.98 b	55.03 ± 2.96 b	19.96 ± 0.87 b	9140 ± 270 de	47.62 ± 1.15 bc	5.16 ± 1.26 d
40	0	9.07 ± 0.11	36.96 ± 0.72 cd	49.31 ± 2.73 c	23.37 ± 2.543 a	12517 ± 1317 a	44.45 ± 3.91 c	35.26 ± 7.17 bc
	1.0	8.45 ± 0.34	37.26 ± 0.62 bc	41.28 ± 1.23 e	19.04 ± 0.77 b	12265 ± 1679 ab	48.65 ± 2.08 abc	36.56 ± 6.31 bc
	2.0	8.98 ± 0.06	38.07 ± 0.43 bc	41.79 ± 0.29 e	15.34 ± 0.69 c	9862 ± 519 cde	52.92 ± 1.90 a	28.20 ± 4.90 c
80	0	8.67 ± 0.28	36.37 ± 0.34 cd	46.23 ± 0.32 cd	23.92 ± 0.62 a	11527 ± 219 abc	49.49 ± 2.32 ab	42.19 ± 8.63 b
	1.0	8.67 ± 0.17	35.06 ± 1.57 d	41.11 ± 0.91 e	19.93 ± 0.53 b	10837 ± 706 a-d	48.95 ± 1.31 abc	41.83 ± 5.62 b
	2.0	8.80 ± 0.27	34.94 ± 1.09 d	44.62 ± 1.02 de	25.60 ± 0.34 a	10531 ± 144 b-e	48.66 ± 0.98 abc	92.79 ± 3.97 a

In the experiment, increasing doses of S applications caused significant decreases in leaf length, leaf chlorophyll spad value, and plant fresh weight values. The plant height, S concentration in the plant, Mn concentration in the plant and the S concentration remaining in the soil at the end of the experiment increased significantly with increasing sulfur doses. It was observed that sulfur application had a positive effect on plant Mn uptake (Table 3).

When the combined effect of increasing doses of S and Mn is examined, while there was no significant change in leaf length, leaf chlorophyll spad value showed a significant decrease compared to control applications ( $p < 0.05$ ). A similar situation was observed in the fresh weight of the plant. Plant height values gave positive results especially when Mn0 dose were applied together with S40 and S80 doses ( $p < 0.05$ ).

**Table 4.** The effect of sulfur and manganese fertilizer applications on the data obtained from the rocket plant

Application doses (kg Mn da <sup>-1</sup> )	Leaf length (cm)	Leaf chlorophyll spad value	Plant fresh weight (g pot <sup>-1</sup> )	Plant height (cm)	S in soil (mg kg <sup>-1</sup> )	S in the plant (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn in the plant (mg kg <sup>-1</sup> )
0	9.23 ± 0.63	38.80 ± 3.21 a	52.83 ± 7.76 a	22.04 ± 2.78 a	27.73 ± 17.52 b	10879 ± 1893 a	46.05 ± 3.58 b
1.0	9.09 ± 0.85	38.45 ± 3.63 a	46.42 ± 7.90 b	19.62 ± 0.98 b	27.69 ± 17.71 b	11095 ± 1341 a	48.47 ± 1.73 a
2.0	9.36 ± 0.74	37.36 ± 2.01 b	47.15 ± 6.17 b	20.30 ± 4.42 b	42.05 ± 38.89 a	9844 ± 672 b	49.74 ± 2.71 a

(\*Different letters show the comparison of the mean values according to Tukey test;  $p < 0.05$ )

S concentration in the plant increased with increasing S doses but it decreased with increasing Mn doses ( $p < 0.05$ ). Although the Mn concentration in the plant increased partially with increasing Mn doses, increasing S doses increased the S concentration in the plant compared to the control. Especially in S40 -Mn2 application, the plant Mn concentration is the highest (52.92 mg kg<sup>-1</sup>). Mn concentrations in rocket samples collected from Aydın region in Turkey were between 25.60 and 79.30 mg kg<sup>-1</sup>, with an average of 40.58 mg kg<sup>-1</sup> Mn (Barlas et al., 2011).

At the end of the experiment, the available S concentration remaining in the soil at the end of the experiment increased with increasing S applications, especially at S80 applications, compared to the control. In fact, the S concentration, which was below the limit value given for S in the soil, reached the highest value at the S80-Mn2 dose in control applications (92.79 mg kg<sup>-1</sup>) ( $p < 0.05$ ) (Table 4).

#### 4. Discussion

Considering the S and Mn concentration values in the plant, it was determined that the dose application of 40 kg S da<sup>-1</sup> and 1 kg Mn da<sup>-1</sup> affected these data positively. However, S and Mn applications are ineffective in the growth parameters obtained at the end of the experiment. As is known, rocket is rich in iron, potassium and sulfur, and also contains high levels of protein and vitamin A (Porto et al., 2013).

The use of nano Fe and Zn applications on rocket, alone or in combination with chicken manure, significantly increased almost all growth parameters (such as fresh weight and seed yield, photosynthetic rate, transpiration rate, water use efficiency) compared to the control (Mahmoud et al., 2018). Organic fertilizers applied integrated with inorganic fertilizers provided higher yields than single chemical fertilizers (Sarwar et al., 2008). Fe, Mg and Mn deficiency causes the appearance of leaf chlorosis in rocket grown in hydroponic environment; It has been observed that lack of oxygenation and excess macronutrients affect the chlorosis and necrosis of rocket (Ramirez et al., 2022).

The plants in the Brassicaceae family, it has the highest demands for sulfur fertilization as they need sulfur for isothiocyanate synthesis (mustard oils). Plants such as horseradish and radish from root vegetables, onions and garlic from the Liliaceae family, spinach from the leafy vegetables and pepper from the fruit and vegetable group produce essential oil (Smatanová et al., 2004).

Although the sulfur concentration in the plant increased significantly ( $p < 0.05$ ) with the increasing sulfur dose in the study, no difference was observed between the sulfur doses of 40 and 80 kg da<sup>-1</sup>. An increase in soil sulfur was observed with increasing sulfur doses compared to the control. In a study on pepper, the S content of pepper increased with increasing S doses, and it was reported that there was no effect when the S content in the soil was 30.6 mg kg<sup>-1</sup> (Smatanová et al., 2004).

Gülser and Ayaş (2016) stated that, the application of increasing doses of sulfur in the spinach plant caused a significant decrease in the Mn content of the plant. The lowest Mn content was obtained with 124 mg kg<sup>-1</sup> in S3 (375 g m<sup>-2</sup> elemental sulfur) application, while the highest Mn content was obtained as 135 mg kg<sup>-1</sup> in S0 (control) application.

## **5. Conclusion**

Considering the S and Mn concentration values in the plant, it was determined that 40 kg S da<sup>-1</sup> and 1 kg Mn da<sup>-1</sup> doses affected these values positively. However, S and Mn applications are ineffective in the growth parameters examined. According to the data obtained, it has been concluded that if there is sufficient sulfur in the soil for rocket, there is no need for additional sulfur fertilization, and also unnecessary fertilizer consumption should be avoided considering the economic difficulties that the farmer will experience. Considering the results obtained, it is thought that it will be beneficial to conduct field trials and investigate the effects of sulfur and manganese on other growth parameters.

## **Thanks**

The author would like to thank Selcuk University BAP (20402001) Coordinatorship for their support. In the article, the author would like to thank for Abdurrahman Öz, Mustafa Turhan, Mustafa Tanrikulu and Zübeyir Arzuman help during the setup of the experiment.

## **Author Contribution**

All intellectual rights in the article belong to the author. The author completed the study alone in the stages of obtaining the results of the experiment, laboratory analysis and writing the article.

## **Conflict of Interest**

The author declared that there is no conflict of interest.

## References

- Alqasoumi S., Al-Sohaibani M., Al-Howiriny T., Al-Yahya M., Rafatullah S. Rocket “*Eruca sativa*”: A salad herb with potential gastric anti-ulcer activity. *World Journal of Gastroenterology* 2009; WJG, 15(16): 1958.
- Almotory DM., Thaher AAZT., Al-Jaberi MM. Effect of agricultural sulphur and thiobacillus bacteria on micronutrients availability in saline soil. *Plant Archives* 2020; 20, 2:8846-8850. e-ISSN:2581-6063 (online).
- Anonymous. <https://www.tuik.gov.tr> 2022; Bitkisel üretim verileri.
- Barlas NT., Irget ME., Tepecik M. Mineral content of the rocket plant (*Eruca sativa*). *African Journal of Biotechnology* 2011; 10(64): 14080-14082.
- Bayraklı F. Toprak ve bitki analizleri (Çeviri ve Derleme) 19 Mayıs Üniv., Zir. Fak Yay. 1987; 17, Samsun.
- Bennett RN., Mellon FA., Botting NP., Eagles J., Rosa EAS., Williamson G. Identification of the major glucosinolate (4-mercaptobutyl glucosinolate) in leaves of *Eruca sativa* L. (salad rocket). *Phytochemistry* 2002; 61: 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(02\)00203-0](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(02)00203-0)
- Bermejo JEH., León J. (Eds.). Neglected crops: 1492 from a different perspective (Vol. 26). Food & Agriculture Org. Plant Production and Protection Series 26, 1994; FAO, Rome: 303-332.
- Bianco VV., Boari F. Up-to-date developments on wild rocket cultivation. In *Rocket: A Mediterranean Crop for the World. Report of a Workshop 1997* (1996, December); Legnaro (Italy): 13-14.
- Burnell JN. The biochemistry of manganese in plants. In *Manganese in soils and plants*. Springer, Dordrecht 1988; 125-137.
- Chesnin L., Yien CH. Turbidimetric determination of available sulfates. *Soil Science Society of America Journal* 1951; 15(C): 149-151.
- Davidian JC., Kopriva S. Regulation of sulfate uptake and assimilation—the same or not the same?. *Molecular Plant* 2010; 3(2): 314-325. <https://doi.org/10.1093/mp/ssq001>
- El-Jaoual T., Cox DA. Manganese toxicity in plants. *Journal of Plant Nutrition* 1998; 21(2): 353-386. <https://doi.org/10.1080/01904169809365409>
- Fox RL., Olson RA., Rhoades HF. Evaluating the sulfur status of soils by plant and soil tests. 1964. <https://doi.org/10.2136/sssaj1964.03615995002800020034x>
- Gülser F., Ayaş HÇ. Kükürt ve humik asit uygulamalarının ıspanak (*Spinacea oleracea var. Spinoza*) bitkisinin mikro besin elementi içeriklerine etkisi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi* 2016; 4(1): 27-31.
- Hinckley ELS., Crawford JT., Fakhraei H., Driscoll CT. A shift in sulfur-cycle manipulation from atmospheric emissions to agricultural additions. *Nature Geoscience* 2020; 13(9): 597-604.

- Houhou M., Joutei KA., Louhalia S. Biomass production, chlorophyll content and morphological parameters are affected by sulfur deficiency in *Eruca sativa* L. *Int. J. Ecol. Environ. Sci* 2018; 44: 67-75.
- Husted S., Thomsen MU., Mattsson M., Schjoerring JK. Influence of nitrogen and sulphur form on manganese acquisition by barley (shape *Hordeum vulgare*). *Plant and Soil* 2005; 268(1): 309-317. DOI 10.1007/s11104-004-0317-1
- Kacar B., Katkat V. Bitki besleme (Ders Kitabı). Güçlendirme Vakfı Yayın, Uludağ Üniversitesi 1998; 1-595.
- Kacar B., Inal A. Bitki analizleri. Nobel Yayın Dağıtım Ankara 2010; 351-352.
- Kacar B. Physical and chemical soil analyses. Nobel Publishing, 2016 (1524)Turkey (in Turkish).
- Leustek T., Saito K. Sulfate transport and assimilation in plants. *Plant Physiology* 1999; 120: 637-643. <https://doi.org/10.1104/pp.120.3.637>
- Leustek T., Martin MN., Bick JA., Davies JP. Pathways and regulation of sulfur metabolism revealed through molecular and genetic studies. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 2000; 51: 141-165. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.51.1.141>
- Lewandowska M., Sirko A. Recent advances in understanding plant response to sulfur-deficiency stress. *Acta Biochimica Polonica* 2008; 55(3): 457-471. [https://doi.org/10.18388/abp.2008\\_3051](https://doi.org/10.18388/abp.2008_3051)
- Lindemann WC., Aburto JJ., Haffner WM., Bono AA. Effect of sulfur source on sulfur oxidation. *New Mexico Agric. Exp. Stn.* 1991; Journal Article no. 1486.
- Mahmoud AWM., Taha SS. Main sulphur content in essential oil of *Eruca Sativa* as affected by nano iron and nano zinc mixed with organic manure. *Agriculture* 2018; 64(2): 65.
- Marshner H. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Elsevier Academic Press, London 2005, UK.
- Martinez-Sanchez A., Allende A., Bennett RN., Ferreres F., Gil MI. Microbial, nutritional and sensory quality of rocket leaves as affected by different sanitizers. *Postharvest Biology and Technology* 2006; 42: 86-97. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.05.010>
- Morales M., Janick J. Arugula: A promising specialty leaf vegetable. In: Janick J, Whipkey A (Eds.). *Trends in new crops and new uses*. ASHS Press, Alexandria 2002; VA: 418-423.
- Neilsen GH., Parchomchuk P., Wolk WD., Lau OL. Growth and mineral composition of newly planted apple trees following fertigation with N and P. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 1993; 118(1): 50-53.
- Porto RDA., Bonfim-Silva EM., Souza DDM., Cordova NRM., Polyzel AC., da Silva TJA. Potassium fertilization in rocket plants: production and efficiency in water use. *Agro@ mbiente On-line* 2013; 7(1): 28-35.
- Ramírez MÁB., Delfin ASR., Ramírez WB., Cabrera NC. Impact of iron, magnesium and manganese on arugula chlorosis in hydroponic systems. *Ind. Data* 2022; 25(2). <https://doi.org/10.15381/10.15381/idata.v25i2.23591.g19053>

- Saleh ME. Some agricultural applications for biologically produced sulfur recovered from sour gases. I. Effect on soil nutrients availability in highly calcareous soils. In: International Symposium on Elemental Sulfur for Agronomic Application and Desert Greening. United Arab Emirates University, Feb. 24-25, 2001, Abu Dhabi, UAE.
- Sarwar G., Hussain N., Schmeisky H., Suhammad S., Ibrahim M., Ahmad S. Efficiency of various organic residues for enhancing rice-wheat production under normal soil conditions. Pak. J. Bot. 2008; 40: 2107-2113.
- Scherer HW. Sulphur in crop production. European Journal of Agronomy 2001; 14(2): 81-111. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(00\)00082-4](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00082-4)
- Smatanová M., Richter R., Hluše J. Spinach and pepper response to nitrogen and sulphur fertilization. Plant Soil Environment 2004; 50(7): 303-308.
- Wainwright M. Sulfur oxidation in soils. Advances in Agronomy 1984; 37: 349-396.
- Wallace A., Mueller RT., Cha JW., Alexander GV. Soil pH, excess lime, and chelation agent on micronutrients in soybeans and Bush beans. Agronomy Journal 1974; 66(5): 698-700.
- Yaniv Z., Schafferman D., Amar Z. Tradition, uses and biodiversity of rocket (*Eruca sativa*, Brassicaceae) in Israel. Economic Botany 1998; 52(4): 394-400.

## Cytotoxic Effects of Eugenol and $\alpha$ -Terpineol on the Rainbow Trout Gonadal Cells

Semra ÇİÇEK<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, 25240, Erzurum

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-2927-2793>

\*Sorumlu yazar: semra.cicek@atauni.edu.tr

### Research Article

### ABSTRACT

#### Article History:

Received: 27.11.2023

Accepted: 14.02.2023

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

Eugenol

$\alpha$ -Terpineol

RTG-2 cells

Sulforhodamine B assay

Cytotoxicity

Eugenol and  $\alpha$ -terpineol are monoterpenes that are widely used in the food, medical and agricultural sectors and are intensively studied. Although the applications of eugenol and  $\alpha$ -terpineol have expanded, there are few reports indicating that they have cytotoxic effects depending on concentration and exposure time. Therefore, the cytotoxic effects of eugenol and  $\alpha$ -terpineol on the rainbow trout gonadal cells (RTG-2) have been investigated based on different concentrations (18.75-600  $\mu$ M and 3.125-100  $\mu$ M, respectively) and exposure time (24 h and 48 h) in this study. According to the Sulforhodamine B (SRB) test, all concentrations of eugenol significantly increased the viability of RTG-2 cells compared to the control group after 24 h of treatment. In the 48 h treatment, all treatments except for the 18.75  $\mu$ M treatment significantly increased cell viability. However, these increases in viability were lower compared to those observed in the 24 h treatment. The treatments with  $\alpha$ -terpineol ( $\geq 12.5$   $\mu$ M) had a toxic effect on the RTG-2 cells after 24 and 48 h of treatment, leading to a significant reduction in cell viability. Treatments of  $\alpha$ -terpineol (6.25  $\mu$ M and 3.125  $\mu$ M) non-significantly increased the viability of RTG-2 cells compared to the control group for 24 and 48 h, respectively. According to the data obtained from the study, it appears that molecular analyses are needed to fully understand the toxic effects of  $\alpha$ -terpineol, especially depending on concentration and exposure time.

## Öjenol ve $\alpha$ -Terpineol'ün Gökkuşığı Alabalığı Gonadal Hücreleri Üzerinde Sitotoksik Etkileri

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 27.11.2023

Kabul tarihi: 14.02.2024

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Öjenol

$\alpha$ -Terpineol

RTG-2 hücreleri

Sülforhodamin B testi

Sitotoksikite

### ÖZ

Öjenol ve  $\alpha$ -terpineol gıda, tıp ve tarım sektörlerinde yaygın olarak kullanılan ve üzerinde yoğun olarak çalışılan monoterpenlerdir. Öjenol ve  $\alpha$ -terpineolün uygulamaları yaygınlaşmış olsa da konsantrasyona ve süreye bağlı olarak sitotoksik etkilere sahip olduklarını gösteren az sayıda rapor bulunmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada gökkuşığı alabalığı gonadal hücreleri (RTG-2) üzerinde öjenol ve  $\alpha$ -terpineol'ün konsantrasyona (sırasıyla 18,75-600  $\mu$ M ve 3,125-100  $\mu$ M) ve süreye (24 ve 48 saat) bağlı olarak sitotoksik etkileri araştırılmıştır. Sülforhodamin B (SRB) testine göre öjenolün bütün konsantrasyonları, RTG-2 hücrelerinin canlılığını 24 saat'lik uygulamadan sonra kontrol grubuna kıyasla önemli ölçüde arttırdı. 48 saatlik maruziyette ise 18,75  $\mu$ M'lık uygulama hariç diğer uygulamalar hücre canlılığını önemli ölçüde arttırdı. Ancak canlılıktaki bu artışlar, 24 saatlik uygulamadakilere kıyasla daha düşüktür.  $\alpha$ -terpineol uygulamaları ( $\geq 12,5$   $\mu$ M) RTG-2 hücrelerine 24 ve 48 saatlik maruziyette toksik etkide bulunarak hücre canlılığında önemli bir azalmaya yol açmıştır.  $\alpha$ -Terpineol (6,25  $\mu$ M ve 3,125  $\mu$ M) uygulamaları RTG-2 hücrelerinin canlılığını kontrol grubuna kıyasla sırasıyla 24 ve 48 saat için anlamlı olmayan bir şekilde arttırdı. Çalışma elde edilen verilere göre, özellikle  $\alpha$ -terpineol'ün konsantrasyona ve süreye bağlı olarak toksik etkilerinin tam olarak anlaşılabilmesi için moleküler analizlere ihtiyaç duyulduğu görülmektedir.



## 1. Introduction

Eugenol ( $C_{10}H_{12}O_2$ ) is a volatile monoterpene phenolic aromatic compound found in essential oils obtained from most plant species (Ulanowska and Olas, 2021). Eugenol, which is recognized as a non-mutagenic and safe molecule by the World Health Organization (WHO), is used in various industrial sectors including medicine, pharmaceuticals, dentistry, food sweetening, agriculture, and cosmetics (Nisar et al., 2021). Eugenol's anti-inflammatory, antimicrobial, analgesic, antioxidant, neuroprotective, antidiabetic, and antitumor properties have been scientifically determined. In addition, based on the detection of eugenol's roles in cellular functions, such as triggering apoptosis and stopping the cell cycle, its effectiveness as a therapeutic molecule is being intensively investigated (Zhao et al., 2022; Racea et al., 2023a). Eugenol's therapeutic properties are associated with free radical scavenging (Carvalho et al., 2023). However, it has also been stated that eugenol causes structural and functional damage to tissues in a dose-dependent manner (Carvalho et al., 2022).

$\alpha$ -Terpineol ( $C_{10}H_{18}O$ ) is the first monocyclic monoterpenoid isomer of terpinols (Negreiros et al., 2023). There are reports on the anti-inflammatory, antiproliferative, antitumor, antiulcer, antibronchitis, antimicrobial, antimutagenic, blood pressure-lowering, antidiarrheal, anticonvulsant, and sedative activities of  $\alpha$ -terpineol (Sales et al., 2020; Chen et al., 2023).  $\alpha$ -Terpineol is extensively used as a flavoring agent in foods, a fragrance in cosmetics and cleaning products, and as a suspension solvent in the production of paints and fuel cells. Additionally, it has uses in the insecticide and miticide sectors, aromatherapy, and pharmaceutical industry (Sales et al., 2020; Chen et al., 2023). However, concentration- and time-dependent toxic effects of  $\alpha$ -terpineol have been demonstrated in various model organisms and cancer cells. These toxic effects have mostly been associated with plasma membrane degradation, ROS production, lipid peroxidation, and mitochondrial degradation (Agus, 2021; Negreiros et al., 2023).

Considering the use of eugenol and  $\alpha$ -terpineol in food, medical, and agriculture treatments, data on their potential toxicity is very crucial. Fish cells are widely used *in vitro* toxicology studies. The rainbow trout gonadal cells (RTG-2) from the *Oncorhynchus mykiss* have advantages such as the ability to metabolize toxic compounds, not requiring an exogenous metabolic system, and showing higher sensitivity than mammalian cells (Yurdakök-Dikmen et al., 2018). The RTG-2 cells have been successfully used for cytotoxicity testing of several materials (Çiçek, 2023). To the best of our knowledge, the concentration-dependent cytotoxic effects of eugenol and  $\alpha$ -terpineol have not been investigated on the RTG-2 cells. Thus, the present study aimed to determine the dose and exposure time dependent cytotoxic effects of eugenol and  $\alpha$ -terpineol on these cells.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Materials

The 10th passage of RTG-2 cells (Registration No: 95121808) has been supplied from the "Türkiye Şap Enstitüsü" (Ankara, TURKIYE). Eagle's Minimal Essential Medium (EMEM) (30–2003™, ATCC, USA), eugenol (Cat No: W246700, Sigma Aldrich, USA), Penicillin-Streptomycin (Pen/Strep) (P4458, Sigma, USA),  $\alpha$ -terpineol (Cat No: 432628, Sigma Aldrich, USA), trichloroacetic acid solution (Cat No: T0699, Sigma Aldrich, USA), sulforhodamine B (SRB) dye (Cat No:230162, Sigma Aldrich, USA), fetal bovine serum (FBS) (Cat No: S1620–500, Biowest, France), acetic acid (Cat No:695092, Sigma Aldrich, USA), and tris base (Cat No: T6066, Sigma Aldrich, USA) were purchased.

### 2.2. The preparation of the RTG-2 cells and eugenol and $\alpha$ -terpineol treatments

The growth solution for the RTG-2 cells consisted of 1% Pen/Strep, 10% FBS, and 89% EMEM. The cells were grown in an incubator (at 23.7 °C), without CO<sub>2</sub> respiration (Çiçek, 2023). 1.2 M of eugenol and 0.2 M of  $\alpha$ -terpineol stock solutions were prepared using a medium as a solvent. Eugenol treatments (600, 300, 150, 75, 37.5, 18.75  $\mu$ M) and  $\alpha$ -terpineol treatments (100, 50, 25, 12.5, 6.25, 3.125  $\mu$ M) were prepared from stock solutions (Ghodousi-Dehnavi et al., 2021; de Menezes Dantas et al., 2022; Alipour et al., 2022).  $3 \times 10^4$  and  $2.5 \times 10^5$  of the RTG-2 cells (16-18th passages) per well were seeded for the 24 h and 48 h treatments in a sterile cabinet, respectively. Eugenol and  $\alpha$ -terpineol treatments were added to the RTG-2 cells (n = 6). The cell viability analysis was conducted after 24 h and 48 h of treatment.

### 2.3. Sulforhodamine B test

The Sulforhodamine B (SRB) assay was proposed in other studies to examine the cytotoxicity of compounds with redox potential in adherent cells (Shakil et al., 2022; Işık and Çiçek, 2024). Therefore, SRB assay was used to assess the cytotoxicity of eugenol and  $\alpha$ -terpineol treatments due to their involvement in redox reactions, and because the RTG-2 cells are adherent cells (Bezerra et al., 2017; Agus et al., 2022; Işık and Çiçek, 2024). Briefly, cells were fixed with 100  $\mu$ L of cold 10% trichloroacetic acid and helded at + 4 °C for 1.5 h. The plates were washed with distilled water (dH<sub>2</sub>O) five times and were air-dried. Then, the fixed cells were dyed with SRB staining dye by adding 50  $\mu$ L of a 0.4% (w/v) 1% acetic acid solution and incubated for 30 min in the dark. Later, the plates were washed with a mixture of 5% acetic acid (in a 5:1 ratio) to remove the free staining dye. After the air-drying process, 150  $\mu$ L of 10 mM Tris base was added to each well, and the plates were agitated at 150 rpm for 10-20 min. The absorbance values were read using a microplate reader (Epoch™, BioTek, USA) at 564 nm (Vichai and Kirtikara, 2006; Shakil et al., 2022).

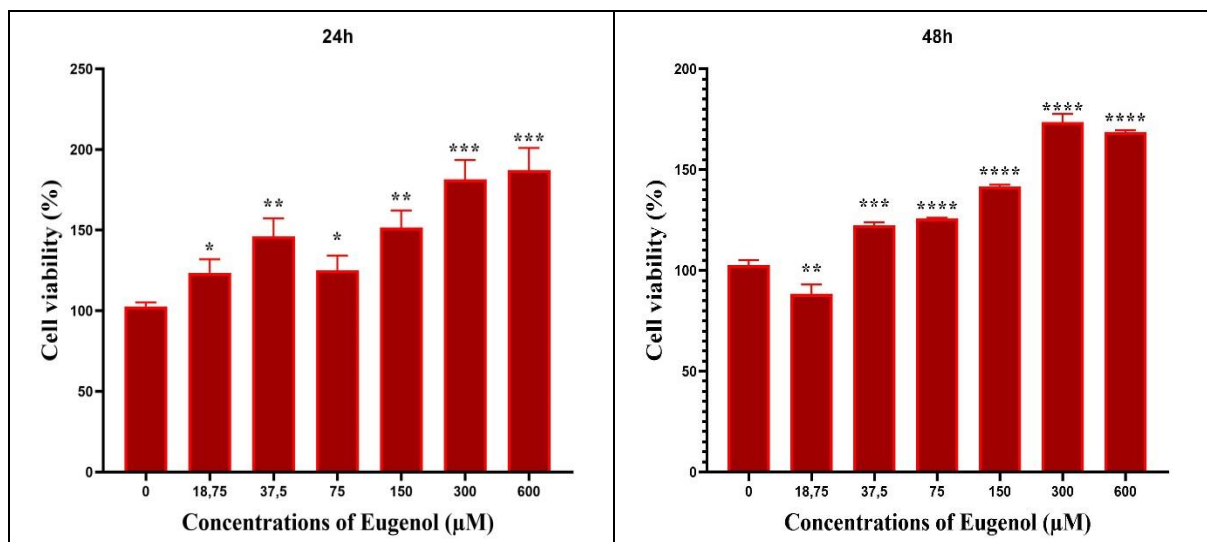
#### 2.4. Data analysis

The study data were analyzed using the GraphPad Prism 9 software (GraphPad Software, Inc., California, USA). Treatments were assessed using one-way analysis of variance and Dunnett's multiple comparison test. All throughout were stated as mean  $\pm$  SD. Analysis was performed in triplicate (n=6).

### 3. Results and Discussion

The SRB test revealed that all doses of eugenol significantly enhanced the cell viability of the RTG-2 cells compared to the control group after 24 h of treatment. At 24 h of treatment, eugenol concentrations of 18.75, 37.5, 75, 150, 300, and 600  $\mu$ M resulted in cell viabilities of 123.11%, 145.60%, 124.57%, 150.99%, 180.90%, and 186.47% relative to the control group (100%) for RTG-2 cells. These treatments of eugenol resulted in 88.48%, 122.35%, 125.81%, 141.49%, 173.61%, and 168.67% cell viability after 48 h of treatment, respectively (Figure 1).

Reports on the concentration-dependent cytotoxic effects of eugenol are scarce. High concentrations of eugenol ( $\geq 3$  mmol/L) have been reported to be cytotoxic to primary oral mucosal fibroblasts. This effect is associated with intracellular glutathione and ATP depletion. However, it has also been stated that low concentrations of eugenol ( $< 1$  mmol/L) have a protective effect on cell viability by inhibiting xanthine oxidase activity and lipid peroxidation. It has been reported that eugenol treatment (83  $\mu$ M) significantly increased the metaphase II rate, first polar body extrusion, cumulus cell expansion, cytoplasmic maturity, viability, glutathione level, division rates, embryo development, expanding blastocyst and blastomere number in bovine oocytes (de Oliveira et al., 2021). It has been demonstrated that treatment with eugenol (50  $\mu$ M) increased the viability of healthy human keratinocytes (HaCaT) cells over time (Aburel et al., 2021). In addition, it has been stated that eugenol (0.1 mM) did not cause a significant decrease in HaCaT cell viability after 72 h of treatment (Racea et al., 2023b). Some studies have highlighted that the concentration of eugenol matters in inducing cytotoxicity. Besides reports stating that it can only induce cytotoxicity at concentrations in the mM range, there are also some studies showing cytotoxicity at concentrations in the  $\mu$ M range (Bezerra et al., 2017). In this study, eugenol was seen as the only concentration (18.75  $\mu$ M) that reduced cell viability compared to the control group at 48 h. This effect may be attributed to the dual nature of eugenol, which can act as both an antioxidant and a pro-oxidant agent in response to oxidative stress (Bezerra et al., 2017).

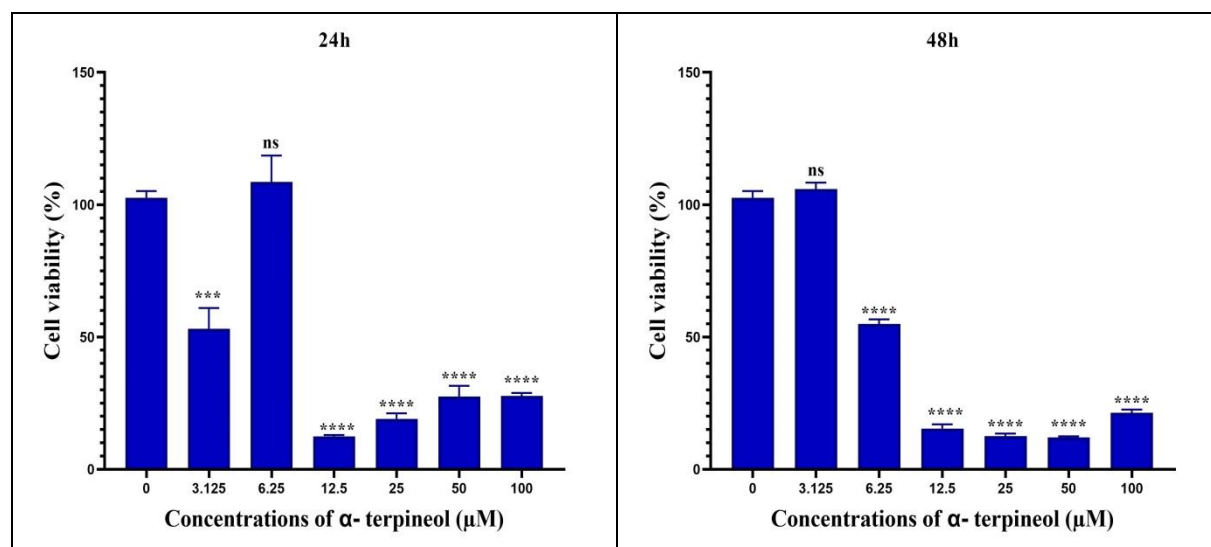


**Figure 1.** Cytotoxicity of eugenol (18.75-600  $\mu\text{M}$ ) on the RTG-2 cells depending-concentration and time. \* $p < 0.05$  significant, \*\* $p < 0.01$  very significant, \*\*\* $p < 0.0005$ , and \*\*\*\* $p < 0.0001$  extremely significant, vs. the control group

Figure 2 demonstrates that both higher and 12.5  $\mu\text{M}$  concentrations of  $\alpha$ -terpineol showed highly toxic effects on the RTG-2 cells after 24 h and 48 h of treatment. While 3.125  $\mu\text{M}$  of  $\alpha$ -terpineol exhibited a toxic effect after 24 h of exposure, it non-significantly increased cell viability after 48 h of treatment. In addition, 6.25  $\mu\text{M}$  of  $\alpha$ -terpineol non-significantly improved the viability of the RTG-2 cells relative to the control group after 24 h of treatment, but decreased the cell viability after 48 h of treatment. 3.125, 6.25, 12.5, 25, 50, and 100  $\mu\text{M}$  of  $\alpha$ -terpineol caused 53.39%, 108.12%, 12.41%, 19.11%, 27.26%, and 27.71% of the RTG-2 cell viability compared to the control group (100%) after 24 h of treatment. These treatments of  $\alpha$ -terpineol resulted in cell viabilities of 105.90%, 54.97%, 15.41%, 12.51%, 12.05%, and 21.32% after 48 h of exposure.

It has been reported that  $\alpha$ -terpineol can inhibit cellular division, have a mutagenic effect with bridge formation and delayed anaphase stages, and have a cytotoxic effect on cells through apoptosis depending on the dose and exposure time (Negreiros et al., 2023). In addition, considering the penetration effects of  $\alpha$ -terpineol, the cytotoxicity of  $\alpha$ -terpineol can be associated with apoptosis resulting from in cell permeability, increased fluidity, and cell cycle rate. It has been reported that  $\alpha$ -terpineol caused changes in cell membrane function and leakage of intracellular materials by destabilizing the cell membrane, showing a toxic effect against antibiotic-resistant bacteria (e.g., *Escherichia coli* O157:H7) (Zengin and Baysal, 2014). In another study, it has been reported that the hydroxyl group of  $\alpha$ -terpineol can form glycosidic bonds and hydrogen bonds with  $\text{PO}^{2-}$  and  $\text{COO}^-$ , transforming the polar head groups of phospholipids into a tight package. This process reduces membrane fluidity, disrupts electron transport in the membrane, precipitates the membrane pH gradient, and accumulates reactive oxygen species (Yang et al., 2023). Zarei et al. stated that  $\alpha$ -terpineol (1 mg/mL) inhibited 38% of human breast cancer cells (MCF7) and 18% of human foreskin fibroblast cells (HFF) (Zarei et al., 2022). Chen et al. reported that  $\alpha$ -terpineol can induce apoptosis in cancer cells by inhibiting of the NF- $\kappa\text{B}$  signaling pathway, causing mitochondrial depolarization,

releasing cytochrome C, and altering the transcriptomic expression of Bcl-2 and Bax genes (Chen et al., 2023).



**Figure 2.** Cytotoxicity of  $\alpha$ -terpineol (3.125-100  $\mu$ M) on the RTG-2 cells depending-concentration and time.  $p > 0.05$  not significant (ns), \*\*\* $p < 0.0005$ , and \*\*\*\* $p < 0.0001$  extremely significant, vs. the control group

#### 4. Conclusion

In this study, it was shown that all eugenol treatments ( $\geq 37.5 \mu\text{M}$ ) significantly increased the RTG-2 cell viability compared to the control group cell viability (100%) at 24 and 48 h of treatment. In addition, it has been understood that  $\alpha$ -terpineol ( $\geq 12.5 \mu\text{M}$ ) had a toxic effect on the RTG-2 cells. Based on this data, it can be concluded that eugenol may have the potential to be used as a healing agent, particularly in wound care, while  $\alpha$ -terpineol may have the potential to serve as an antibiotic agent or a toxic agent against microorganisms and pests. However, it should not be forgotten that results obtained from *in vitro* studies may differ from responses obtained from *in vivo* models. Therefore, 3D cell culture techniques, which yield results closely resembling *in vivo* studies, and molecular-based toxicogenomic research that relies on the correlation between concentration and treatment time, are necessary to comprehend the behavior and identify the pathways, reactions, and environmental conditions of eugenol and  $\alpha$ -terpineol at the cellular level. Future studies may focus on these compounds and provide the data needed for these two monoterpenes.

#### Statement of Conflict of Interest

The author declares that there is no conflict of interest regarding the study.

#### Author's Contributions

The author declares that she has contributed 100% to the article.

## References

- Aburel OM., Pavel IZ., Dănilă MD., Lelcu T., Roi A., Lighezan R., Muntean DM., Rusu LC. Pleiotropic effects of eugenol: The good, the bad, and the unknown. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity* 2021; 1-15.
- Agus HH. *Toxicology: Oxidative stress and dietary antioxidants*. 1st ed. London: Academic Press; 2021.
- Agus HH., Cetin A., Ozdemir N., Ozbay MG., Caglar MA., Sarıyıldız MA., Yildiz U. Resorcinol alleviates alpha-terpineol-induced cell death in *Schizosaccharomyces pombe* via increased activity of the antioxidant enzyme Sod2. *FEMS Yeast Research* 2022; 22(1): 1-8.
- Alipour HR., Yaghmaei P., Ahmadian S., Ghobeh M., Ebrahim-Habibi A. A study on alpha-terpineol in Alzheimer's disease with the use of rodent *in vivo* model, restraint stress effect and *in vitro* Amyloid beta fibrils. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences* 2022; 58: e19090-e19102.
- Bezerra DP., Militão GCG., De Moraes MC., De Sousa DP. The dual antioxidant/prooxidant effect of eugenol and its action in cancer development and treatment. *Nutrients* 2017; 9(12): 1367.
- Carvalho RPR., de Carvalho IR., da Costa RV., Guimarães-Ervilha LO., Machado-Neves M. The effects of eugenol on histological, enzymatic, and oxidative parameters in the major salivary glands and pancreas of healthy male wistar rats. *Archives of Oral Biology*, 2023; 154: 105764.
- Carvalho RPR., Ribeiro FCD., Lima TI., Ervilha LOG., de Oliveira EL., de Oliveira Faustino A., de Almeida Lima GD., Machado-Neves M. High doses of eugenol cause structural and functional damage to the rat liver. *Life Sciences* 2022; 304: 120696.
- Chen Y., Zhang L L., Wang W., Wang G. Recent updates on bioactive properties of  $\alpha$ -terpineol. *Journal of Essential Oil Research* 2023; 35(3): 274-288.
- Çiçek S. Influences of l-ascorbic acid on cytotoxic, biochemical, and genotoxic damages caused by copper II oxide nanoparticles in the rainbow trout gonad cells-2. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology and Pharmacology* 2023; 266: 109559.
- de Menezes Dantas D., de Alencar Silva A., Pereira-de-Moraes L., de Sena Bastos CM., Calixto GL., Kerntopf R., de Menezes, IRA., Weinreich D., Barbosa R. Characterization of the vasodilator effect of eugenol in isolated human umbilical cord arteries. *Chemico-Biological Interactions* 2022; 359: 109890.
- de Oliveira LRM., de Aquino LVC., de Oliveira Santos MV., de Figueirêdo Freitas VJ., Bertini LM., Pereira AF., Ungerfeld R. Effects of different concentrations of eugenol in maturation medium on bovine oocytes, oxidative status and preimplantation embryos. *Animal Production Science* 2021; 62(2): 142-151.
- Ghodousi-Dehnavi E., Hosseini RH., Arjmand M., Nasri S., Zamani, Z. A metabolomic investigation of eugenol on colorectal cancer cell line HT-29 by modifying the expression of APC, p53, and KRAS genes. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* 2021; 1-9.

- Işık S., Çiçek S. Impacts of high-dose riboflavin on cytotoxicity, antioxidant, growth, reproductive gene expressions, and genotoxicity in the rainbow trout gonadal cells. *Toxicology in Vitro* 2024; 94: 105730.
- Negreiros HA., Fontele SBC., Batista FA., Farias MGD., Silva FCCD., Nascimento MLLBD., de Moura KG., de Sousa Correa L., Pereira, ARS., de Oliveira Lopes L., Ferreira PMP., Mendes AN., Gonçalves JCR., de Carvalho Melo-Cavalcante AA., Sousa JMDCE. Toxicogenetic profile of the monoterpene alpha-terpineol on normal and tumor eukaryotic cells. *Drug and Chemical Toxicology* 2023; 1-9.
- Nisar MF., Khadim M., Rafiq M., Chen J., Yang Y., Wan, CC. Pharmacological properties and health benefits of eugenol: A comprehensive review. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity* 2021; 1-14.
- Racea RC., Macasoi IG., Dinu S., Pinzaru I., Marcovici I., Dehelean C., Rusu LC., Chioran D., Ravis M., Buzatu R. Eugenol: in vitro and in ovo assessment to explore cytotoxic effects on osteosarcoma and oropharyngeal cancer cells. *Plants* 2023a; 12(20): 3549.
- Racea RC., Merghes PE., Gurgus D., Macasoi I., Rusu LC., Chioran D., Dinu S., Breban-Schwarzkopf D., Szuhaneck C., Ravis M. Eugenol: in vitro characterization of the cytotoxic profile at the level of colorectal carcinoma cells. *Farmacia* 2023b; 71(2): 1-8.
- Sales A., Felipe LDO., Bicas JL. Production, properties, and applications of  $\alpha$ -terpineol. *Food and Bioprocess Technology* 2020; 13(8): 1261-1279.
- Sánchez-Argüello P., Franco D., Fernández, MD. Combined cytotoxicity of ZnO nanoparticles and chlorpyrifos in the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, gonadal cell line RTG-2. *Aquatic Toxicology* 2023; 261: 106612.
- Shakil MS., Rana Z., Hanif M., Rosengren RJ. Key considerations when using the sulforhodamine B assay for screening novel anticancer agents. *Anti-Cancer Drugs*, 2022; 33(1): 6-10.
- Ulanowska M., Olas B. Biological properties and prospects for the application of eugenol-A review. *International Journal of Molecular Sciences* 2021; 22(7): 3671.
- Vichai V., Kirtikara K. Sulforhodamine B colorimetric assay for cytotoxicity screening. *Nature Protocols* 2006; 1(3): 1112-1116.
- Yang X., Zhao S., Deng Y., Xu W., Wang Z., Wang W., Lv R., Liu D. Antibacterial activity and mechanisms of  $\alpha$ -terpineol against foodborne pathogenic bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology* 2023; 107: 6641-6653.
- Yurdakök-Dikmen B., Vejselova, D., Kutlu, HM., Filazi A., Erkoç F. Effects of synthetic pyrethroids on RTG-2 cells. *Toxin Reviews* 2018; 37(4): 304-312.
- Zarei B., Tabrizi MH., Rahmati A. PEGylated lecithin-chitosan nanoparticle-encapsulated alpha-terpineol for in vitro anticancer effects. *AAPS PharmSciTech* 2022; 23(4): 94.

- Zengin H., Baysal A. Antibacterial and antioxidant activity of essential oil terpenes against pathogenic and spoilage-forming bacteria and cell structure-activity relationships evaluated by SEM microscopy. *Molecules* 2014; 19: 17773-17798.
- Zhao X., Zheng SM., Wei SM., Tian QM., Tao Y., Bo RN., Liu MJ., Li JG. The protective effect and potential mechanisms of eugenol against *Salmonella* *in vivo* and *in vitro*. *Poultry Science* 2022; 101(5): 101801.



## Farklı *Bacillus* ve *Trichoderma* Türlerini İçeren Ticari Bir Preparat İle Domateste Bakteriyele Leke ve Bakteriyele Solgunluk Hastalıklarının Biyolojik Mücadelesi

Benian Pınar AKTEPE<sup>1\*</sup>, Merve OKUR<sup>2</sup>, Beykan ESGİCİOĞLU<sup>3</sup>, Yeşim AYSAN<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadiri Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Organik Tarım İşletmeciliği Bölümü, Kadiri, Osmaniye

<sup>2,4</sup>Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Sarıçam, Adana

<sup>3</sup>Greenza, Bursa, Türkiye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-4731-9954>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0009-0009-8832-2488>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0009-0003-3052-557X>

<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0003-2647-5111>

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

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 06.01.2024

Kabul tarihi: 06.03.2024

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Mikrobiyal gübre  
Biyolojik mücadele  
Organik tarım  
*Bacillus* spp.  
*Trichoderma* spp.

### ÖZ

Bitki hastalıklarıyla mücadelede, dost mikroorganizmalar adeta doğanın kendi koruyucuları gibi görev yapmaktadır. Bu minik mucizeler sahip olduğu etkileyici mekanizmaları sayesinde bitkileri hastalıklardan korurken aynı zamanda doğal dengenin korunmasına ve sürdürülebilir tarımsal uygulamalara katkı sağlamaktadırlar. Çevre dostu özellikleri ve yüksek etkinlikleri nedeniyle biyolojik mücadele elemanlarının bitki hastalıklarının yönetiminde yer alması kimyasal mücadeleye alternatif bir strateji haline gelmekte ve giderek daha fazla ilgi görmektedir. Bu amaç doğrultusunda, *Xanthomonas euvesicatoria*'nın neden olduğu Bakteriyele Leke ve *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*'in neden olduğu Bakteriyele Solgunluk hastalıklarının biyolojik mücadelesinde farklı *Bacillus* (*Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus Subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium*) ve *Trichoderma* (*Trichoderma harzianum*, *Trichoderma konigii*) türlerini içeren ticari bir ürünün bu hastalıkları baskılayıcı etkisi araştırılmıştır. Biyolojik preparat bitkilere yeşil aksama püskürtme ve kök daldırma şeklinde uygulanmıştır. Mikrobiyal gübre ruhsatlı bu ürün Bakteriyele Solgunluk hastalığını istenilen düzeyde azaltamazken Bakteriyele Leke hastalığını %51 oranında oldukça başarılı bir şekilde engellemiştir. Sonuç olarak bu çalışma, çeşitli antagonistleri içeren ürünlerin, verim artırıcı özelliklerinin yanı sıra hastalıkları baskılama amacıyla da kullanıldığını bir kez daha vurgulamaktadır.

## Biological Control of Bacterial Spot (*Xanthomonas euvesicatoria*) and Bacterial Wilt (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*) Diseases on Tomato with Different *Bacillus* and *Trichoderma* species

### Research Article

#### Article History:

Received: 06.01.2024

Accepted: 06.03.2024

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

Microbial fertilizer  
Biological control  
Organic Agriculture  
*Bacillus* spp.  
*Trichoderma* spp.

### ABSTRACT

In plant disease control, friendly microorganisms act as nature's own protectors. These tiny miracles, with their impressive mechanisms, not only protect plants from diseases but also contribute to the preservation of natural balance and sustainable agricultural practices. Due to their environmentally friendly characteristics and high effectiveness, the using of biological control agents in managing plant diseases is becoming an alternative strategy to chemical control, and is gaining increasing attention. In pursuit of this objective, the suppressive effects of a commercial product containing different *Bacillus* species (*Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium*) and *Trichoderma* species (*Trichoderma harzianum*, *Trichoderma konigii*) in the biological control of Bacterial Spot caused by *Xanthomonas euvesicatoria* and Bacterial Wilt caused by *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* have been investigated. The bioproduct was applied to the plants by spraying the foliage of the plants and root dipping. While this microbial

fertilizer licensed product didn't achieve the desired reduction in Bacterial Wilt, it significantly prevented Bacterial Spot by 51%. As a result, this study once again emphasizes that products containing various antagonists are used not only for their productivity-enhancing features but also for the purpose of suppressing diseases.

**To Cite:** Aktepe BP., Okur M., Esgicioğlu B., Aysan Y. Farklı *Bacillus* ve *Trichoderma* Türlerini İçeren Ticari Bir Preparat İle Domateste Bakteriyel Leke ve Bakteriyel Solgunluk Hastalıklarının Biyolojik Mücadelesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(3): 1281-1292.

## 1. Giriş

Artan dünya nüfusuna bağlı olarak her yıl daha fazla tarım ürününe ihtiyacı duymaktayız. Modern tarımda bitkisel ürünlerin yetiştiriciliğinde yoğun miktarda kimyasal bitki besleme uygulamaları yapılmak zorundadır. Tohum ekiminden hasada kadar olan evrede hatta hasat sonrasında bile bu ürünlerde hastalık ve zararlılardan dolayı verim kayıpları ortaya çıkmaktadır. Bunlarla mücadelede pek çok sentetik bitki koruma ürünleri kullanılmaktadır. Tarım zehiri olarak bilinen bu kimyasallar insana, doğaya ve kullanıldığı bitkiye zarar vermektedir (Raza ve ark., 2017; Morales-Cedeno ve ark., 2021). Biz bitki korumacılar, bitki hastalık ve zararlıların mücadelesinde kimyasal mücadeleye alternatif stratejileri geliştirmek üzerine pek çok araştırma yapmaktayız. Bunun en önemlisi çevreye dost insan vücuduna zarar vermeyen tarımı sürdürülebilir kılan biyolojik mücadele yöntemleridir. Bu alternatifler arasında faydalı mikroorganizmalar yoluyla biyolojik mücadele büyük önem kazanmış olup, aralarında *Bacillus*, *Pantoea*, *Streptomyces*, *Pseudomonas*, *Burkholderia* cinslerine ait bakteriler, *Trichoderma* ve *Clonostachys* cinslerine ait funguslar ve bazı mayaların da bulunduğu çeşitli biyolojik mücadele elemanları çalışmalara dahil edilmiştir. Günümüzde yaprak hastalıkları, kök ve gövde hastalıkları veya meyve depo hastalıklarıyla mücadele etmek için biyolojik preparatlar geliştirilmekte ve pazarlanmaktadır (Lahlali ve ark., 2022).

Biyolojik mücadelede kullandığımız dost mikroorganizmalar topraktaki fosforu çözürek ve azotu fikse ederek bitkinin topraktan besin elementi alımını arttırmaktadır. Bunun yanında bitkiyi tuzluluk, kuraklık gibi abiyotik stres faktörlerinden korur ve patojenik mikroorganizma saldırıları sonucu meydana gelen hastalıklarla (biyotik stres) mücadele etmesine yardım eder. Bu dost mikroorganizmalar toprakta bitkinin kök bölgesinde (rizosfer), bitkinin yeşil aksam yüzeyinde (epifitik) ve iletim demetlerinde (endofitik) olarak yaşamlarını devam ettirirler. Bunlar içerisinde en başarılı ve baskın bakteri cinsi *Bacillus* türleridir. Hem metabolik hem de genetik açıdan son derece çeşitliliğe sahip olan bu cinse ait türler, uzun ömürlü, strese dayanıklı sporlar oluşturabilme yetenekleri nedeniyle olumsuz çevre koşullarında uzun süre hayatta kalabilmektedirler. *Bacillus* türleri bitki büyümesini tetikleyen ve bitkilerin biyotik ve abiyotik streslere karşı toleransını artıran antimikrobiyal maddeler, enzimler, pigmentler ve toksinler gibi çeşitli hücre dışı metabolitler salgılamaktadırlar. Bu türlerin bazıları fitostimulanlar, biyopestisitler ve biyogübreler olarak ticari olarak mevcuttur. Bu işlevsel yönüyle *Bacillus* türleri tarımsal biyoteknoloji endüstrisinde en yaygın kullanılan türlerden biridir. Ancak potansiyeli henüz yeterince fark edilememiş olup, laboratuvar ortamından sahadaki uygulamalarına aktarılmasının üzerinde durulması gerekmektedir (Etesami ve

ark., 2023; Zhang ve ark., 2023).

Son yıllarda ticari *Bacillus* bazlı preparatların kullanımı dünya çapında önemli ölçüde artmaktadır. Bitkiler üzerindeki faydalı etkilerinin yanı sıra *Bacillus* türlerinin ortamda kalıcı olabilmesi ve uzun süreli depolama ve sahada amaca yönelik kullanım için stabil ve geçerli olması da aranan özelliklerindedir. Bu bakteriler çeşitli metabolitleri salgılayabilmeleri, endospor üretebilmeleri ve farklı ortamlarda hızla çoğalabilmeleri nedeniyle ticarileştirilmeye uygundur (Czaja ve ark., 2015; Bhattacharyya ve ark., 2016; Radhakrishnan ve ark., 2017). *Bacillus* endosporları yalnızca olumsuz çevresel koşullara dayanmakla kalmaz, aynı zamanda üretim sırasındaki tüm işlem aşamalarında da hayatta kalabilmektedir (Stamenkovi'c Stojanovi'c ve ark., 2019). Tarımsal sürdürülebilirlik için tarımsal ekosistemlerde doğal koşullar altında *Bacillus*'un çeşitliliğini ve dinamiklerini ve *Bacillus* ile patojen etkileşimin nasıl modüle edildiğini anlamak için doğal şartlarda daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

*Trichoderma* türleri bitkide sağlıklı büyümeyi teşvik eden, çeşitli bitki patojenlerine karşı koruma sağlayan ve tarımda yaygın kullanımından dolayı iyi bilinen bir fungus cinsidir (Martinez ve ark., 2023). *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma hamatum*, *Trichoderma longibrachiatum*, *Trichoderma koningii*, *Trichoderma viride*, *Trichoderma polysporum* ve *Trichoderma asperellum* biyolojik mücadele çalışmalarında yaygın olarak kullanılan *Trichoderma* türleridir (Di Marco ve ark., 2022). Birden fazla bitki patojenine karşı oldukça etkilidir, çevreyi kirletmez ve hedef patojenlerde direnç gelişimini ortaya çıkarmazlar (Keswani ve ark., 2016). Farklı ortamları kolonize etme konusunda olağanüstü bir yetenekle karakterize edilen ve neredeyse tüm toprak habitatlarında bulunabilen mezofilik fungusları içeren *Trichoderma* türleri en yaygın olarak araştırılan biyolojik mücadele elemanlarından (Druzhinina ve ark., 2018). Çeşitli çalışmalar, *Trichoderma* türleri tarafından kullanılan parazitizm, antibiyosis, besin ve yer rekabeti, bitki köklerinde kolonize olarak büyüme ve besin adsorpsiyonu, hastalıklara karşı dayanıklılığın uyarılması ve enzim inaktivasyonu gibi biyolojik mücadele mekanizmalarına sahip olduğunu ortaya koymuştur (Manzar ve ark., 2022). *Trichoderma*'lar miselyumu doğrudan istila ederek veya hücrelerin genişlemesine, deforme olmasına, kısılmasına, yuvarlaklaşmasına, protoplazmanın küçülmesine ve hücre duvarının kırılmasına neden olurlar (Shaw ve ark., 2016). Saksirirat ve ark. (2009), *Trichoderma* türlerinin *Xanthomonas vesicatoria*'nın neden olduğu Bakteriyel Leke Hastalığı da dahil olmak üzere domateslerde farklı hastalıklara karşı dayanıklılığın uyarılması uyarılmasında etkili olduğunu göstermiştir. Güncel çalışmalarda, *Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum*, *Fusarium oxysporum*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Botrytis cinerea*, *Pseudocercospora* türleri ve *Colletotrichum* türleri gibi çeşitli bitki patojeni funguslar üzerinde paraziter etkiye sahip olduğu da rapor edilmiştir (Andrade-Hoyos ve ark., 2020; Dugassa ve ark., 2021; Aswani ve ark., 2022; Zhang ve ark., 2022; Yao ve ark., 2023).

Bu çalışmada ülkemizde mikrobiyal gübre olarak ruhsat almış farklı *Bacillus* ve *Trichoderma* türlerini içeren bir ticari ürünün domatesteste *Xanthomonas euvesicatoria*'nın neden olduğu Bakteriyel Leke ve

*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*'in neden olduğu Bakteriyel Solgunluk hastalıklarına etkisi iklim odasında yürütülen saksı çalışmalarıyla ortaya konmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

### Materyal

Çalışmamızda patojen bakteri olarak, Çukurova Üniversitesi Bitki Koruma Bölümü Bakteriyoloji Laboratuvarı kültür koleksiyonunda bulunan ve daha önceki araştırmalar kapsamında tür ve alt tür düzeyinde tanısı yapılmış patojenik izolatlar (YA-611 kodlu *Xanthomonas euvesicatoria*; (Horuz ve ark., 2018), *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*; Cmm3/1A (Çetinkaya Yıldız ve Aysan, 2008) kullanılmıştır.

Denemede kullanılan biyolojik preparat, Bontera Türkiye (Turanköy Mah. Doğa Sokak No:8 Kestel, Bursa) firmasından tedarik edilmiştir. Ticari mikrobiyal gübre olarak ruhsat alınan bu organik karışım *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus megaterium*, *Trichoderma harzianum* ve *Trichoderma konigii* türlerini içermektedir.

Denemede Atlas Fide'den 3-5 yapraklı dönemde temin edilen Tutku F1 çeşidi domates fideleri çalışmada kullanılmıştır.

Çalışma, Çukurova Üniversitesi Bitki Koruma Bölümü'nde klima ile ısıtılıp soğutulan, 25±2°C'deki %70 neme sahip, gündüz 16 saat aydınlık ve gece 8 saat karanlık koşullara sahip iklim odasında yürütülmüştür.

### Patojen bakteri izolatının geliştirilmesi ve virülensliğinin artırılması

Patojen bakterilerin uzun süre derin dondurucuda saklanması nedeniyle, izolatların virülenslik düzeyini artırmak için domateste patojenite testi gerçekleştirilmiştir (Lelliott ve Stead, 1987). YA-611 kodlu izolatın 48 saatlik kültüründen hazırlanan 10<sup>6</sup> hücre/ml yoğunluğundaki süspansiyon, domates fidelerine el pülverizatörü ile yapraklarına püskürtülerek bulaştırılmıştır (Mirik ve ark., 2008). İklim odasında muhafaza edilen domates bitkilerinin yapraklarında bakteriyel leke belirtileri gözlemlendikten sonra bakteriyolojik tekniklere göre tek bir lekeden re-izolasyon yapılmıştır (Lelliott ve Stead, 1987). Cmm3/1A kodlu izolatın 48 saatlik kültüründen hazırlanan 10<sup>6</sup> hücre/ml yoğunluğundaki süspansiyon, domates fidelerinin kök boğazına yakın gövdesine steril bir şırınga yardımıyla inokule edilmiştir. İklim odasında muhafaza edilen domates bitkilerinde tipik hastalık belirtisi solgunluk gözlemlendikten sonra domates fideleri kesilerek iletim demetlerinde enfekteli kısımdan re-izolasyonlar yapılmıştır. Koch postulatı aşamalarının tamamlanmasının ardından, virülensliği artırılmış YA-611 ve Cmm3/1A re-izolatlarının gram reaksiyonu ve LOPAT karakterleri belirlenmiştir (Lelliott ve Stead, 1987).

### Domateste Bakteriyel Leke (*Xanthomonas euvesicatoria*) ve Bakteriyel Solgunluk (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*) hastalıklarının biyolojik mücadelesi

Biyolojik preparat bitkilere yeşil aksam ve kök daldırma şeklinde iki uygulama olarak yapılmış ve uygulama dozu (100 gramlık toz ambalaj 1 litre klorsuz suda sıvı hale getirilip içerisinden 2 ml

alınmıştır) firmanın önerileri doğrultusunda belirlenmiştir. Birinci uygulama 3 kg'lık saksılara dikimle beraber 5-6 yapraklı dönemdeki domates fidelerine kök daldırma şeklinde yapılmıştır. İkinci uygulama üç gün sonra yeşil aksama püskürtme şeklinde uygulanmıştır (Tablo 1). İki biyolojik preparat uygulamasından üç gün sonra patojen uygulamaları yapılmıştır. YA-611 kodlu *Xanthomonas euvesicatoria* izolatının 48 saatlik taze kültüründen  $2.9 \times 10^6$  hücre/ml (dansiyometre 1,27 değerinde) yoğunluğunda patojen süspansiyonu hazırlanmış (Tümen ve ark., 2022) ve yeşil aksama püskürtme şeklinde uygulanmıştır. Cmm3/1A kodlu izolatın 48 saatlik kültüründen hazırlanan  $10^6$  hücre/ml yoğunluğundaki süspansiyon (Çetinkaya Yıldız ve Aysan, 2008), domates fidelerinin kök boğazına yakın gövdesine steril bir şırınga yardımıyla inokule edilmiştir. Pozitif kontrol olarak fidelere sadece patojen, negatif kontrol olarak ise sadece steril su uygulaması yapılmıştır. Çalışma, tesadüf blokları deneme desenine göre düzenlenmiş olup her uygulama 10 tekrara sahiptir. Her tekrarda 1 domates fidesi bulunmak üzere toplam 60 bitki içeren bir deneme kurulmuştur (Tablo 2). Patojen uygulamalarından 20 gün sonra hastalık belirtileri *Xanthomonas euvesicatoria* için 0-3 skalasına göre (0: yapraklarda leke yok, 1: yapraklarda 1 leke, 2: yapraklarda 2-3 leke, 3: yapraklarda 4 ve 4'ten fazla leke) (Horuz ve ark., 2019), *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* için ise 0-4 skalası kullanılarak değerlendirilmiştir (Tablo 3) (Klement ve ark., 1990). Biyolojik preparatın hastalığa % etkisi Abbott formülüne ( $\% \text{ etki} = (\text{kontrol-uygulama}) / \text{kontrol} \times 100$ ) göre hesaplanmıştır (Karman, 1971; Zhou ve ark., 2023).

**Tablo 1.** Patojenlerin ve biyolojik preparatın uygulanma yöntemi ve zamanı

Uygulama zamanı	Uygulama	Uygulama yöntemi
1.Uygulama	Ticari preparat	Kök daldırma
1.Uygulamadan 3 gün sonra	Ticari preparat	Yeşil aksama püskürtme
1.Uygulamadan 6 gün sonra	Patojen izolat <i>Xanthomonas euvesicatoria</i>	Yeşil aksama püskürtme
1.Uygulamadan 6 gün sonra	Patojen izolat <i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>michiganensis</i>	Gövdeye enjeksiyon

**Tablo 2.** Çalışmada yapılan uygulamalar

No	Uygulama	Uygulama yöntemi	Patojen
1	Ticari preparat+patojen	Püskürtme	<i>Xanthomonas euvesicatoria</i>
2	Pozitif Kontrol	Püskürtme	<i>Xanthomonas euvesicatoria</i>
3	Negatif Kontrol	Püskürtme	Saf su
4	Ticari preparat + patojen	Enjeksiyon	<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp.
5	Pozitif Kontrol	Enjeksiyon	<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp.
6	Negatif Kontrol	Enjeksiyon	Saf su

**Tablo 3.** Bakteriyel Solgunluk hastalığının değerlendirmesinde kullanılan skala

Skala Değeri	Hastalık Belirtisi
0	Hastalık yok
1	Bitkide % 1-25 solgunluk
2	Bitkide % 26-50 solgunluk
3	Bitkide % 51-75 solgunluk
4	Bitkide % 76-100 solgunluk ve bitkinin ölümü

### **İstatistikî analizler**

Skala değerleri, CoStat İstatistik Yazılımında (CoHort Software, Pacific Grove, CA, ABD, Sürüm 6.4) varyans analizi (ANOVA) kullanılarak LSD çoklu karşılaştırma testiyle  $p < 0,05$  önem düzeyine göre uygulamalar arasındaki farklılıklar ortaya konulmuştur

### **3. Araştırma Bulguları ve Tartışma**

#### **Patojen bakteri izolatlarının geliştirilmesi ve virülensliklerinin artırılması**

Domates fidelerine püskürtülerek uygulanan *Xanthomonas euvesicatoria*'nın patojenite testi sonuçlarına göre, uygulamadan 20 gün sonra bitkinin yapraklarında tipik hastalık belirtisi olan etrafi sarı bir hale ile çevrili merkezi kahverengimsi lekeler oluşmuştur. Koch postulatları tamamlanarak virülensliği artırılmış olan YA-611 kodlu izolat %0,85'lik NaCl içeren sıvı besi yerinde karanlıkta oda sıcaklığında bir sonraki çalışma için saklanmıştır. *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*'in domates fidelerine enjekte edilerek uygulanmasından 20 gün sonra bitkinin yapraklarında ve dallarında solgunluk belirtileri gözlemlenmiş ve iletim demetlerinde kahverengileşme ortaya çıkmıştır. Koch postulatları tamamlanarak virülensliği artırılmış olan Cmm3/1A kodlu izolat bir sonraki çalışmada kullanılmak üzere eğik besi yerinde +4 °C'de buzdolabında saklanmıştır.

#### **Biyolojik preparatın domateste Bakteriyel Leke ve Bakteriyel Solgunluk hastalıklarına etkisi**

Çalışmanın bu kısmında biyolojik ticari bir preparatın *in vivo* koşullarında domates fidelerinde Bakteriyel Leke ve Bakteriyel Solgunluk hastalığını engelleme potansiyelleri belirlenmiştir. Sadece hastalık etmenlerinin uygulandığı kontrol fidelerinde en yüksek oranda hastalık belirtisinin olduğu 20. günde yapılan değerlendirme sonucunda ticari preparat, Bakteriyel Solgunluk hastalığını istenilen düzeyde baskılayamazken Bakteriyel Leke hastalığını başarılı bir şekilde engellemiştir. Çalışma bulgularına göre biyolojik preparatın domates fidesinin yapraklarındaki Bakteriyel Leke Hastalığını %51 oranında oldukça başarılı bir şekilde baskıladığı belirlenmiştir. Biyolojik preparatın Bakteriyel Solgunluk hastalığına etkisinde pozitif kontrole göre istatistiksel olarak fark olmasa da hastalığı %20,12 oranında baskıladığı görülmektedir (Tablo 4).

Yapılan birçok çalışmada antagonistik izolatların antimikrobiyal bileşenler üreterek bitki gelişiminin ve dayanıklılığın teşvik edilmesi gibi mekanizmalarla toprak, tohum ve depo kökenli bakteriyel ve fungal hastalık etmenlerin engellenmesinde etkili oldukları bildirilmiştir (Sülü ve ark., 2016; Soylu ve ark., 2022; Özkaya ve Soylu, 2022). Byrne ve ark. (2005), farklı biyopreparatların domateste Bakteriyel Leke hastalığı baskılayıcı etkisini araştırdıkları çalışmada *Pseudomonas syringae* Cit7 (%36,4) ve *Pseudomonas putida* B56 (%23,1)'nın hastalığı başarılı bir şekilde azalttığını rapor etmişlerdir. *Bacillus* cinsine ait bakterilerin bitki gelişim hormonlarını sentezleyerek toprak yapısını iyileştirdiği ve topraktaki organik maddenin parçalanmasına katkıda bulunarak bitki ağırlığını artırmanın yanı sıra bitki dokusu içinde azot ve fosfor miktarını da artırdığı bilinmektedir. Bitkilerin bağışıklık sistemini uyararak patojenlere karşı dayanıklılık geliştirmelerine yardımcı olabilir (Amer ve Utkheda, 2000). Chien ve Huang (2020), domates bitkilerinin yeşil aksamına uygulanan *Bacillus*

*amyloliquefaciens* ve *Trichoderma asperellum*'un kombine ve bireysel kullanımının domates bitkilerinin besin elementi içerik düzeyini ve *Xanthomonas perforans*'ın neden olduğu hastalığa etkisini incelenmişlerdir. Çalışma sonucunda *B. amyloliquefaciens* ve *T. asperellum* uygulamalarının domates bitkilerinde hem P, K ve Mg içeriklerini önemli ölçüde artırdığını hem de bakteriyel hastalık şiddetini %26-56 düzeyinde azalttığını rapor etmişlerdir. Biyolojik mücadele uygulamalarının bu bakteriyel hastalığın mücadelesinde baskılayıcı etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Tokmak (2020), mikroorganizma içeren bazı ticari preparatların domateste sorun olan Bakteriyel Leke ve Bakteriyel Benek Hastalıklarına etkisini araştırdıkları çalışmada Blightban A506 (*Pseudomonas fluorescens* A506 izolatu)'nın her iki hastalığın biyolojik mücadelesinde oldukça etkili ticari preparat olduğunu bildirmiştir. Ayrıca uygulamaların bitki gelişimine etkisine baktığı çalışmasında patojen baskısı varlığında ve yokluğunda *Bacillus subtilis* QST713'ün en etkili uygulama olduğu ve patojen inokulasyonundan önce uygulandığında Bakteriyel Leke hastalığını %65 oranında oldukça başarılı bir şekilde baskıladığını tespit etmiştir. Pajcin ve ark. (2020), peynirden izole ettikleri *Bacillus velezensis* IP22'nin *in vitro* koşullarda *Xanthomonas euvesicatoria*'nın gelişimini baskıladığını saptadıkları çalışmada bu baskılayıcı mekanizmanın *B. velezensis*'in ürettiği lipopeptitlerden fengisin ve losilomisinin etkili olduğunu bildirmişlerdir. Silva ve arkadaşları (2021), domateste *Xanthomonas euvesicatoria*'nın neden olduğu Bakteriyel Leke Hastalığının mücadelesinde patojeni bitkiye bulaştırmadan önce hümik asit ve/veya biyolojik uyarıcı olarak *Herbaspirillum seropedicae* ( $10^8$  hücre/ml) uygulamışlar ve hastalığın şiddetinin %50 oranında azaldığını bildirmişlerdir. Yapılan önceki çalışmalarda olduğu gibi bizim çalışmamızda da farklı mikrobiyal içeriğe sahip biyolojik preparat uygulaması domates fidelerinin yeşil aksamında Bakteriyel Leke Hastalığını önemli ölçüde baskılamaktadır. Gautam ve ark. (2019), yaptıkları çalışmada *Bacillus amyloliquefaciens* S1 izolatının Domates Solgunluk Hastalığına neden olan *Clavibacter michiganensis*'e karşı potansiyel biyolojik mücadele elemanı olarak vurgulamaktadır. *Bacillus amyloliquefaciens* S1 izolatının hastalığı yüksek oranda baskılamasını antagonistik bakterinin antibakteriyel metabolit, siderofor ve litik enzimler üretme yeteneğiyle ilişkilendirmişlerdir. Bizim çalışmamızda biyolojik preparatın Bakteriyel Solgunluk hastalığına etkisinde pozitif kontrol ile aynı istatistiki grupta yer alsa da hastalığı %20,12 oranında baskıladığı görülmektedir. Bu tür araştırmalar, kimyasal mücadele yerine biyolojik mücadele yöntemlerini öne çıkarmaktadır. Bu yöntemler sayesinde, bitkilerin doğal savunma mekanizmalarını destekleyen mikroorganizmaları kullanarak hem bitki patojenleriyle mücadelede başarı şansı artırılabilir hem de ekosistem dengesi korunarak sürdürülebilir tarım yapılabilir.

**Tablo 4.** Biyolojik preparatın Domateste Bakteriye Leke ve Bakteriye Solgunluk hastalıklarına etkisi

Uygulama	No	<i>Xanthomonas euvesicatoria</i>			<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>michiganensis</i>		
		İndeks değeri	Ortalama	% Etki	İndeks değeri	Ortalama	% Etki
Ticari preparat +patojen	1	1,57	1,27 b*	51,10	2,00	3,27 a	20,12
	2	1,14			3,50		
	3	1,29			4,25		
	4	1,71			3,25		
	5	1,71			3,00		
	6	1,71			4,00		
	7	0,57			4,25		
	8	1,29			2,50		
	9	0,86			2,00		
	10	0,86			4,00		
Pozitif kontrol (sadece patojen)	1	2,71	2,60 a	-	4,25	4,10 a	-
	2	1,29			4,25		
	3	2,43			3,75		
	4	2,14			4,25		
	5	3,00			4,25		
	6	2,71			4,25		
	7	2,71			4,00		
	8	3,00			4,00		
	9	3,00			3,75		
	10	3,00			4,25		
Negatif kontrol (saf su)	1	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-
	2	0,00			0,00		
	3	0,00			0,00		
	4	0,00			0,00		
	5	0,00			0,00		
	6	0,00			0,00		
	7	0,00			0,00		
	8	0,00			0,00		
	9	0,00			0,00		
	10	0,00			0,00		

\*: Aynı sütunda farklı harfi içeren ortalamalar LSD ( $p \leq 0,05$ ) testine göre istatistiksel olarak farklıdır

#### 4. Sonuç

Biyolojik kökenli, çevre dostu mikroorganizmaların kullanımı pestisitlerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini azaltarak tarımın daha sürdürülebilir hale gelmesine katkıda bulunabilir. Bu mikroorganizmalar aktif organizmalar olduğundan dolayı uygulandıkları alanda çoğalmaya ve gelişmeye çalışmaktadırlar. Bu nedenle bu mucizevi mikroorganizmaların bitkilerin içinde nasıl çoğaldığının daha derinlemesine anlaşılması için daha fazla çalışmaların yapılması gereklidir. Kontrollü şartlarda yapılan çalışmalardan sonra biyolojik preparatların tarla koşullarında uygulanabilmesi, kimyasal gübrelelere olan ihtiyacı önemli ölçüde azaltarak sürdürülebilir mahsul verimini artıracaktır. Ülkemiz dost mikroorganizmaların kullanılmasının daha çok pratiğe aktarılmasıyla, organik tarıma önem veren gelişmiş ülkelere sebze-meyve ihracatının da önünü açacaktır. Sonuç olarak biyolojik mücadele yöntemlerinin uygulanması, ekosistem sağlığını koruyarak biyolojik çeşitliliği destekler, tarım sektöründe sürdürülebilirliği artırır ve kimyasal gübre ve pestisit



kullanımını azaltarak çevresel etkileri minimize eder, böylece hem ekosistemlere hem de ülke ekonomisine uzun vadeli faydalar sağlar.

### **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**

- Amer GA., Utkheda RS. Development of formulation of biological agents for management of root rots of lettuce and cucumber. *Canadian Journal of Microbiology* 2000; 46(9): 809-816.
- Andrade-Hoyos P., Silva-Rojas HV., Romero-Arenas O. Endophytic *Trichoderma* species isolated from *Persea americana* and *Cinnamomum verum* roots reduce symptoms caused by *Phytophthora cinnamomi* in avocado. *Planting Theory* 2020; 9: 1220.
- Aswani R., Roshmi T., Radhakrishnan EK. Induction of plant defense response by endophytic microorganisms. In *Biocontrol Mechanisms of Endophytic Microorganisms*. Academic Press 2022; 89-115.
- Bhattacharyya PN., Goswami MP., Bhattacharyya LH. Perspective of beneficial microbes in agriculture under changing climatic scenario. A review *Journal of Phytology* 2016; 8: 26-41.
- Byrne JM., Dianese AC., Ji P., Campbell HL., Cuppels DA., Louws FJ., Miller SA., Jones JB., Wilson M. Biological control of bacterial spot of tomato under field conditions at several locations in North America. *Biological Control* 2005; 32(3): 408-418.
- Chein YC., Huang CH. Biocontrol of bacterial spot on tomato by foliar spray and growth medium application of *Bacillus amyloliquefaciens* and *Trichoderma asperellum*. *European Journal Plant Pathology* 2020; 156: 995-1003.
- Czaja K., Góralczyk K., Struciński P., Hernik A., Korcz W., Minorczyk M., Łyczewska M., Ludwicki JK. Biopesticides—towards increased consumer safety in the European Union. *Pest Management Science* 2015; 71(1): 3-6.
- Çetinkaya Yıldız R., Aysan Y. Domates bakteriyel solgunluk hastalığı etmeni [*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* (smith) Davis et. al.]’nin izolasyonu, geleneksel, serolojik ve moleküler yöntemlerle tanınması. *Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2008; 19(1): 113-122.
- Di Marco S., Metruccio EG., Moretti S., Nocentini M., Carella G., Pacetti A., Battiston E., Osti F., Mugnai L. Activity of *Trichoderma asperellum* strain ICC 012 and *Trichoderma gamsii* strain ICC 080 toward diseases of esca complex and associated pathogens. *Frontiers in Microbiology* 2022; 12: 813410.

- Druzhinina IS., Chenthamara K., Zhang J., Atanasova L., Yang D., Miao Y., Rahimi MJ., Grujic M., Cai F., Pourmehdi S., Salim KA., Pretzer C., Kopchinskiy AG., Henrissat B., Kuo A., Hundley H., Wang M., Aerts A., Salamov A., Lipzen A., LaButti K., Barry K., Grigoriev IV., Shen Q., Kubicek CP. Massive lateral transfer of genes encoding plant cell wall-degrading enzymes to the mycoparasitic fungus *Trichoderma* from its plant-associated hosts. *PLoS Genetics* 2018; 14(4): e1007322.
- Dugassa A., Alemu T., Woldehawariat Y. In-vitro compatibility assay of indigenous *Trichoderma* and *Pseudomonas* species and their antagonistic activities against black root rot disease (*Fusarium solani*) of faba bean (*Vicia faba* L.). *BMC Microbiology* 2021; 21: 115.
- Etesami H., Jeong BR., Glick BR. Potential use of *Bacillus* spp. as an effective biostimulant against abiotic stresses in crops-A review. *Current Research in Biotechnology* 2023; 100128.
- Gautam S., Chauhan A., Sharma R., Sehgal R., Shirkot CK. Potential of *Bacillus amyloliquefaciens* for biocontrol of bacterial canker of tomato incited by *Clavibacter michiganensis* ssp. *michiganensis*. *Microbial Pathogenesis* 2019; 130: 196-203.
- Horuz S., Ocal A., Aysan Y. Efficacy of hot water and chemical seed treatments on bacterial speck of tomato in Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin* 2018; 27(5): 3185-3190.
- Horuz S., Aktepe BP., Aysan Y. Identification of bacterial spot (*Xanthomonas euvesicatoria*) on pepper and tomatoes. 1st International Molecular Plant Protection Congress, Adana, Turkey. 2019; 92.
- Karman M. Bitki koruma araştırmalarında genel bilgiler. Demelerin kuruluşu ve değerlendirme esasları. T. C. Tarım Bakanlığı Ziraı M¼cadele ve Karantina Genel M¼d¼rl¼ę¼ Yayınları, 1971; 279 s
- Keswani C., Bisen K., Singh V., Sarma BK., Singh HB. Formulation technology of biocontrol agents: present status and future prospects. In: Arora N, Mehnaz S, Balestrini R (eds) *Bioformulations: for sustainable agriculture*. Springer, New Delhi. 2016.
- Klement Z., Mavridis A., Rudolph K., Vidaver A. Inoculation of plant tissue. In: Klement, Z., Ruholph, K., and Sands, D. C (Edts) *Methods in Phytobacteriology*, Budapest: Akad¼miai Kaid¼, 1990; 99s.
- Lahlali R., Ezrari S., Radouane N., Kenfaoui J., Esmaeel Q., El Hamss H., Belabess Z., Barka EA. Biological control of plant pathogens: a global perspective. *Microorganisms* 2022; 10: 596.
- Lelliott RA. Stead DE. Methods for the diagnosis of bacterial diseases of plants. *methods in plant pathology*. (T. F. Preece, Series editor), Volume 2, Published on behalf of the British Society for Plant Pathology by Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK., 1987; 219p.
- Manzar N., Kashyap AS., Goutam RS., Rajawat MVS., Sharma PK., Sharma SK., Singh HV. *Trichoderma*: advent of versatile biocontrol agent, its secrets and insights into mechanism of biocontrol potential. *Sustainability* 2022; 14: 12786.

- Martinez Y., Ribera J., Schwarze FW., De France K. Biotechnological development of *Trichoderma*-based formulations for biological control. *Applied Microbiology and Biotechnology* 2023; 107(18): 5595-5612.
- Mirik M., Aysan Y., Cinar O. Biological control of bacterial spot disease of pepper with *Bacillus* strains. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 2008; 32(5): 381-390.
- Morales-Cedeno LR., Orozco-Mosqueda MDC., Loeza-Lara PD., Parra-Cota FI., de Los Santos-Villalobos S., Santoyo G. Plant growth-promoting bacterial endophytes as biocontrol agents of pre- and post-harvest diseases: fundamentals, methods of application and future perspectives. *Microbiological Research* 2021; 242: 126612.
- Özkaya S., Soylu EM. Kompostlardan elde edilen antagonist bakteri izolatlarının kavun solgunluk hastalığı etmeni *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*'e karşı *in vitro* antagonistik etkilerinin belirlenmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi* 2022; 27(3): 565-577.
- Pajcin I., Vljakov V., Frohme M., Grebinyk S., Grahovac M., Mojicevic M., Grahovac J. Pepper bacterial spot control by *Bacillus velezensis*: Bioprocess Solution. *Microorganisms* 2020; 8: 1463.
- Radhakrishnan R., Lee IJ. Gibberellins producing *Bacillus methylotrophicus* KE2 supports plant growth and enhances nutritional metabolites and food values of lettuce. *Plant Physiology and Biochemistry* 2016; 109: 181-189.
- Raza W., Ling N., Zhang R., Huang Q., Xu Y., Shen Q. Success evaluation of the biological control of *Fusarium* wilts of cucumber, banana, and tomato since 2000 and future research strategies. *Critical Reviews in Biotechnology* 2017; 37: 202-212.
- Saksirirat W., Chareerak P., Bunyatrachata, W. Induced systemic resistance of biocontrol fungus, *Trichoderma* spp. against bacterial and gray leaf spot in tomatoes. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 2009; 2: 99-104.
- Shaw S., Le Cocq K., Paszkiewicz K., Moore K., Winsbury R., de Torres Zabala M., Studholme DJ., Salmon D., Thornton CR., Grant MR. Transcriptional reprogramming underpins enhanced plant growth promotion by the biocontrol fungus *Trichoderma hamatum* GD12 during antagonistic interactions with *Sclerotinia sclerotiorum* in soil. *Molecular Plant Pathology* 2016; 17: 1425–1441.
- Silva A., Olivares FL., Sudré CP., Peres P., Canellas NA, Silva RM., Cozzolino V. Canellas LP. Attenuations of bacterial spot disease *Xanthomonas euvesicatoria* on tomato plants treated with biostimulants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 2021; 8: 42.
- Soylu S., Kara M., Soylu EM., Uysal A., Kurt Ş. *Geotrichum citri-aurantii*'nin sebep olduğu turunçgil ekşi çürüklük hastalığının biyolojik mücadelesinde endofit bakterilerin biyokontrol potansiyellerinin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi* 2022; 19(1): 177-191.

- Stamenkovi'c Stojanovi'c S., Karabegovic Stanisavljevic I., Be'skoski V., Nikolic N., Lazic M. *Bacillus* based microbial formulations: Optimization of the production process. *Hemijaska industrija* 2019; 73: 14.
- Sülü SM., Bozkurt İA., Soylu S. Bitki büyüme düzenleyici ve biyolojik mücadele etmeni olarak bakteriyel endofitler. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2016; 21: 103-111.
- Tokmak AT. Bazı biyopreparatların domateste bakteriyel leke (*Xanthomonas euvesicatoria*) ve bakteriyel benek (*Pseudomonas syringae* pv. *tomato*) hastalık etmenlerine etkilerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Anabilim Dalı, sayfa no: 46, İzmir, Türkiye, 2020.
- Tümen İB., Aktepe BP., Aysan Y. Tohuma uygulanan bakteriyel antagonistlerin biberde bakteriyel leke hastalığına etkisi. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi* 2022; 37(2): 198-210.
- Yao X., Guo H., Zhang K., Zhao M., Ruan J., Chen J. *Trichoderma* and its role in biological control of plant fungal and nematode disease. *Frontiers in Microbiology*, 2023; 14: 1160551.
- Zhang Y., Xiao J., Yang K., Wang Y., Tian Y., Liang Z. Transcriptomic and metabonomic insights into the biocontrol mechanism of *Trichoderma asperellum* M45a against watermelon Fusarium wilt. *PLoS One* 2022; 17: e0272702.
- Zhang N., Wang Z., Shao J., Xu Z., Liu Y., Xun W., Miao Y., Shen O., Zhang R. Biocontrol mechanisms of *Bacillus*: Improving the efficiency of green agriculture. *Microbial Biotechnology* 2023; 16: 2250–2263.
- Zhou H., Li QX., Zeng L., Cao C., Zhang T., Zhou Y., He H. Uracil hydrazones: Design, synthesis, antimicrobial activities, and putative mode of action. *Pest Management Science* 2023; 1-12.



## Tehlikeli Maddelerden Akaryakıtların Kara Yoluyla Taşınması Sürecinde Meydana Gelen Çevresel Riskler: Kayseri Örneği

Şenay YEŞİLBAŞ AKMAN<sup>1</sup>, Seval ARAS<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup>Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 50300, Nevşehir

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-0274-8704>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-6392-0117>

\*Sorumlu yazar: sevalkokmen@gmail.com

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 10.06.2023

Kabul tarihi: 19.08.2023

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Tehlikeli madde taşımacılığı

Akaryakıtların karayolunda

taşıması

Risk analizi

5x5 matris

Fine-kinney

### ÖZ

Tehlikeli maddelerin taşınması, insanlar ve çevre için belirli riskler doğurmuştur. Tehlikeli maddelerin taşınması sırasında ne kadar önlem alınırsa alınsın kaçınılmaz olarak kazalar meydana gelmekte ve bu kazalar milyonlarca insanı etkileyebilmektedir. Çalışmada karayolları ile taşımacılığı yapılan akaryakıtların çevresel riskleri değerlendirilmiştir. Kayseri iline ait altı farklı akaryakıt istasyonunun bir takvim yılı içerisinde alım ve satımını yaptığı tehlikeli maddelerin karayoluyla taşınma süreci, olası riskler incelenmiştir. Ayrıca sürücünün taşıma esnasında karayolunda karşılaşılabileceği riskler tablosu oluşturularak kaza senaryoları risk tablosu oluşturulmuştur. Risk tabloları oluşturulurken 5x5 Matris ve Fine-Kinney Metodlarından faydalanılmıştır. Tehlike durumları ve bu durumları düzenleyici-önleyici faktörler belirlenmiştir. Çalışma kapsamında akaryakıtların karayolu taşımacılığı ele alınmıştır. Çalışmada olası riskler ve önleyici unsurlar belirlenmiştir. Akaryakıt istasyonlarının yıllık alım ve satımını yaptığı tehlikeli maddeler tablolar halinde çalışmaya aktarılmıştır. Çalışmada sonucunda taşınan tehlikeli maddelerin olası etkilerini önlemek adına çözüm alternatifleri sunulmuştur.

## Environmental Risks Occurring in the Process of Transporting Fuel from Hazardous Substances by Land: The Case of Kayseri

### Research Article

#### Article History:

Received: 10.06.2023

Accepted: 19.08.2023

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

Hazardous materials transportation

Road transport of fuel

Risk analysis

5x5 matrix

Fine-kinney

### ABSTRACT

The transport of dangerous goods has created certain risks for humans and the environment. No matter how much precautions are taken during the transportation of dangerous goods, accidents inevitably occur and these accidents can affect millions of people. In the study, the environmental risks of fuels transported by highways were evaluated. The process of transporting dangerous goods by road, which six different fuel stations in Kayseri province buy and sell within a calendar year, and possible risks are examined. In addition, the risk table for accident scenarios was created by creating a table of risks that the driver may encounter on the road during transportation. While creating risk tables, 5x5 Matrix and Fine-Kinney Methods were used. Hazard situations and regulatory-preventive factors for these situations were determined. Within the scope of the study, road transportation of fuels is discussed. Possible risks and preventive factors were determined in the study. Hazardous materials that fuel stations purchase and sell annually are transferred to the study in tables. As a result of the study: solution alternatives are presented in order to prevent the possible effects of transported dangerous goods.

## **1. Giriş**

Bir ürünün tüketiciye ulaşmasını sağlamak için taşıma sürecinde dikkat edilmesi gereken en önemli faktör; taşınan maddenin türüdür. Bu anlamda “tehlikeli madde” olarak tanımlanan ve ağırlıklı olarak kimyasal maddelerden oluşan yükler, yasal düzenlemeler ve çevre koruma tedbirleri açısından dikkat gerektiren bir konudur. Tehlike arz eden maddelerin taşınması, bu maddelerin fiziki ve kimyasal nitelikleri ayrıca patlayıcı özelliklere sahip olması gibi birçok tehlike açısından öteki taşıma işlemlerinden farklılık göstermektedir. Tehlikeli maddelerin yüklenmesi ve boşaltılması sırasında veya çeşitli sebeplerle meydana gelen kazalar sonucunda insanlara ve çevreye yönelik ciddi riskler meydana gelebilmektedir. Tehlikeli maddelerin yapısal özelliklerinden dolayı güvenlik öncelikli olmalıdır. Multimodal taşımacılığın her bir taşıma şekli için farklı yaptırımları vardır (Yalçınkaya ve Demirel, 2020).

Tehlikeli maddelerin taşınması işlemi kapsamında; taşınması, istiflenmesi, depolanması, teslim alınması, boşaltılması, yüklenmesi, doldurulması, elleçlenmesi gibi faaliyetler sırasında doğabilecek riskler ve sorunlar dikkate alınarak yasal çerçevede gerçekleştirilmektedir. Karayolu; tehlikeli madde taşımacılığında en temel taşıma şekillerinden biridir. Bu durumda karayolu taşımacılığının tercih edilmesi olası sorunların ve mevcut risklerin diğer taşıma türlerine göre daha fazla etkilenmesine neden olmaktadır.

Taşımacılık sürecinde, sektör rekabeti çerçevesinde hedef mesafenin uzaklığı ve zamanlaması çok önemli faktörlerdir. Zamanla, çeşitli ulaşım tiplerinin taşıma sistemlerinin entegre edildiği bir lojistik süreç ortaya çıkmıştır. 1960'lara dek uygulanan “tek tip düzen ” yerini “çoklu düzene” bırakmıştır. Bu sebeple taşıma yöntemleri değiştirilirken ortaya çıkabilecek sorun ve risklerin en aza indirilmesi ve yaptırımların eş zamanlı olarak uygulanabilmesi için taşıma sürecine dahil olan tüm taşıma yöntemleri için yaptırımların bilinmesi gerekmektedir. Tehlikeli madde işleyişinin en çok karayollarıyla ilişkili olduğu düşünüldüğünde, tehlikeli maddelerin taşınmasında karayolları ile taşınmasına yönelik kurallara farkındalık getirilmeli ve edinilen bilgiler sürece dahil edilmelidir.

Tehlikeli madde taşımacılığında iki farklı durum risk oluşturmaktadır. Bunlardan ilki, kaza anında olumsuz bir olayın olma olasılığı, ikincisi ise zaten meydana gelmiş olumsuz bir olayın sonucudur. Yerli ve yabancı kaynaklar incelendiğinde; tehlikeli madde taşıyan araçların neden olduğu ve öngörülemeyen felakete neden olan kazalar riskli kaza olarak tanımlanabilir (Erkut ve Verter, 1998). Tehlikeli maddelerin taşınmasında meydana gelen kazalar sonucunda, kimyasal maddelerin yayılmasından kaynaklanan olayların sonuçları, kaza mahallinde ve yakınında meydana gelen çevresel ve ekonomik kayıplar ile insan ölümlerini içermektedir. Olumsuz sonuçları olan olayların, insan can kayıpları, doğal kaynakların çevreye verdiği zararlar ve ormanlık alanların tamamen yok edilmesi yanında insan sağlığı üzerinde kalıcı etkileri olduğu görülmektedir (Karabulut, 2014).

Genel olarak tehlikeli maddelerin karayolu ile taşınmasına ilişkin en temel düzenleme Ocak ayında kabul edilen ADR'dir (European Agreement on the International Carriage of Dangerous Goods by Road). Türkiye'nin de aralarında bulunduğu birçok ülke tarafından benimsenen yönetmelik, ortak teknikler uygulanarak insanlara ve çevreye zarar veren kaza riskinin azaltılmasını ve güvenli ulaşımın sağlanmasını amaçlıyor. Tehlikeli maddelerin paketlenmesi, taşınması ve elleçlenmesine ilişkin kurallar çevresel riskleri en aza indirmeyi planlamaktadır (Geyik ve Çetinyokuş, 2020).

1985 yılında Pijawka ve arkadaşları ABD'nin Arizona Eyaleti'nde yaptıkları çalışmada bir tehlikeli madde lojistiği risk yönetimi modeli ortaya koymuşlar ve böylece rota seçiminde bir risk ölçüm yöntemi önermişlerdir. Tehlikeli madde lojistiğinin rotasını etkileyen dört faktörü (yolda meydana gelen tehlikelerin sayısı, kaza olasılığı, risk altındaki nüfus ve potansiyel tehlike oranı) ele alarak bir risk analizi modeli geliştirdiler (Pijawka ve ark., 1985).

Tehlikeli mallar, her zaman talep gören ticareti yapılan mallardır, bu nedenle her zaman herhangi bir taşıma aracı kullanılarak her yere taşınırlar. Bu nedenle uluslararası platformlarda tehlikeli madde taşımacılığına yönelik bir takım anlaşmalar, kurallar ve yönetmelikler çıkarılmıştır. Ancak tüm bu düzenlemeler, tehlikeli maddelerin taşınması sırasında ortaya çıkabilecek riskleri ortadan kaldırmak için yeterli değildir. Bu nedenle tehlikeli maddelerin taşınması sırasında ortaya çıkabilecek riskleri en aza indirmek için 1970'li yıllardan bu yana çok sayıda bilimsel çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan terimler ve tanımları aşağıdaki gibidir (Uzundağ, 2020).

Teknolojinin gelişmesi, insan sayısının artması, iş ve günlük hayatın çeşitlenmesi vb. nedenlerle hızla artan talep nedeniyle ulaşım çok önemli bir yer haline gelmiş, ekonomik gelişme ile birlikte otomobil sayısı hızla artmıştır. Servisin çalışanlar için olabildiğince konforlu hale getirilmesi için istasyon sayısı kadar güvenlik de önemlidir. Risk analizi, bir benzin ve sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) servis istasyonunun çalışma alanında oluşabilecek risklerin tanımlanması, değerlendirilmesi ve bu riskleri en aza indirmek veya ortadan kaldırmak için alınan önlemlerin tanımlanmasıdır. İstasyon içinde var olan veya dışarıdan meydana gelebilecek ve çalışanlara, şirkete veya çevreye zarar verebilecek olaylara tehlike denir. Öte yandan risk, bir tehlikenin olma olasılığı ile meydana gelmesi durumunda neden olacağı etkinin şiddeti arasındaki ilişkidir. İşçilere ve işyerlerine ekonomik veya psikolojik zarar vermemek için, çalışma ortamında meydana gelebilecek iş kazaları ve meslek hastalıklarını öngörmek çok önemlidir. Benzin istasyonlarında, çalışma koşullarından dolayı birçok tehlike tanımlanabilir. Bu nedenle akaryakıt istasyonlarında risk analizi yapılması oldukça önemlidir (Ashour, 2020).

**Tehlike;** bedensel yaralanma, hastalık, mülk hasarına, çalışma ortamının zarar görmesine veya bu durumların bir kombinasyonuna neden olabilecek potansiyel bir durumdur. İnsan sağlığına, çevreye veya mülke herhangi bir zarar verme potansiyeline sahip bir durum, potansiyel bir zarar kaynağı, tehlikeli bir madde olabilir veya bir faaliyetten kaynaklanabilir (Ceylan ve Başhelvacı, 2011).

**Risk;** belirli bir tehlikeli olayın meydana gelme olasılığı ile sonuçlarının bileşkesidir. İnsan sağlığına, çevreye veya mala zarar verebilecek riskler, normal çalışma sırasında var olabilecek tehlikelerin neden olduğu hasarlar olarak da tanımlanabilir (Ceylan ve Başhelvacı, 2011).

**Risk analizi;** zararın meydana gelme olasılığını ve ciddiyetini belirleme yöntemidir (Ceylan ve Başhelvacı, 2011).

**Risk değerlendirmesi;** işyerinde var olan veya dışarıdan gelebilecek tehlikelerin, bu tehlikelerin riske dönüşmesine neden olan faktörlerin ve ortaya çıkan risklerin analizi ve sınıflandırılması için yapılması gereken çalışmaları ifade eder. Tehlikeler ve kontrol önlemlerini belirler (Ceylan ve Başhelvacı, 2011).

**Risk yönetimi;** tehlike tanımlama, risk analizi, risk değerlendirmesi, önleyici tedbirlerin uygun kullanımı ve sonuçların değerlendirilmesini içeren genel yaklaşımı ifade eder (Yaşa, 2010).

Yöntem ve adımlar

Çalışma, 5x5 matris ve Fine-Kinney yöntemini benimser.

## 2. Materyal ve Metot

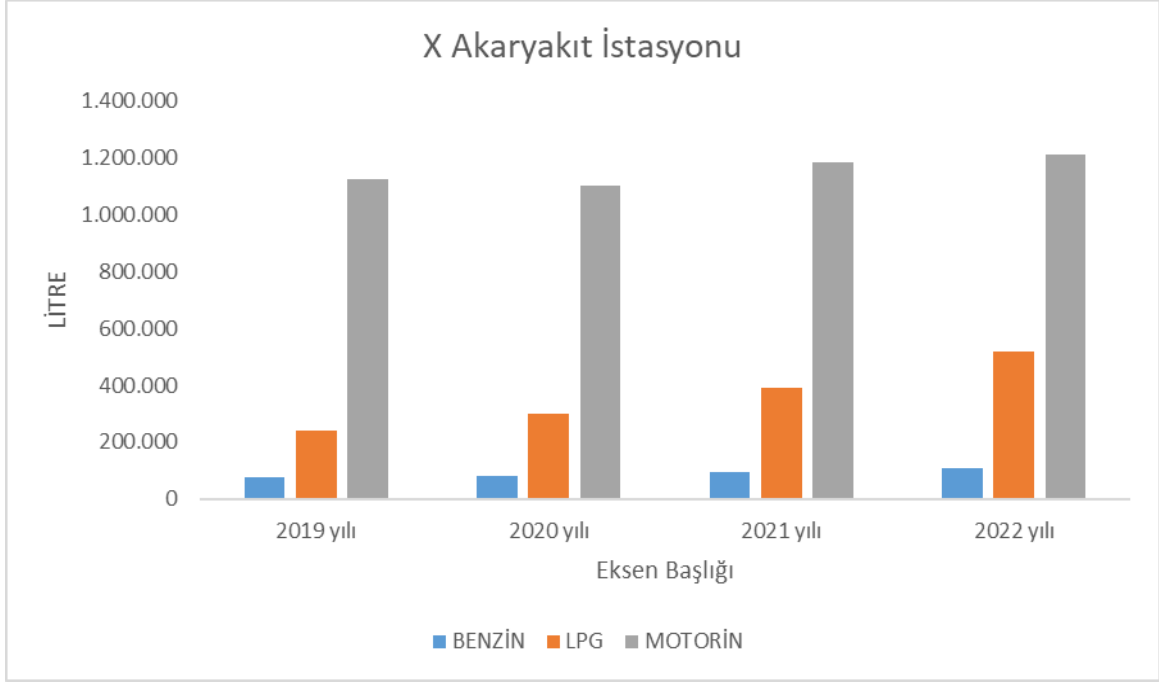
Kayseri ilinde belirlenmiş altı akaryakıt firmasında yıllık tehlikeli madde alımı, satımı ve bu firmaların akaryakıttan meydana getirdikleri tehlikeli atık miktarları Şekil 1 ve Şekil 2’de gösterilmiştir. Miktarlar Bakanlıkça belirlenen formatta hacim bilgilerinin girildiği bir takvim yılında bakanlığa sunulması gereken raporlardan elde edilmiş olup saha çalışmaları sonucunda elde edilen verilerdir. Bu veriler yıllık bazda tehlikeli maddelerin lojistiğinin giderek arttığı göstermektedir. Bu sebeple tehlikeli madde taşımacılığı sürecinde ortaya çıkabilecek olası riskler ele alınmıştır. 5X5 Matris ve Fine-Kinney Metodlarıyla bu maddeler taşıma sürecindeyken karşılaşılabilecek tehlike durumları ve bu durumları düzenleyici önleyici faktörler bir bir ele alınmıştır.

Bu çalışmada yapılan risk analizinde, bu iki metodla elde edilen sonuçları karşılaştırmak ve yorumlamak için 5x5 matris ve Fine-Kinney risk değerlendirmesi kullanılmıştır. Tablolarda verilen risk analiz raporları incelendiğinde iki metodun benzer özelliklere sahip olduğu ancak Fine-Kinney metodunun daha detaylı sonuçlar verdiği görülmektedir. 5x5 matris metodu kullanarak, mevcut durumda alınan önlemlere göre yapılan işin risk seviyesi saptanarak azaltmak için önlemler belirlenir. Risk hala yeterince azaltılmamışsa, nedeni ve gerekli iyileştirmeler ifade edilir. Fine-Kinney yaklaşımında; mevcut tehlikeli durumda alınan önlemlere bağlı olarak, azaltılan risk seviyesi yeniden belirlenir ve önerilen iyileştirmeler uygulandıktan sonra risk seviyesi tahmin edilir.

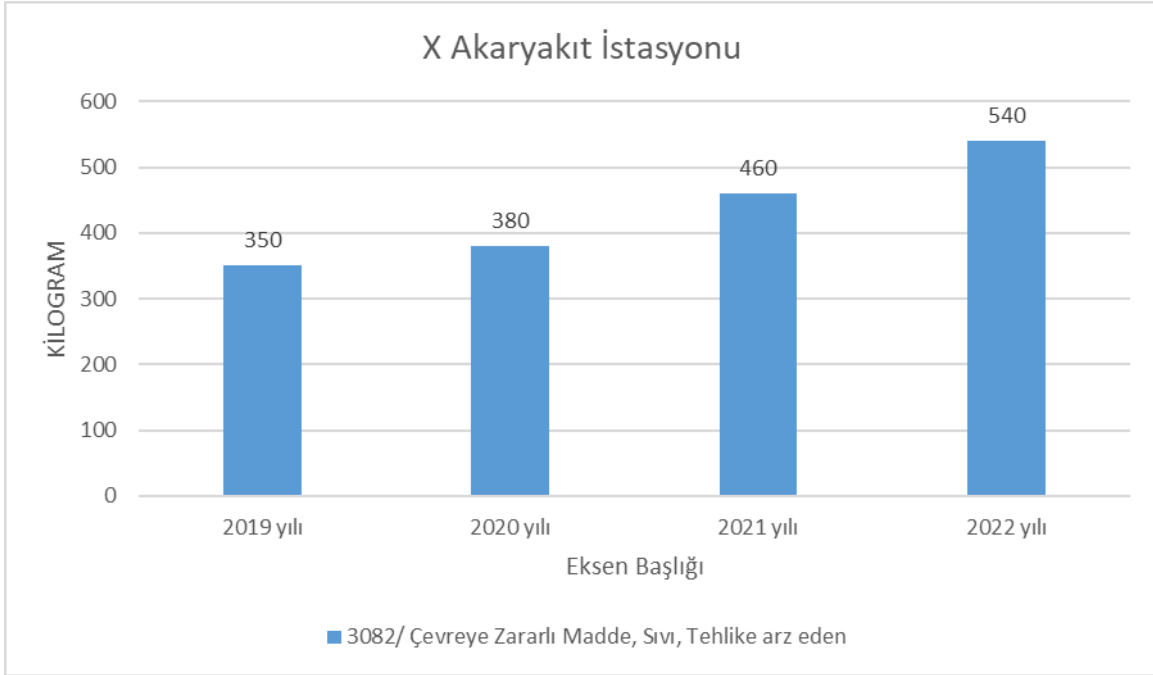
Mevcut durum için kullanılan iki metoddan Fine Kinney metodu geçmiş kazalar dikkate alınarak hesaplandığı için daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Çok tehlikeli bir alanda 5X5 Matris metoduna nazaran Fine-Kinney Metodu daha etkili ve tehlikeyi en aza indirici sonuçlar vermektedir. Kullanılan iki metodun yakınlığı göz önüne alındığında, eğer kullanılıyorsa Fine Kinney metodunun kullanılması daha iyi sonuçlar elde etmeye yardımcı olacaktır.

Çalışmanın devamında tehlikeli maddelerden akaryakıtların taşınmasında güzergah boyunca meydana gelebilecek kaza ve risk değerlendirmeleri hesaplanarak tablolar halinde çalışmaya aktarılmıştır.





Şekil 1. X akaryakıt istasyonuna ait yıllara göre satılan akaryakıt miktarları



Şekil 2. X akaryakıt istasyonu yıllara göre meydana gelen tehlikeli atık miktarları

### 2.1. Tehlikeli Maddelerin Taşınması Sırasındaki Risk Analizi

Tehlikeli maddelerin taşınması sırasında oluşacak kaza risklerinin en temelinde “insan-makine-çevre” üçlüsü yer almaktadır. Mekanik araç arızaları, kötü yol şartları, kötü doğal ortamlar ve kötü sosyal ortamlar bu kazaların başlıca sebepleri arasında gösterilebilir.

Bu tür kazalarda en büyük risk faktörü sürücü kaynaklı olduğu gibi mekanik arızalar ve Doğal Etkenler (Kar, Şiddetli Yağmur, Sis...) sebebi ile de olması muhtemeldir. Kazalarda kötü çevre koşulunun en fazla etki riski oluşturması muhtemeldir.

Bu riskler göz önüne alındığında kaza senaryoları aşağıdakiler gibi sıralanabilir (Longlong ve ark., 2021).

(1) **Mekanik araç arızaları:** lastik patlaması, kamyon yangınları, direksiyon arızası, fren arızası, motor mekaniğinde çıkan arızalar,

(2) **Kötü yol şartları:** dar şeritli yol, dik yokuş, keskin dönüş, uzun yokuş aşağı, yetersiz yol aydınlatması yeterli uyarıcı levhalandırma olmaması,

(3) **Kötü doğal ortamlar:** yatay görüş mesafesi şiddetli yağmur nedeniyle kamyon sürücüsünün görüş mesafesi 200 m'den az, kar, sis, pus veya dolu, kuvvetli rüzgarlar (fırtına), jeolojik afetler: deprem, heyelan, yol çökmesi tankın yüzey sıcaklığı hava sıcaklığından kaynaklanan 80 C'den yüksek seviyeye çıkması, gök gürültüsü ve şimşek çakması.

(4) **Kötü sosyal ortamlar:** yakınlarda meydana gelen tehlikeli bir patlama, 35<sup>0</sup> C'nin üzerindeki sıcaklıklarda alevler üzerinde duran tanker, kamyon şoförü otoyolda giderken hayvanların aniden önüne çıkması.

**Tablo 1.** Risk Analizi

Risk analizi	
Sürücü	Yorgun araç kullanımı, aşırı hız yapma, ihmal, trafik kurallarına uymamak, ruhsal durum bozukluğu, yetersiz tecrübe, yaş, fiziksel durum
Araç	Fren arızası, araç hareket aksamında oluşan arıza (aks, rot, direksiyon,) patlak lastik, motor alev alması, lastik yanması, yakıt deposu yanması, tankerde oluşan arıza, aracın yaşının büyük olması.
Yol Şartları	Kaygan yol yüzeyi, yetersiz aydınlatma, dar yol, dik yokuş, keskin dönüş, dik iniş, güvenlik uyarı levhalarının yeterli olmaması
Hava Şartları	Şiddetli yağmur, kar, sis, pus, fırtına, yüksek sıcaklık, gök gürültüsü, deprem, heyelan, ve sel.
Sosyal şartlar	Terör saldırısı, yakında olan trafik kazası, yoldan geçen yayalar, yoldan geçen hayvanlar, yakında meydana gelen tehlikeli patlama.
Eğitim	Sürücüye ve araç kabininde bulunan yardımcı elemana Tehlikeli madde güvenlik danışmanı tarafından eğitim verilmemesi
TMGD	Tehlikeli madde güvenliğinin yönetmelikle uyumlu olmaması, dökümantasyonları kontrol etmemesi, acil durum planı hazırlamayıp araç ekibini uyarmaması, aracın işaretleme ve etiketlemesinin eksik olması

### *Risk Değerlendirme Yöntemleri*

Çalışma kapsamında; 5X5 Matris ve Fine-Kinney Metodlarıyla risk analizi yapılmıştır.

#### *1- 5x5 Matris Yöntemi:*

Sonuçlar, nedensel ilişkileri değerlendirmek için kullanılır. Bu yaklaşım uygulaması kolay olduğu için kendi risk analizini yapmak zorunda olan risk analistleri için uygundur ancak farklı operasyonları içeren veya çok tehlikeli her iş için yeterli değildir. L şeklindeki 5x5 matris analiz yönteminin başarı oranı, analistin deneyimine göre değişir. İş yerinde önceliklendirilmesi gereken ve önleyici faaliyet gerektiren tehlikelerin bir an önce tespit edilmesi için kullanılmalıdır. Bu yöntemi kullanarak, öncelikle bir olay

olasılıkla gerçekleşirse, sonuç derecelendirilir ve ölçülür. Risk puanı, olasılık ve ciddiyetin çarpımı ile elde edilir ve tablodaki karşılık gelen konuma yazılır. Risk puanı, olasılık değeri ile şiddet değerinin çarpımı olarak tabloya yazılır.

Risk = Olasılık\* Şiddet (Seber, 2012).

5x5 matris risk değerlendirmesi

- Yürütülen faaliyetlerin sınıflandırılması
- Tehlike tanımlaması

Tüm risk tehlikelerini belirlemek zordur ve zaman alabilir. Bu çalışmada araçların seyir halindeyken meydana gelebilecek genel bir tehlike listesi verilmiştir. Bu liste, zarar verme potansiyeli olan kazaya, ölüme sebebiyet verip çevreye zarar verebilecek olaylar bu listede puanlama yapılarak tehlikeler belirlenebilir.

- tehlikedeyseniz ne olabilir?
- Olasılık hesaplamaları;

Olasılık Tablo 4'e göre belirlenir ve “çok küçük, küçük, orta, yüksek, çok yüksek”ten biri tehlikenin oluşma olasılığı olarak belirlenir. Bu değerler kaza istatistikleri, işyeri İSG organizasyonu, işçinin eğitim düzeyi ve işyeri İSG durumu dikkate alınarak belirlenir (Ashour, 2020).

Şiddetin Hesaplanması

Olayın ciddiyeti Tablo 6'ya göre şiddet değeri “çok hafif, hafif, orta, ciddi, çok ciddi” olarak belirlenir.

- Olasılık ve önem tablolarıyla risk puanlarına bakın
- Riskin tolere edilip edilemeyeceğine karar verin

Risk puanları, Tablo 8'de verilen risk puanı belirleme matrisinde yer almaktadır. Yerleştirme sonucunda riskler Tablo 8'de verilen sıraya göre değerlendirilir. Diğer bir deyişle, kabul edilemez düzeydeki riskler dışlanmak üzere önceliklendirilir.

- Hangi eylemi gerçekleştireceğinize karar verin
- Risk puanını yeniden hesaplayın

Önleyici tedbirler aldıktan sonra, riskin kabul edilebilir düzeyde olup olmadığını yeniden değerlendirin ve analiz edin (Ashour, 2020).

2- *Fine-Kinney Yöntemi:*

Bu yaklaşımda olası risk sonuçları puanlanır. Bir tehlike durumunda, kişilere, işyerine ve çevreye verilen zarar veya hasarın şiddeti değerlendirilir. Bu, kullanımı kolay ve yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. İşyeri istatistiklerine izin verilir. Alınacak aksiyonları yüksek risk değerine göre önceliklendirilir ve risk düzeyine göre önem sırası belirlenir (Saat, 2009).

### *Fine-Kinney Risk Değerlendirmesi*

Değerlendirme; çalışma ortamındaki tehlikelerin kazaya neden olmadan tespit edilmesini ve risk puanına göre en yüksek öncelikle başlayarak bu tehlikelerin iyileştirilmesini sağlamaya yönelik önleyici faktörleri sunmaktadır.

Uygulama aracılığıyla işletmenin neden olabileceği endüstriyel kaza ve meslek hastalığı riskleri değerlendirilmekte ve bu risklerin önlenmesi için iyileştirme önerilerinde bulunmaktadır.

Risk Puanı = Şans (olasılık) x Sıklık (tehlikeye maruz kalma sıklığı) x Şiddet

Risk Puanı = (O) x (F) x Ş

Bu yöntem sıklıkla kullanılan ve işverenlerin algılayabildiği bir yöntemdir. Şirket içindeki hasar sıklığı sadece olasılık veya ciddiyet bazında değil, aynı zamanda bir parametre olarak değerlendirildiği için daha etkin sonuçlar alınmaktadır. Kinney yönteminde, üç farklı parametre kullanılarak tehlike ve olası şiddet hesaplanarak bir risk puanı belirlenir ve buna göre önleyici eylem planı planlanır (Şimşek, 2020).

### *Risk Değerlendirmesi Çalışmasının Uygulanması*

Risk analizi ve değerlendirmesinin yürütülmesinin veya güncellenmesinin gerekli olabileceği bazı durumlar vardır.

- Bir işyerinde iş, yer, personel veya çalışma tekniğinde değişiklik olması halinde,
- Yeni ve ciddi bir tehdit ortaya çıkarsa,
- Kaza, işle ilgili yaralanma, meslek hastalığı veya benzeri bir olay meydana gelirse, işyerinin tamamını veya önemli bir bölümünü etkileme potansiyeli vardır.
- Risk analizini ve değerlendirmesini periyodik olarak güncellemek ve yenilemek çok önemlidir (Babaoğlu ve ark., 2018).

**Tablo 2.** Bir olayın gerçekleşme ihtimali (Öztekin, 2010)

<b>İhtimal</b>	<b>Ortaya Çıkma Olasılığı İçin Derecelendirme Basamakları</b>
<b>Çok Küçük</b>	Nadiren meydana gelir.
<b>Küçük</b>	Anormal durumlar, yılda yalnızca bir kez olmak üzere çok az sıklıkta meydana gelir.
<b>Orta</b>	Az (Her yıl sadece birkaç kez)
<b>Yüksek</b>	Sık sık, ayda bir sıklıkta.
<b>Çok Yüksek</b>	Çok sıklıkla (Tipik koşullar altında, bunun haftada bir, hatta her gün meydana gelmesi yaygındır)

**Tablo 3.** Bir olayın gerçekleştiği takdirde şiddeti (Öztekin, 2010)

<b>Sonuç</b>	<b>Derecelendirme</b>
<b>Çok Hafif</b>	Bu sorun, tedavi için gerekli olan yalnızca temel ilk yardım ile hızlı bir şekilde ve herhangi bir çalışma saati kaybı olmadan çözülebilir.
<b>Hafif</b>	İş günü kaybı olmadı ve ayakta tedavi olarak alınan tedavinin kalıcı bir etkisi olmadı.
<b>Orta</b>	Hafif bir yaralanma geçirmiş bir hasta, yaralanması için yatarak bakıma ihtiyaç duyar.
<b>Ciddi</b>	"Ciddi yaralanma, uzun süreli tedavi ve meslek hastalığı" ifadesi, işyerinde ortaya çıkabilecek bir dizi potansiyel sağlık sorununu kapsar.
<b>Çok Ciddi</b>	Ölüm ve kalıcı iş göremezlik.

**Tablo 4.** Risk skoru belirleme matrisi (Babaoğlu ve ark., 2018)

Risk Skoru	Şiddet				
	İhtimal	1 (Çok Hafif)	2 (Hafif)	3(Orta Derece)	4 (Ciddi)
1 (Çok Küçük)	Anlamsız 1	Düşük 2	Düşük 3	Düşük 4	Düşük 5
2 (Küçük)	Düşük 2	Düşük 4	Düşük 6	Orta 8	Orta 10
3 (Orta Derece)	Düşük 3	Düşük 6	Orta 9	Orta 12	Yüksek 15
4 (Yüksek)	Düşük 4	Orta 8	Orta 12	Yüksek 16	Yüksek 20
5 (Çok Yüksek)	Düşük 5	Orta 10	Yüksek 15	Yüksek 20	Tolere Edilemez 25

**Tablo 5.** Sonucun kabul edilebilirlik değerleri (Ceylan ve Başhelvacı, 2011)

<b>Tolere edilemez Katlanılamaz Riskler (25)</b>	Belirlenen risk kabul edilebilir bir düzeye indirilene kadar çalışmaya başlanmamalı, devam eden herhangi bir faaliyet varsa derhal durdurulmalıdır. Alınan önlemlere rağmen riski azaltmak mümkün değilse faaliyet engellenmelidir.
<b>Önemli Riskler (15,16,20)</b>	Belirlenen risk azaltılıncaya kadar çalışmaya başlanmamalı, devam eden herhangi bir faaliyet varsa derhal durdurulmalıdır. Risk için yeniden başlaması ile ilgili ise acil önlemler alınmalı ve bu önlemler doğrultusunda operasyona devam kararı verilmelidir.
<b>Orta Düzeydeki Riskler (8,9,10,12)</b>	Tespit edilen riskleri azaltmak için aksiyonlar başlatılmalıdır. Risk azaltma önlemleri zaman alabilir.
<b>Katlanılabilir Riskler (2,3,4,5,6)</b>	Belirlenen riskleri ortadan kaldırmak için ek kontrol prosedürleri gerekli olmayabilir. Ancak mevcut kontroller sürdürülmeli ve sürdürüldükleri doğrulanmalıdır.
<b>Önemsiz Riskler (1)</b>	Belirlenen riskleri ortadan kaldırmak için kontrol prosedürlerini planlamak ve yapılacak faaliyetlerin kayıtlarını tutmak gerekli olmayabilir.

**Tablo 6.** Bir olayın gerçekleştiği takdirde şiddeti (Ceylan ve Başhelvacı, 2011)

Şiddet Değeri	Şiddet insan ve/veya çevre üzerinde yaratacağı tahmini zarar
100	fazla ölümcül kaza/çevresel olay
40	ölümcül kaza/çevreye ciddi zarar
15	kalıcı hasar/sakatlık, iş kaybı/çevresel engel, acil çevresel talep
7	ciddi hasar/yaralanma, dışarıda/arazi sınırlamasında ilk yardım ihtiyacı dış çevre hasarı
3	küçük hasar/yaralanma, olay yerinde sınırlı dahili ilk yardım/çevresel hasar
1	ucuz kurtulma/çevreye zarar vermeme

Kritik puanda hasar bölümünde ölüm varsa sırasıyla 40 puan (tek ölüm) veya 100 puan (çoklu ölüm) olmalıdır. Ayrıca şiddet derecelendirmelerinde şüpheye düşüldüğünde daha yüksek puan verilmelidir (Ceylan ve Başhelvacı, 2011).

**Tablo 7.** Bir tehlikeye maruz kalma sıklığı (Cündübeyoğlu ve Kayabaşı, 2022)

Frekans Değeri	Frekans	
	tehlikeye zaman içinde maruz kalma tekrarı Rutin Olmayan	Rutin
10	Neredeyse sürekli	saatte birkaç kez
6	Sürekli	günde bir defa ya da birden daha fazla
3	Arada bir	haftada bir defa ya da birden fazla kez
2	Nadiren	ayda bir veya birden fazla kez
1	Çok az	yılda bir veya birden fazla kez
0,5	Çok nadir	yılda bir kez veya daha nadir

**Tablo 8.** Bir olayın gerçekleşme olasılığı (Cündübeyoğlu ve Kayabaşı, 2022)

Olasılık Değeri	Şans zararın gerçekleşme olasılığı
10	Beklenen durum, kesin olarak
6	Yüksek / tamamen mümkün durum
3	Olma ihtimali var, olabilir
1	Olabilir lakin düşük ihtimal
0,5	Beklenmedik lakin olabilir
0,2	Beklenmeyen durum

İlk risk değerlendirmesinde kontroller dikkate alınmamalıdır, bu nedenle olasılıklar her zaman en kötü durum olarak değerlendirilmelidir. Düzeltici faaliyetler sıklığı veya şiddeti etkilemez, etkileyeceği tek değişken olasılıktır. (Yüksekte çalışan işçiler emniyet kemeri takmıyorsa, emniyet kemeri takmak yalnızca düşme olasılığını etkiler, ancak ölüm riskini veya düşerse tehlike sıklığını azaltmaz) Kaynağında bertaraf veya ayrıştırma gibi önleme faaliyetlerinde ve kontrol yöntemlerinde, çevresel ve toplu koruma yöntemlerine göre ikame, sıklık ve olasılık değerleri azalır.(Cündübeyoğlu ve Kayabaşı, 2022).

**Tablo 9.** Sonucun kabul edilebilirlik değerleri (Birgören, 2017)

Risk Değeri Skoru	Risk Değerlendirme Sonucu
400 < R	<b>Kabul edilemez risk</b> (Gerekli önlemler derhal alınmalı/veya iş durdurulmalı, tesis, bina vb. kapatılmalıdır)
200 < R < 400	<b>Temel risk</b> ("birkaç ay" için kısa süreli tedavi gerektirir)
70 < R < 200	<b>Önemli risk</b> (uzun vadede "yıl içinde" iyileştirilmelidir)
20 < R < 70	<b>Olması muhtemel risk</b> ("Gözetim altında uygulanmalı, kontrol yöntemleri geliştirilmelidir")
R < 20	<b>İhmal edilebilir risk</b> (Önleme bir öncelik değildir)

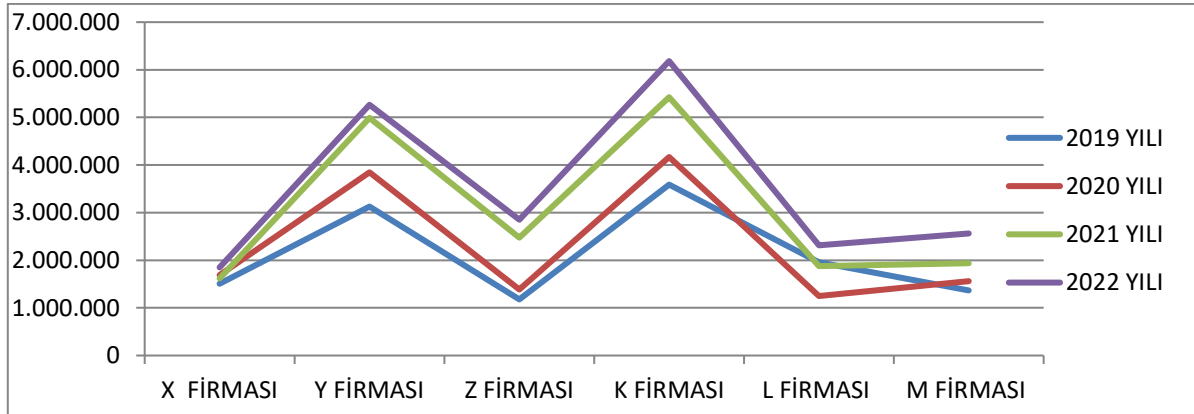
### 3. Bulgular ve Tartışma

Kayseri ilin deki altı firmaya ait akaryakıt istasyonlarının yıllık tehlikeli madde alımı, satımı ve çıkan atıklarının değerlendirilmesi ve bu akaryakıtların karayolu ile taşınması esnasında ortaya çıkan riskler Çalışmada akaryakıt istasyonlarının 2019, 2020, 2021 ve 2022 yıllarına ait verileri tablolara aktarılmıştır. Bir önceki bölümde her firmaya ait veriler tablolarda açık şekilde yazılıp bu bölümde ise aşağıdaki gibi üç yıllık veriler hesaplanıp tablolara ve çizgi Şekillere aktarılmıştır. Çalışmanın devamında akaryakıtların karayolu ile taşınması esnasında ortaya çıkabilecek olası kaza durumları, patlama, yorgun araç kullanımı, yol şartları, hava şartları vs. gibi durumların risk hesaplaması yapılarak bulgular tablolar halinde çalışmaya aktarılmıştır.

Yukarıda bulunan hesaplamalar sonucunda elde edilen bütün veriler Tablo 10'da gösterilmiştir.

**Tablo 10.** Firmaların yıllık akaryakıt alım-satım miktarları (lt)

Yıllar	X Firması	Y Firması	Z Firması	K Firması	L Firması	M Firması
2019	1.504.275	3.125.753	1.177.800 lt	3.588.654 lt	1.958.702 lt	1.366.482 lt
2020	1.688.867 lt	3.848.765 lt	1.384.023 lt	4.167.628 lt	1.248.846 lt	1.560.822 lt
2021	1.619.516 lt	4.988.735 lt	2.474.090 lt	5.424.070 lt	1.878.225 lt	1.936.295 lt
2022	1.850.420 lt	5.265.430 lt	2.850.320 lt	6.182.100 lt	2.310.980 lt	2.560.750 lt



**Şekil 3.** Yıllara göre firmaların akaryakıt alım-satım miktarlarının gösterimi

Şekilde de görüldüğü gibi akaryakıt istasyonları tehlikeli madde alım-satım miktarlarını giderek artırmıştır. Bunun sebebi ise arz talep dengesidir. Tüketici yakıt kullanımını artırdıkça akaryakıt istasyonları daha fazla tehlikeli madde (motorin, benzin, LPG) alımı yapmaktadır. 2019, 2020, 2021 ve 2022 yılları farklı altı akaryakıt istasyonu için karşılaştırıldığında miktarlarda bir önceki yıla göre sayısal artış meydana gelmiştir.

Yukarıda bulunan hesaplamalar sonucunda elde edilen bütün veriler Tablo 11'de gösterilmiştir.

2019, 2020, 2021 ve 2022 yılları farklı altı akaryakıt istasyonu için karşılaştırıldığında alım-satım miktarlarında hep bir yükselme meydana gelmiştir. Bu durum şunu göstermektedir ki; giderek gelişen topluma paralel olarak araba kullanımı artmış olacak ve motorin, benzin, LPG'ye duyulan ihtiyaç fazlalaşacaktır. Daha önceki yıllarda her haneye bir araba düşerken günümüzde dört kişilik hanelerde

dahi en az iki adet araç bulunmaktadır. Bu durum akaryakıtlara talebi arttırmakla birlikte tehlikeli maddelerin çok daha fazla kullanılmasına sebebiyet vermektedir.

**Tablo 12.** Firmaların yıllık atık çıkışı

Yıllar	X Firması	Y Firması	Z Firması	K Firması	L Firması	M Firması
2019	350 kg	300 kg	130 kg	125 kg	70 kg	300 kg
2020	380 kg	320 kg	155 kg	152 kg	72 kg	350 kg
2021	460 kg	350 kg	175 kg	200 kg	80 kg	420 kg
2022	540 kg	420 kg	210 kg	220 kg	118 kg	517 kg

Tablo 12’ de görüldüğü gibi 2019, 2020, 2021 ve 2022 yılları için akaryakıt istasyonlarından çıkan tehlikeli atık miktarında giderek artış meydana gelmiştir. Bu atıklar motorin, LPG ve benzinden kaynaklı tank dibi atık çamurudur. Bunların bertarafı çevresel bakımdan, insan ve canlıların sağlığı açısından büyük önem arz etmektedir. Bu yüzden akaryakıt istasyonları denetime tabi tutularak tehlikeli maddelerden kaynaklı atıklarını lisanslı bertaraf firmalarına vermeleri önem arz etmektedir.



3.1. Risk Analizi Değerlendirme Formu

**Tablo 13.** 5x5 matris ve Kinney risk tehlike tablosu (Şimşek, 2020)

No	Bölüm	Tehlike			5x5 Risk					Kinney Risk					
		Tanım	Tanım	Hedef	Olası Hata	Etkisi(Risk)	Olasılık (1-5)	Şiddet (1-5)	Derece	Önem Derecesi	Olasılık (0,2-10)	Şiddet (1-100)	Sıklık (0,5-10)	Derece	Önem Derecesi
1	Sürücü	Ortamda çalışma yürütülmesi	Yorgun Araç Kullanımı	Trafik	Kural İhlali	Ölüm	4	4	16	<b>Yüksek</b>	6	30	2	360	<b>Yüksek</b>
2	Sürücü	Ortamda çalışma yürütülmesi	Aşırı Hız	Trafik	Kural İhlali	Patlama, yangın, yaralanma, ölüm,	4	4	16	<b>Yüksek</b>	6	30	2	360	<b>Yüksek</b>
3	Sürücü	Ortamda çalışma yürütülmesi	Ruhsal Durum Bozukluğu	Trafik	Kural İhlali	Yaralanma	2	5	10	<b>Orta</b>	1	40	3	120	<b>Orta</b>
4	Sürücü	Ortamda çalışma yürütülmesi	Yetersiz Tecrübe	Trafik	Kural İhlali	Yaralanma, Ölüm	2	3	6	<b>Orta</b>	1	40	3	120	<b>Orta</b>
5	Araç	Ortamda çalışma yürütülmesi	Yangın söndürme tüplerinin boş olması	Tüm çalışanlar Ziyaretçiler	Boş tüple yangına müdahale edilememesi	Ölüm	4	4	16	<b>Yüksek</b>	6	30	2	360	<b>Yüksek</b>

**Tablo 14.** Düzenleyici önleyici faaliyet tablosu (Şimşek, 2020)

No	Bölüm	Düzenleyici Önleyici Faaliyet			5x5 Risk			Kinney Risk			
		Alınan Önlemler	Olasılık (1-5)	Şiddet (1-5)	Derece	Önem Derecesi	Olasılık (0,2-10)	Şiddet (1-100)	Sıklık (0,5-10)	Derece	Önem Derecesi
1	Sürücü	Yasal olarak 8 saat araç sürme hakkı vardır.	1	5	5	Düşük	0,5	100	1	50	Düşük
		Her 45 dakika da 10 dakika mola verilir.									
		Düzenli uykusunu alıp yola çıkılır.									
2	Sürücü	Trafik kurallarına uyulmalıdır.	1	5	5	Düşük	0,5	100	1	50	Düşük
		Yasal hız sınırı 90 km/h'dir									
		Sürücü planını önceden yapmalıdır.									
3	Sürücü	Psikolojik destek alınması gerekmektedir.	1	5	5	Düşük	0,5	100	1	50	Düşük
		Ruhsal açıdan iyi hissetmiyorsa kesinlikle yola çıkılmasına izin verilmemelidir.									
4	Sürücü	Yeterli tecrübeye sahip olana kadar yalnız yola çıkılmaması gerekmektedir.	1	5	5	Düşük	0,5	100	1	50	Düşük
		SRC-5 Eğitimi ve CE ehliyetini almış olması gerekmektedir.									
5	Araç	Yangın tüplerinin kontrolleri yapıp yola çıkılmalıdır.	1	5	5	Düşük	0,5	100	1	50	Düşük
		Her iki yılda bir yangın tüplerinin muayene edilmesi gerekmektedir.									

**Tablo 15. 5x5 Matris ve Kinney risk tehlike tablosu (Şimşek, 2020)**

No	Bölüm	Tehlike			5x5 Risk					Kinney Risk					
		Tanım	Tanım	Hedef	Olası Hata	Etkisi(Risk)	Olasılık (1-5)	Şiddet (1-5)	Derece e	Önem Derecesi	Olasılık (0,2-10)	Şiddet (1-100)	Sıklık (0,5-10)	Derece	Önem Derecesi
6	Araç	Ortamda çalışma yürütülmesi	Fren Arızası ve Araç Mekanik Arızalar	Trafik	Fren patlaması veya araç önemli parçalarının arıza yapması	Çoklu Ölüm	5	5	25	<b>Tolere Edilemez</b>	6	40	3	720	<b>Yüksek</b>
7	Araç	Ortamda çalışma yürütülmesi	Lastik Patlağı	Trafik ve Çevre	Lastik patlaması ile aracın ve çevrenin zarar görmesi	Çoklu Ölüm	5	5	25	<b>Yüksek</b>	6	40	3	720	<b>Yüksek</b>
8	Araç	Ortamda çalışma yürütülmesi	Tankerde oluşan arıza ve hasar	Trafik ve Çevre	Tanker oluşan olası bir zararda dökülen tehlikeli madde ile çevre zarar görürken oluşan bir alevlenmede hem çevre hem trafik de oluşan zarar	Çoklu Ölüm	4	5	20	<b>Yüksek</b>	3	40	1	120	<b>Orta</b>
9	Yol Şartları	Ortamda çalışma yürütülmesi	Kaygan Yol	Trafik	Araç Freninin Tutmaması	Çoklu Ölüm	4	3	12	<b>Orta</b>	3	40	1	120	<b>Orta</b>
10	Yol Şartları	Ortamda çalışma yürütülmesi	Yetersiz Aydınlatma	Trafik	Aydınlatmanın Yeteriz olduğu durumda yoldaki risklerin görünmemesi	Yaralanma	2	5	10	<b>Orta</b>	3	40	1	120	<b>Orta</b>

**Tablo 16.** Düzenleyici önleyici faaliyet tablosu (Şimşek, 2020)

No	Bölüm	Düzenleyici Önleyici Faaliyet Alınan Önlemler	5x5 Risk				Kinney Risk				
			Olasılık (1-5)	Şiddet (1-5)	Derece	Önem Derecesi	Olasılık (0,2-10)	Şiddet (1-100)	Sıklık (0,5-10)	Derece	Önem Derecesi
6	Araç	Araç her yola çıkmadan önce periyodik bakımları kontrol edilmelidir. Önemli olan parçalar kontrol edilir. Her yıl düzenli olarak TÜV Türk Muayenesi Yapılır	1	5	5	Düşük	0,5	100	1	50	Düşük
7	Araç	Kullanım ömrü bitmiş lastiklerle yola çıkılmaması gerekmektedir. Yola çıkmadan önce bütün lastikler kontrol edilmiştir. Stepne ve yedek parçalar araçta bulunmalıdır.	1	5	5	Düşük	0,5	100	1	50	Düşük
8	Araç	Tankerin periyodik muayenesi yapılmalıdır. TSE muayeneleri yapılmalıdır. Tankerde oluşan fiziksel bir sorunda kesinlikle yola çıkılmamalı ve yükleme yapılmamalıdır.	1	5	5	Düşük	0,5	100	1	50	Düşük
9	Yol Şartları	Lastiklerin bakımlı ve dişlerinin çok olması gerekir Daha dikkatli kullanım ve trafik kurallarına uyulması gerekiyorsa düşük hızda gidilmesi gerekir.	1	5	5	Düşük	0,5	100	1	50	Düşük
10	Yol Şartları	Yoldaki yetersiz aydınlatma dikkatli sürüş gerekiyorsa yavaş kullanım Yoldaki yetersiz aydınlatmada araç aydınlatmalarının çok iyi olması fakat karşıdaki sürücüyü tehlikeye sokmaması gerekmektedir.	1	5	5	Düşük	0,5	100	1	50	Düşük

**Tablo 17. 5x5 Matris ve Kinney risk tehlike tablosu (Şimşek, 2020)**

No	Bölüm	Tehlike			5x5 Risk					Kinney Risk					
		Tanım	Tanım	Hedef	Olası Hata	Etkisi(Risk)	Olasılık (1-5)	Şiddet (1-5)	Derece e	Önem Derecesi	Olasılık (0,2-10)	Şiddet (1-100)	Sıklık (0,5-10)	Derece	Önem Derecesi
11	Yol Şartları	Ortamda çalışma yürütülmesi	Dar yol, Dik yokuş, Keskin Dönüş	Trafik	Aracın yola sığmaması, Dik yokuş aşağı inişte fren tutmaması, keskin dönüşte aracın hızını ayarlayamaması	Çoklu Ölüm	3	4	12	Orta	3	15	2	90	Orta
12	Yol Şartları	Ortamda çalışma yürütülmesi	Uyarı Levhalarının Yetersiz Olması	Trafik	Uyarı levhalarının yetersizliği halinde sürücünün yola hakim olamaması	Yaralanma, Ölüm	3	4	12	Orta	3	40	3	360	Yüksek
13	Hava Şartları	Ortamda çalışma yürütülmesi	Kar, Şiddetli Yağış, Sis, Pus, Fırtına	Trafik	Kötü hava koşullarında yolda oluşabilecek riskler	Ölüm	5	3	15	Orta	6	15	3	270	Yüksek
14	Hava Şartları	Ortamda Çalışma Yürütme	Aşırı Sıcak Hava	Trafik	Aşırı Sıcak havada tankerdeki tehlikeli maddenin ısınması ve patlaması	Çoklu Ölüm	5	3	15	Orta	3	40	3	360	Yüksek
15	Sosyal Şartlar	Ortamda çalışma yürütülmesi	Terör Saldırısı	Sürücü ve Trafik	Olası bir terör saldırısı ve yağmalanma durumunda Tehlikeli maddenin çevreye dökülmesi	Yaralanma	4	3	12	Orta	6	15	3	270	Yüksek

**Tablo 18.** Düzenleyici önleyici faaliyet tablosu (Şimşek, 2020)

No	Bölüm	Düzenleyici Önleyici Faaliyet Alınan Önlemler	5x5 Risk			Kinney Risk					
			Olasılık (1-5)	Şiddet (1-5)	Derece	Önem Derecesi	Olasılık (0,2-10)	Şiddet (1-100)	Sıklık (0,5-10)	Derece	Önem Derecesi
11	Yol Şartları	Dar yol da trafiği zora sokmadan dikkatli sürüş ve rota belirlerken bu yolları kullanmama Dik yokuş inerken araç fren sistemlerinin kontrollerinin yapılmış olup sabit bir hızda inilmesi Keskin dönüşlerde önceden belirlenen yerlerde azami miktarda yavaşlama gerekmektedir.	1	5	5	Düşük	0,5	100	1	50	Düşük
12	Yol Şartları	Uyarı levhalarının eksik olduğu yerlerde ilgili yerlere bilgi verilerek levhalandırma yapılır. Levhaların eksik olduğu yerlerde sürücü tecrübesini kullanarak daha dikkatli bir sürüş gerçekleştirmelidir.	1	5	5	Düşük	0,5	100	1	50	Düşük
13	Hava Şartları	Kar, şiddetli yağış anında sürücü gerekiyorsa uygun bir yere park etmelidir. Sis ve pus olduğu yerlerde aracın aydınlatmaları açılmalı ve yavaş bir sürüş gerçekleştirilmektedir. Gerektiği yerlerde uygun bir yere park edilip beklenmelidir.	1	5	5	Düşük	0,5	100	1	50	Düşük
14	Hava Şartları	Aşırı sıcak hava da tehlikeli madde taşıyan tankerlerde patlama riski olabileceği için havanın daha serin olduğu zaman yola çıkılmalıdır.	1	5	5	Düşük	0,5	100	1	50	Düşük
15	Sosyal Şartlar	Olası bir terör saldırısı durumunda gerekli yerlere (asker polis) haber verilmesi gerekmektedir.	1	5	5	Düşük	0,5	100	1	50	Düşük

**Tablo 19. 5x5 Matris ve Kinney risk tehlike tablosu (Şimşek, 2020)**

No	Bölüm	Tehlike				5x5 Risk				Kinney Risk					
		Tanım	Tanım	Hedef	Olası Hata	Etkisi(Risk)	Olasılık (1-5)	Şiddet (1-5)	Derece e	Önem Derecesi	Olasılık (0,2-10)	Şiddet (1-100)	Sıklık (0,5-10)	Derece	Önem Derecesi
16	Sosyal Şartlar	Ortamda çalışma yürütülmesi	Trafik Kazası	Trafik	Yakınlarda olan bir trafik kazasında herhangi bir patlama olması durumunda	Çoklu Ölüm	4	5	20	<b>Yüksek</b>	3	40	3	360	<b>Yüksek</b>
17	Sosyal Şartlar	Ortamda çalışma yürütülmesi	Yoldan Geçen Hayvanlar	Trafik	Özellikle gece yolda olan hayvanların geç fark edilmesi ve kazaya sebebiyet vermesi	Yaralanma	4	4	16	<b>Yüksek</b>	3	40	2	240	<b>Yüksek</b>
18	Eğitim	Ortamda çalışma yürütülmesi	Sürücüye ve araç kabininde bulunan yardımcı elemana Tehlikeli madde güvenlik danışmanı tarafından eğitim verilmemesi	Tüm Çalışanlar	Eğitimi olmadan yola çıkan personel acil bir durumda müdahale edemez	Ölüm	4	5	20	<b>Yüksek</b>	3	40	2	240	<b>Yüksek</b>
19	TMGD	Ortamda çalışma yürütülmesi	Tehlikeli madde güvenlik danışmanının yönetmelikle uyumlu olmaması, dökümantasyonları kontrol etmemesi, acil durum planı hazırlamayıp araç ekibini uyarmaması, aracın işaretleme ve etiketlemesinin eksik olması	Tüm Çalışanlar	Dökümantasyonların kontrol edilmemesi durumunda süresi geçmiş, artık kullanılması gereken bir tankerini kullanılması patlamalara sebebiyet verir. Tanker patlamaları ölümle sonuçlanır.	Ölüm	4	5	20	<b>Yüksek</b>	6	40	3	720	<b>Tolere Edilemez</b>

**Tablo 20.** Düzenleyici önleyici faaliyet tablosu (Şimşek, 2020)

No	Bölüm	Düzenleyici Önleyici Faaliyet Alınan Önlemler	5x5 Risk				Kinney Risk				
			Olasılık (1-5)	Şiddet (1-5)	Derece	Önem Derecesi	Olasılık (0,2-10)	Şiddet (1-100)	Sıklık (0,5-10)	Derece	Önem Derecesi
16	Sosyal Şartlar	Yakınlarda olan bir trafik kazasında araç tehlikeden uzak bir noktaya çekilir. Tehlikeli maddenin aşırı sıcak ve patlamadan uzaklaştırılması gerekmektedir.  Araç kaza yapmışsa öncelikle tehlikeli maddenin güvenliğinin sağlanması ve etrafa zarar vermeyecek şekilde muhafaza edilmesi gerekmektedir.	1	5	5	<b>Düşük</b>	0,5	100	1	50	<b>Düşük</b>
17	Sosyal Şartlar	Gece sürüşleri gündüzlere göre daha dikkatli olunması gerekmektedir. Gerekli olmadıkça gece yolculuk yapılmamalıdır.	1	5	5	<b>Düşük</b>	0,5	100	1	50	<b>Düşük</b>
18	Eğitim	Sürücünün eğitimin tam olması gerekmektedir. Tehlikeli Madde Taşınması için SRC-5 belgesinin olması gerekmektedir. Taşındığı malzemeyi bilmeli ve gerektiğinde müdahale edebilmelidir.	1	5	5	<b>Düşük</b>	0,5	100	1	50	<b>Düşük</b>
19	TMGD	Araç yola çıkmadan önce TMGD aracı kontrol eder. Bütün güvenlik önlemleri prosedürlerini anlatır. Yerinde incelemeler yapar ve aracı o şekilde gönderir.	1	5	5	<b>Düşük</b>	0,5	100	1	50	<b>Düşük</b>



Bu çalışmada; tehlikeli malların taşınması sırasında olası riskler için risk analizi ve bu analizin değerlendirilmesi yapılmıştır. İhtimal durumların risk analizleri 5x5 analitik matris ve Fine-Kinney yöntemi ile ayrı ayrı yapılmış ve bu yöntemlerin sonuçları karşılaştırılmıştır.

Risk analizi ve değerlendirilmesi için öncelikle 5x5 L matris yöntemi uygulanmış olup, tehlikeli madde taşıyacak kişiler ile çalışanların ve yol kullanıcılarının sağlık ve emniyetini etkileyebilecek tehlikeler belirlenmiştir. Yolda karşılaşılan tehlikelerin olasılığı ve ciddiyeti, önceki çalışmalar ve deneyimler kullanılarak sayısal olarak belirlenir. Şiddet ve olasılık değerleri çarpılarak risk puanı belirlenir. Bulunan risk puanları, tanımladığımız her tehlike için hesaplanır (Cündübeyoğlu ve Kayabaşı, 2022).

Daha sonra çalışmada diğer bir yöntem olan, Fine-Finney risk analizi yöntemi kullanıldı. Olasılık, şiddet ve sıklık bakımından riskler hesaplanarak verilerin tamamının çarpılmasıyla risk puanı belirlendi. Bulunan risk puanları, tanımladığımız her tehlike için hesaplandı (Ceylan, 2011).

En yüksek tehlikeler ortadan kaldırılmalı veya en aza indirilmelidir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen risk analizi örneklerinde, 5x5 L Tipi Matris ve Fine-Kinney tehlikeli maddelerin taşınması sırasında farklı ortam ve operasyonların risk değerlendirmesi, bu iki yöntemle elde edilen sonuçların karşılaştırılması ve yorumlanması için kullanılmıştır. Tablo 13-20 aralığında verilen risk analiz oranlarına bakıldığında iki yöntemin benzer olduğu ancak Fine-Kinney yönteminin daha detaylı sonuçlar verdiği görülmektedir. Çok tehlikeli bir alanda Fine-Kinney metodu daha doğru sonuçlar verecektir. Bu metodu uygulamak matris metoduna göre daha işe yarar sonuçlar elde etmeyi sağlayacaktır.

Şirket içinde kullanılacaksa Fine-Kinney metodunun kullanılması tavsiye edilmektedir.

Tehlikeli olmayı tehlikeliyle veya çok tehlikeliyi daha az tehlikeliyle değiştirin; Riski kaynağında ortadan kaldırmak için. Riski kaynağında ortadan kaldıran ergonomik, denetim, gözlem ve teftiş yaklaşımlarından yararlanarak bireysel önlemler yerine toplu önlemlere geçin. İş yerinde iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması, geliştirilmesi ve korunması amacıyla riskin kaynağında ortadan kaldırılmasına yönelik temel bir yaklaşım kapsamında, önlemlerin alınmasını, bunlara uyulmasını ve izlenmesini sağlayacak çalışmalar yapılır ve sonuç olarak değerlendirilir, her türlü tehlikeyi bütüncül olarak ele alarak mücadele etmek için uygulamaya konulan iyileştirme tedbirleri raporda yer almaktadır.

*Tehlikeli maddelerin taşınımı sırasında oluşan riskler için Fine-Kinney ile risk değerlendirmelerinde öneriler*

- **0 ile 20** arasındaki riskler için kontrollere atıfta bulunulmayabilir, ancak bazen tüm risklerin 0 ile 20 arasında olmasını sağlamak için uyguladığımız kontroller olabilir. Bu durumda başvurabiliriz (Birgören, 2017).

**20 ile 70** arası, pratikte riskin çoğunun meydana geldiği aralıktır. Bu aralıktaki riskler için yasal zorunluluk bulunmuyorsa herhangi bir önlemden bulunmamıza gerek yoktur. Bununla birlikte, "olası risk" kavramı neredeyse zorunlu olarak mevcut bir önlem nedeniyle ortaya çıkmıştır. İstisnalar beklenirken risk 20 ile 70 arasında ise riski o seviyede tutan bir kontrol yöntemine başvurulduğu söylenir (Birgören, 2017).

#### **Bu referans:**

1. Yapılması gerekli adımlara
2. Yasal kurallara
3. Uyarı tabelalara
4. Konu hakkında bilgilendirilmeye
5. Kişisel koruyucu ekipman kullanımı olabilir.

•**70'ten fazla** çıkan riskler için kesinlikle bir engelleyici ve önleyici durum alternatifleri ele alınmalıdır.

**70 puan ve üstü** olan risklerle ilgili olarak;

Eylem planları, tedarikler, maliyetler vb. sorumluluklar kaldırılmalıdır. Tüm önlemler alınmışsa ve başka bir önlem alınamıyorsa, risk değerlendirme prosedürü bu gibi durumlarda tehlikenin bilineceğini ve işin tehlikeli olduğunu bilerek çalışma yapılacağı çalışılan çevreye ve çalışma yapacak personele bildirilmelidir. 400'den fazla tehlike için aksiyon alımları düşünülmeli ve acil çözümler bulunmalı, bu aksiyonlar alınana kadar geçecek süre içinde iş yapılacaksa nasıl yapılacağı anlatılmalıdır. Düzeltici faaliyetler tamamlandıktan sonra değerlendirmeler gözden geçirilmelidir. İyileştirme sonrasında puanları 70 ve üzerinde kalanlar için önlem alınarak faaliyetlere devam edilebilir. Tüm önlemlere rağmen 400 puan ve üzeri risk içeren faaliyetler bir işletme yöneticisi ile paylaşılmalıdır (Birgören, 2017).

#### **4.Sonuçlar ve Öneriler**

Bu çalışmada tehlikeli maddelerin karayolu taşımacılığındaki olası riskleri ve olası sorunları değerlendirilmiştir. Çalışmada riskleri belirlemek için İSG uzmanları ve TMGD uzmanları ile yüz yüze görüşmeler yapılmıştır. Ayrıca ağırlıklı olarak sahadaki çalışanların deneyimleri göz önüne alınmıştır. Alınan bilgilere göre riskleri önleyici tedbirler belirlenmiştir. Çalışma neticesinde tehlikeli maddelerin karayoluyla taşınması yoluyla meydana gelen çevresel risklere literatürde çok fazla değinilmediği görülmüştür. Karayolu taşımacılığı barındırdığı riskler sebebiyle tehlikeli maddelerin taşınmasında önlemler almayı gerektirmektedir. Bu tür çalışmaların çoğaltılması ortaya çıkabilecek risklerin önüne

geçerek alınabilecek önlemleri belirlemede topluma fayda sağlayacaktır. Bu çalışmanın tehlikeli madde taşımacılığında risk analizi araştırması yapan kişilere örnek teşkil edecek şekilde olması amaçlanmıştır. Bu çalışma tehlikeli madde taşımacılığı ile alakalı diğer çalışmalara katkı sağlayacaktır. Çalışmada kullanılan 5X5 Matris ve Fine-Kinney Metodları tehlikeli madde taşımacılığında karşılaşılabilecek olası riskleri değerlendirerek alınması gereken tedbirler hakkında bilinçlendirmeyi, kazaları en aza indirmeyi hedeflemektedir ve bu tür çalışmalara katkı sağlayacaktır.

Tehlikeli madde taşımacılığı sırasında kaza olasılığı riskini incelediğimizde ve değerlendirdiğimizde, Türkiye'de özellikle tehlikeli madde taşımacılığının kaza verileri mevcut değildir. Bu kapsamda tehlikeli madde taşımacılığına ilişkin veri eksikliğinin giderilmesi için gerekli mercilerin yeterli koordinasyon sağlaması ve gerekli verilerin sağlanmasına yönelik çalışmalar planlanmalıdır.

Tehlikeli maddelerin yurt içinde ve yurt dışında taşınması konusunda son yıllarda yasal düzenlemeler yapılmış olmasına rağmen mevcut uygulamalar halen yetersizdir. Bu nedenle, taşımayı yapan sürücülerin bilgi ve beceri düzeylerinin kontrol edilmesi ve izlenmesi için, özellikle akaryakıt taşımacılığına ilişkin olarak, taşıyıcı şirketlerin ve kamu kurumlarının yasal hükümlerinin uygulanması gerektiği değerlendirilmektedir.

Tehlikeli maddelerin taşınmasında olası riskler önlenemez veya en aza indirilemezse öngörülemeyen felaketler meydana gelecektir. Dünya genelinde yasa koyucular, yasal otoriteler ve bu konuda yapılan akademik araştırmalar bazı yasal hükümler ve kurallar oluştursa da, bu yasal hükümler uygulama sürecindeki bazı sorunlar nedeniyle yeterli olmayabilir. Avrupa ve Asya kıtalarında stratejik bir konuma sahip olan ülkemizin coğrafi konumu göz önüne alındığında, tehlikeli maddelerin taşınmasında büyük bir ekonomik paya sahiptir.

Tehlikeli madde taşımacılığı geçmişten günümüze tüm canlıları, çevreyi, insanları etkileyen ve bu konuda hassas davranılması gereken kurallar bütünüdür.

Tehlikeli maddelerin taşınmasında genellikle iki taraf vardır. Birincisi, nakliye sırasında geçen süreyi ve mesafeyi en aza indirerek maliyetleri düşürmeye çalışan taşıyıcıdır. İkinci kategori ise yasal mercilerle birlikte hareket ederek vatandaşlarını ve doğayı çeşitli risklerden (ağırlıklı olarak kendi sınırları içinde) korumaya çalışan kamu kurum ve kuruluşlarıdır.

Ülkemizin lojistik yönetiminin daha etkin bir şekilde ele alınarak geliştirilmesi gerekmektedir.

Tehlike arz eden maddelerin karayollarında taşınması sırasında, yapılması gereken ilk iş, tehlikeli madde iş ve işlemlerinde görev alan personellere ADR genel bilinçlendirme ve göreve özgü emniyet eğitimi verilmesi gerekmektedir. Tehlike arz eden maddelerin taşınması sürecinde çalışmakta olan işçilere dair eğitimlerin ayarlanmasına, farklı düzeylerdeki bu eğitimlerin devamlılığına önem verilmelidir.

Uygulanma kıstasında, yasal kriterlerin net olarak takip edilmesini teşvik edecek yasal uygulamalar zorunlu kılınıp takip edilmelidir.

Tehlikeli madde alım ve kullanım miktarları yıllık kayıtlar halinde tutulmalıdır. Bu kayıtları sistematik olarak tutmak, risklerin oluşumunda risklerin kaynağındaki tehlikelerin bir kısmı vb. sayısal değerler erişilebilir olmalıdır.

Adından da anlaşılacağı gibi, tehlikeli maddelerin üretiminde, depolanmasında, taşınmasında ve elleçlenmesinde özen gösterilmediği takdirde insan sağlığına, doğaya ve hayvanlara yönelik öngörülemeyen felaketler meydana gelebilir. Bu nedenle, tehlikeli maddeleri üretimden lojistiğine kadar her aşamasında çok dikkatli olunmalıdır. Özellikle tehlikeli maddeler taşınırken olası risklerin değerlendirilmesi ve risklerin en aza indirilmesi çok önemlidir.

Sürdürülebilirlik yaklaşımı çerçevesinde, farklı akışlar yoluyla, halk sağlığı ve çevre için oluşturacağı riskler ve sorunlar, doğal kaynak rezervlerinin verimli kullanılması gibi bilgilendirmeler ve atık türüne uygun geri dönüşüm yapılması vb. hakkında yapılması gerekenler sektörde tehlikeli madde lojistiğinde görev alan personellere bildirilmelidir.

Akaryakıt istasyonlarındaki benzin ve motorin tanklarındaki tank dibi atığı (05 01 03\*) atık kodu ile lisanslı taşıma araçları tarafından bertaraf tesislerine nakledilmelidir. Bertaraf edilecek ürün oluştuktan sonra firma Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının, Entegre Çevre Bilgi Sistemine girip MOTAT (Mobil Atık Takip Sistemi)'den taşıma talebi ekler. Taşıma talebinde Taşıma Kontrol Numarasını lisansı olan aracın MOTAT sistemine girer ve Bertaraf edilmek üzere Bertaraf tesisine gönderilir. Bertaraf tesisi atığı kabul eder ve bertaraf eder. Bu akışla tehlikeli atıklar bertaraf edilmelidir. Akaryakıt ve LPG istasyonları şüphesiz çevreye zarar veriyorsa, insan sağlığı ve çevre için yetkili mercilere başvurmak zorunludur. Benzin sızıntı ve dökülmelerinin zararlı etkilerine karşı alınan güvenlik önlemleri havayı, toprağı ve suyu korumayı amaçlamalıdır.

LPG içeren konteynerlerin nakliyesi özel olarak eğitilmiş personel tarafından yapılmalıdır. Nakliye sırasında statik elektriğe karşı gerekli önlemler alınmalıdır. Nakliye sırasında yangın aletleri veya ateş kaynakları kullanılmamalıdır.

Tehlikeli kimyasalların özellikleri göz önüne alındığında bu kimyasallarının çevreye zararının ne kadar önemli olduğu görülmektedir. Akaryakıt tankerinin karıştığı bir trafik kazası sonrasında çevre kirliliği riski ele alınmalıdır. “Acil Müdahale” çerçevesinde alınan önlemler en kısa sürede alınmalı ve kazanın olduğu ilin Çevre ve Şehircilik Müdürlüğüne haber verilmelidir.

Sonuç olarak riskleri kaynağında yok etmek ve riskin meydana gelebileceğini tahmin ederek önceden önlem almayı toplum olarak benimsememiz gerekmektedir. Her gün denetim varmış gibi gerekli koruyucu önlemleri hayata geçirmemiz gerekmektedir. Sadece tehlikeli madde taşıyan araçlar değil diğer insanlarda karayolları kurallarına uymak zorundadır. Bir kişinin yaptığı hata binlerce kişiyi etkisi altına alarak geri dönüşü mümkün olmayan sonuçlar meydana getirebilmektedir.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

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

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder. Makalenin verileri Şenay Yeşilbaş Akman'ın yüksek lisans tezinden sağlanmıştır

## **Kısaltmalar**

**ADR:** Tehlikeli Maddelerin Karayolu ile Taşınması Yönetmeliği

**LPG:** Sıvılaştırılmış Petrol Gazı

**TMGD:** Tehlikeli Madde Güvenlik Danışmanı

**İSG:** İş Sağlığı ve Güvenliği

## **Kaynakça**

- Ashour Ü. Bir akaryakıt ve lpg istasyonu için risk değerlendirmesi ve analizi. İstanbul Rumeli Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 2020, Sayfa 5-25.
- Babaoğlu S., Erdoğan Y., Kök OE. Bir akaryakıt istasyonunun risk analizinin yapılması ve iş güvenliği açısından değerlendirilmesi. Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi 2018, 80-102.
- Birgören B. Fine kinney risk analizi yönteminde risk analizi yönteminde risk faktörlerinin hesaplama zorlukları ve çözüm önerileri. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi 2017; 9(1): 19-25.
- Ceylan H., Başhelvacı VS. Risk değerlendirme tablosu yöntemi ile risk analizi: bir uygulama. International Journal of Engineering Research and Development 2011; 3(2): 25-30.
- Cündübeyoğlu İ., Kayabaşı R. Seramik fabrikasında fine-kinney yöntemi ile risk değerlendirmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 2022; (35): 633-639.
- Erkut E., Ingolfsson A. Transport risk models for hazardous materials: Revisited. Elsevier-Operations Research Letters 2005; (33): 81-89.
- Erkut E., Verter V. Hazardous materials transportation. Handbook in OR & MS 2007, 14.
- Geyik A., Çetinyokuş S. Karayolu tehlikeli madde taşımacılığı kapsamında tünel güvenliği ve risk analizi. Journal of Humanities and Tourism Research 2020; 10(3): 492-510.
- Öztekin A. LNG karayolu taşımacılığında çevresel risk değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 2010, 8-23.
- Pijawka KD., Foote S., Soesilo A., Scanlon RD., Cantilli EJ. Improving transportation of hazardous materials through risk assessment and routing. Technical Report PB-86112471/XAB; TRB/TRR-1020, National Research Council, Washington, DC (USA), Transportation Research Board (1985), 1-6.
- Karabulut S., Öcalır Akünal VE. Karayolu akaryakıt taşımacılığı için coğrafi bilgi sistemi destekli risk analizi: Ege Bölgesi Örneği. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. 2015; 30(3): 351-359.
- Longlong T., Liwei C., Pengcheng L., Chunhua C., Jin W. Integrated risk assessment method for spent fuel road transportation accident under complex environment, Nuclear Engineering and Technology 2021, 393-398.

- Saat MB. İş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirme metodlarından kontrol listesi ve matris metodlarının entegre biçimde bir inşaat şantiyesinde uygulanması. Yüksek Lisan Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü <https://tez.yok.gov.tr>.(Eylül 2019).
- Seber V. İşçi sağlığı ve güvenliğinde risk analizleri nasıl yapılır? Elektrik Mühendisliği 2012; 445, 30-34.
- Şimşek S. İş sağlığı ve güvenliği kapsamında risk değerlendirme metodlarından Fine Kinney metodunun bir örnekle değerlendirilmesi. İSG Akademik-OHS Academic 2020; 2(2): 91-98.
- Uzundağ Ş. Tehlikeli madde taşımacılığında risk analizi yapılarak coğrafi bilgi sistemi ile güzergâh belirlenmesi. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Doktora Tezi, sayfa no:228, Aydın, Türkiye, 2020.
- Yalçınkaya NM., Demirel E., Say N. Tehlikeli maddelerin karayolu ile taşınması sürecinde ortaya çıkan çevresel risklerin hata ağacı analizi (haa) ile değerlendirilmesi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 2020; 8(4): 973-984.
- Yaşa M. Petrol sektöründe risk analizi. Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:123, Edirne, Türkiye, 2010.

## Green Synthesis of Chitosan-Coated Silver Nanoparticles (Ch-AgNPs): Harnessing Nature for Sustainable and Safe Nanomaterial Production

Asli KARA<sup>1\*</sup>, Burcin OZCELIK<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Hitit University, Faculty of Art and Science, Molecular Biology and Genetic Department, 19100, Corum

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-0347-0222>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-0115-4194>

\*Corresponding author: [aslicapli@hitit.edu.tr](mailto:aslicapli@hitit.edu.tr)

### Research Article

#### Article History:

Received: 21.03.2024

Accepted: 04.04.2024

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

Chitosan coated silver nanoparticles

Green synthesis

Antiproliferative activity

Antimicrobial activity

Silver nanoparticles

### ABSTRACT

The production of silver nanoparticles (AgNPs) using green synthesis methods promotes the use of environmentally friendly materials and facilitates a more sustainable production process by reducing environmental impact. In addition, combining the metal nanoparticles with biopolymers are getting important to enhance the safety profiles of formulations to determine the biological activities. With this concept, AgNPs were synthesized by green synthesis method from *Betula* spp. tree branches. In our previous study, silver nanoparticles were synthesized and characterized from tree branches, and in this study, similarly synthesized AgNPs were coated with one of the biopolymers. Herein, Chitosan was used as capping and stabilizing agent. Characterization of the biosynthesized silver nanoparticles (AgNPs) and Chitosan coated silver nanoparticles (Ch-AgNPs) were evaluated with various techniques. Through these analyzes, it was elucidated that the phenolic compounds present in *Betula* extract and Chitosan played dual roles as both reducing and capping agents, facilitating the formation of Ch-AgNPs. Particular size analysis by dynamic light scattering (DLS) and scanning electron microscopy (SEM) indicated that the Ch-AgNPs ranged from 49 to 118 nm in size, with a narrow size distribution. X-Ray Differentiation (XRD) patterns confirmed the high crystallinity of the resulting particles. Fourier transform infrared (FTIR) analysis further supported these findings, revealing the involvement of phenolic compound extracts in both the formation and stabilization of AgNPs. Additionally, FTIR confirmed the surface modification of AgNPs by chitosan. The efficiency of surface modified Ch-AgNPs was compared with uncoated AgNPs for their antimicrobial activity, antiproliferative activity and biocompatibility. Cell culture studies demonstrated that AgNPs were less toxic to L929 cells while maintaining effective cytotoxicity against HT-29 cells. Moreover, surface modification with chitosan enhanced the toxicity of AgNPs against HT-29 cells. Furthermore, the first synthesized and evaluated Ch-AgNPs with this study from *Betula* extract, exhibited potent antimicrobial activity against both Gram-positive and Gram-negative bacteria. Our findings indicate that novel synthesized Ch-AgNPs formula may present a biocompatible and safety approach for further anticancer and antimicrobial studies.

## Kitosan Kaplı Gümüş Nanopartiküllerin (Ch-AgNP'ler) Yeşil Sentezi: Sürdürülebilir ve Güvenli Nanomateryal Üretimi için Doğadan Yararlanım

Araştırma Makalesi

ÖZ

---

**Makale Tarihi:**

Geliş tarihi: 21.03.2024

Kabul tarihi:04.04.2024

Online Yayınlanma: 25.06.2024

---

**Anahtar Kelimeler**

Kitosan kaplı gümüş nanopartiküller

Yeşil sentez

Antiproliferatif etkinlik

Antimikrobiyal etki

Gümüş nanopartiküller

Yeşil sentez yöntemleri kullanılarak gümüş nanopartiküllerin (AgNP'ler) üretimi, çevre dostu malzemelerin kullanımını teşvik etmekte ve çevresel etkiyi azaltarak daha sürdürülebilir bir üretim sürecini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca metal nanopartiküllerin biyopolimerlerle birleştirilmesi, biyolojik aktivitelerin belirlenmesine yönelik formülasyonların güvenlik profillerinin artırılması açısından önem kazanmaktadır. Bu konseptle, AgNP'ler *Betula* spp.'den yeşil sentez yöntemiyle sentezlendi. Daha önceki çalışmamızda ağaç dallarından gümüş nanopartikülleri sentezlenip karakterize edilmişti ve bu çalışmada da benzer şekilde sentezlenen AgNP'ler biyopolimerlerden biri ile kaplandı. Burada kapatma ve stabilizasyon ajanı olarak Kitosan kullanıldı. Biyosentezlenen gümüş nanopartiküllerin (AgNP'ler) ve Kitosan kaplı gümüş nanopartiküllerin (Ch-AgNP'ler) karakterizasyonu çeşitli tekniklerle değerlendirildi. Bu analiz sayesinde, *Betula* ekstraktı ve Kitosan'da bulunan fenolik bileşiklerin, Ch-AgNP'lerin oluşumunu kolaylaştırarak hem indirgeyici hem de kapatıcı ajanlar olarak ikili rol oynadığı açıklandı.

Dinamik ışık saçılımı (DLS) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılan boyut analizi, Ch-AgNP'lerin boyutlarının 49-118 nm arasında değiştiğini ve dar bir boyut dağılımına sahip olduğunu gösterdi. X-Işını Kırınım (XRD) desenleri, elde edilen parçacıkların yüksek kristallikliğini doğruladı. Fourier dönüşümü kızılötesi (FTIR) analizi bu bulguları daha da destekledi ve fenolik bileşik ekstraktlarının AgNP'lerin hem oluşumunda hem de stabilizasyonunda rol oynadığını ortaya çıkardı. Ek olarak FTIR, AgNP'lerin kitosan tarafından yüzey modifikasyonunu doğruladı. Yüzeyi değiştirilmiş Ch-AgNP'lerin etkinliği, antimikrobiyal aktiviteleri, antiproliferatif aktiviteleri ve biyoyuymulukları açısından kaplanmamış AgNP'lerle karşılaştırıldı. Hücre kültürü çalışmaları, AgNP'lerin L929 hücreleri için daha az toksik olduğunu ve HT-29 hücrelerine karşı etkili sitotoksitesiyi koruduğunu gösterdi. Ayrıca, kitosan ile yüzeyi modifiye AgNP'lerin HT-29 hücrelerine karşı toksisitesini artırmıştır. Ayrıca, bu çalışmayla *Betula* ekstraktından sentezlenen ve değerlendirilen ilk Ch-AgNP'ler, hem Gram-pozitif hem de Gram-negatif bakterilere karşı güçlü antimikrobiyal aktivite sergiledi. Bulgularımız, yeni sentezlenen Ch-AgNP formülünün ilerideki antikanser ve antimikrobiyal çalışmalar için biyoyumlu ve güvenli bir yaklaşım sunabileceğini göstermektedir.

---

**To Cite:** Kara A., Ozcelik B. Green Synthesis of Chitosan-Coated Silver Nanoparticles (Ch-AgNPs): Harnessing Nature for Sustainable and Safe Nanomaterial Production. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(3): 1319-1341.

## 1. Introduction

Nanotechnology has emerged as a transformative field with profound implications for the diagnosis, treatment, and management of various diseases, including cancer and infectious diseases. The ability to manipulate materials at the nanoscale enables the development of innovative therapeutic strategies that leverage unique physical, chemical, and biological properties. Nanotechnology offers promising solutions to address key challenges, including drug resistance, limited efficacy, and off-target effects associated with conventional therapies (Ho et al., 2017; Malik et al., 2023). Silver nanoparticles are significant promising agents in the treatment of cancer and infectious diseases with their activity in disrupting microbial cell membranes and inhibiting the growth of bacteria, viruses and fungi. Since they are low-cost, scalable and biocompatible, especially with green synthesis methods, their use in biomedical applications for drug delivery, diagnosis and treatment makes them ideal carrier system candidates (Mikhailova 2020; Hou et al., 2023; Takáč et al., 2023). Additionally, AgNPs can be engineered for targeted drug delivery, enhancing the efficacy of conventional therapies while minimizing adverse effects on healthy cells. Their diagnostic capabilities enable early disease detection



and monitoring of treatment response, contributing to improved patient outcomes. Furthermore, AgNPs exhibit theranostic potential, integrating therapy and diagnostics into a single platform (Burduşel et al. 2018). Advances in nanoparticle synthesis have led to formulations with improved biocompatibility and biodegradability, addressing concerns about toxicity and long-term accumulation. Continued researches and developments in this field are crucial for realizing the full therapeutic potential of AgNPs and translating them into clinical practice. Among the methods of synthesizing AgNPs, green synthesis is considered particularly important due to its sustainability, environmentally friendly, and potential for biomedical applications. Unlike conventional chemical synthesis methods, which often involve the use of toxic chemicals and solvents, green synthesis utilizes natural, non-toxic, and renewable resources such as plant extracts, microbial agents, or biocompatible polymers. This approach not only reduces the environmental footprint associated with nanoparticle production but also eliminates the generation of hazardous by-products. Furthermore, green synthesis methods are typically cost-effective, energy-efficient, and scalable, making them suitable for large-scale production. The use of biologically synthesized AgNPs in medical fields has indeed shown promise, particularly in areas such as wound healing, antibacterial coatings, and drug delivery systems (Rautela et al., 2019; Asif et al., 2022; Giri et al., 2022). However, concerns about their potential cytotoxic effects have tempered widespread adoption. AgNPs can exert cytotoxic effects on various cell types, including human cells, through mechanisms such as oxidative stress, DNA damage, and disruption of cellular processes. While these effects can be beneficial in targeting pathogens or cancer cells, they also raise concerns about potential harm to healthy cells (Akter et al., 2017; Liao et al., 2019). Surface modifications, such as coating AgNPs with biocompatible materials or functionalizing them with targeting ligands, can enhance their biocompatibility and specificity. Coating enhances the stability of AgNPs, preventing aggregation and preserving their unique properties, which is vital for maintaining their efficacy over time. Moreover, coating allows for controlled release of encapsulated substances, enabling precise delivery of therapeutic agents for targeted treatments. Additionally, functionalization of the coating enables customization, facilitating attachment of targeting ligands or other molecules for specific applications such as targeted drug delivery or diagnostic imaging. It is essential to coat with biocompatible materials to ensure the safety of AgNPs in biological environments, mitigating potential cytotoxicity and facilitating their interaction with biological systems. Biocompatible shell acts as a protective barrier, minimizing direct contact between the silver core and living tissues or cells (Jeon and Baek, 2010; Abedin et al., 2018; Zentel, 2020; Komsthöft et al., 2022). The coating of AgNPs can indeed significantly alter their properties, and these changes are influenced by both the type of coating material and the thickness of the coating layer. Chitosan, a biopolymer derived from chitin, has attracted significant attention in biomedical applications owing to its biocompatibility, biodegradability, and versatile chemical properties (Jimenez-Gomez and Cecilia, 2020; Desai et al., 2023). The conjugation of chitosan with AgNPs not only enhances their stability and dispersibility but also augments their therapeutic potential, making them promising candidates for combating microbial infections and cancer. Chitosan's mucoadhesive properties enable

targeted drug delivery to mucosal tissues, and its pH responsiveness allows for controlled release of therapeutics. Additionally, its film-forming ability makes it particularly well-suited for applications requiring thin protective coatings. Moreover, chitosan's ease of modification facilitates the incorporation of additional functionalities into AgNP-chitosan composites (Di Martino et al., 2017; Maslamani et al., 2022; Wang et al., 2022; Farhadi et al., 2022). In our previous report, silver nanoparticles were synthesized from *Betula* tree branched extracts by green synthesized method and characterized for their nanoparticulate features (Özcelik and Kara, 2023). In this study, it was aimed to synthesize Ch-silver nanoparticles using a green approach, employing *Betula* extract as the reducing and capping agent. The fabricated nanoparticles were characterized comprehensively using various analytical techniques to elucidate their physicochemical properties. Furthermore, the anticancer efficacy and antimicrobial activity of the synthesized nanoparticles were evaluated *in vitro*, aiming to elucidate their potential as dual-function therapeutic agents. This research represents a step towards the development of sustainable and effective nanotherapeutics for combating microbial infections and cancer, addressing critical challenges in healthcare and biomedicine.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Materials

Silver nitrate ( $\text{AgNO}_3$ ), low molecular weight chitosan (deacetylation degree 75–85%), acetic acid glacial ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ , 99%), ethanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ , 99%) Muller Hilton Broth, 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT), and dimethyl sulfoxide (DMSO) were supplied from Sigma-Aldrich (St Louis, MO, USA). Dulbecco's Modified Eagle's Medium (DMEM) high glucose, and pyruvate were purchased from Gibco (Waltham, MA, USA). *Escherichia coli* (ATCC 25922), *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853), gram-positive bacteria, *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Enterococcus faecalis* (ATCC 29212) and a yeast, *Candida albicans* (ATCC 10231) strains were acquired for antimicrobial research. Human Caucasian colon adenocarcinoma cell line HT29 (ATCC HTB-38) and L929 mouse fibroblast cell line was purchased from ATCC Cell Bank (USA) to determine antiproliferative activity and biocompatibility of AgNPs and Chitosan coated-AgNPs (Ch-AgNPs) formulations. All chemicals were of analytical purity.

### 2.2. Methods

#### 2.2.1. Preparation of plant extracts

The extraction of plant branches was performed according to our previous study as indicated below (Özcelik and Kara, 2023). Branches of *Betula* plant which were sourced from Van province, Türkiye as reported before, underwent purification by washing twice with distilled water and were then air-dried at room temperature in the shade. Following drying, the branches were finely ground using an electric grinder and weighed. Subsequently, 25 g of the dried ground samples were blended with 10 times the liquid volume of purified water.

The extraction procedure was carried out using a Soxhlet device at 80°C for a duration of 8 h. Following extraction, the resulting solution underwent filtration using Whatman No. 1 filter paper. It was then carefully stored at a temperature of 4°C to facilitate future investigation and analysis (Hradilova et al., 2018). All procedures were conducted in duplicate.

### 2.2.2. Green Synthesis of silver nanoparticles (AgNPs)

Silver nanoparticles were prepared from plant branches according to our optimized conditions as previously mentioned in literature (Deveraj et al., 2013; Ozcelik and Kara, 2023). Herein, silver nitrate (AgNO<sub>3</sub>) was used as an initiator to get AgNPs. Based on this, AgNO<sub>3</sub> solution was prepared in 3mM concentration and incubated with plant branches extracts as a bio reductor in the ratio 1:10 for 4 h at 80 °C.

The validation of the synthesis of silver nanoparticles was confirmed by observing noticeable changes in the color of the solution. Subsequently, to purify the nanoparticles, centrifugation was conducted at a speed of 13500 rotations per minute for a duration of 20 minutes (Sigma 3-30KS, Germany) and replicated twice to ensure removal of any residual silver ions. After centrifugation, the supernatant was delicately decanted, and the ensuing pellet was left to air dry overnight in an incubator, resulting in the formation of a powdered substance. This entire process was conducted twice to validate the experimental results.

### 2.2.3. Preparation of chitosan coated AgNPs

AgNPs previously synthesized by reduction with *Betula* extract served as the initial material for the coating process. Low molecular weight chitosan ( $\geq 75\%$  degree of deacetylation) was used to coat AgNPs. The coating process for the AgNPs with chitosan was adapted from a previously documented protocol with minor adjustments (Raza et al., 2021). Briefly, 15 mg/ml chitosan solution in % 1 glacial acetic acid was prepared and then filtered through 0.22  $\mu\text{m}$  sized syringe filtre to remove insoluble particles. 5 mL of AgNPs solution was added dropwise to the freshly prepared chitosan solution under constant stirring (1000 rpm) and incubated at the dark for 4 h. The resulting mixture was heated by microwave at 650 W for 90 seconds with 30-second intervals to facilitate the interaction between chitosan and AgNPs. After microwave treatment, the suspension containing the fabricated nanocomposite system was then centrifuged at 14.000 rpm for 20 min at 4 °C. The obtained pellets were washed three times with deionized water to eliminate any unbound residues. The Ch-AgNPs were lyophilized and kept at 4 °C for subsequent characterization. The influence of different volume ratio of chitosan solution: AgNPs suspension on the physicochemical properties of the resulting nanoformulation was evaluated.

#### 2.2.4. Characterization of AgNPs and Ch-AgNPs

Uncoated and chitosan-coated AgNPs were characterized by various methods. UV-Vis spectroscopy was employed to characterize the silver nanoparticles synthesized through green methods with their spectra measured across the 200-800 nm range via an UV-visible spectrophotometer (Rayto, RT, 2100C, China). The particular features (e.g. size, zeta potential and polydispersity index) of silver nanoparticles and chitosan coated forms were evaluated via dynamic light scattering method. Each data collection was conducted at 25°C, with fresh sample preparations made for every analysis. The experimental procedure was replicated three times to ensure the robustness of the results. The morphological characterizations of AgNPs and Ch-AgNPs were evaluated by Scanning Electron Microscopy (SEM) (FEI / Quanta 450 FEG, Japan). Subsequently, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) (Thermo Scientific / Nicolet IS50, China) was used to determine the nature of functional groups both before and after the application of chitosan coating. The measurements were conducted within the spectral range from 400 to 4000  $\text{cm}^{-1}$  was examined using the KBr pellet method with a resolution of 4  $\text{cm}^{-1}$ . Also, silver nanoparticles and chitosan-coated silver nanoparticles were characterized by X-Ray Diffraction (XRD) (Rigaku DMAX 2200) method to determine the crystal structural of both formulations to verify the coating has occurred.

#### 2.2.5. Determining antiproliferative activity of NPs and Ch-AgNPs

Uncoated and Ch-AgNPs were evaluated for their antiproliferative activity on HT29 colorectal cancer cell line by (3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide) (MTT) assay (Saeidi et al., 2020). Cells were seeded at a density of  $1 \times 10^4$  cells/well in 96-well plates and were cultured in DMEM medium supplemented with 10% FBS and 1% pen-strept solution at 37°C in 5%  $\text{CO}_2$ . The medium was refreshed upon cells reaching 70-80% confluency within 48 hours. The cells were sub-cultivated with trypsin-EDTA solution (0.05%) after confluency. Then cells were subjected to overnight serum starvation before exposure to formulations. Subsequently, the cell culture medium was substituted with the medium was enriched with serum (100  $\mu\text{L}$ ), and treated with varying concentrations of AgNPs and Ch-AgNPs (20–100  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) dispersed in serum-free medium for 24 and 48 hours. After the designated incubation duration, 25  $\mu\text{L}$  MTT (5  $\text{mg}/\text{mL}$ ) was added to each well and incubated at 37°C with 5%  $\text{CO}_2$  for 4 hours. Subsequently, the culture medium was aspirated, and 200  $\mu\text{L}$  of DMSO was added to dissolve the formazan crystals. Absorbance was measured at 570 nm using a plate reader, and results were normalized to non-treated cells as following the viability (%) was determined by calculating the absorbance percentage relative to that of the untreated cells. The absorbance of non-treated cells was accepted as 100 %, the absorbance of treated cells was calculated according to the non-treated cell values. The experimental procedure was performed in triplicate to ensure data reliability. The experimental procedure was conducted in triplicate.

### 2.2.6. Determining biocompatibility of AgNPs and Ch-AgNPs

To determine the biocompatibility of AgNPs and Chitosan-coated AgNPs formulations, L929 cells was used. As indicated in antiproliferative activity studies, cells were added to each well of 96-well plates for growing and treated with varying concentrations of AgNPs and Ch-AgNPs (20–100 µg/mL) dispersed in serum-free medium for 24 and 48 h. Following incubation, 25 µL of MTT solution (5 mg/mL) was introduced to each well and allowed to incubate for 4 h. Afterward, 200 µL of DMSO was added to dissolve the resulting formazan crystals, and absorbance measurements were conducted using a microplate spectrophotometer set at 570 nm. The experimental procedure was conducted in triplicate.

### 2.2.7. Antimicrobial activity of AgNPs and Ch- AgNPs

The antimicrobial activity of silver nanoparticles (AgNPs) and chitosan-coated silver nanoparticles (Ch-AgNPs) were assessed using a panel of microorganisms including gram-negative bacteria *Escherichia coli* (ATCC 25922) and *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853), gram-positive bacteria *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) and *Enterococcus faecalis* (ATCC 29212), as well as the yeast *Candida albicans* (ATCC 10231). The Kirby–Bauer Disk method was employed for this evaluation, following the protocol previously described (Ozcelik and Kara, 2023). In brief, bacterial and fungal suspensions were prepared at a concentration of  $10^6$  colony-forming units (cfu) per spot and inoculated onto Mueller–Hinton Agar (MHA) and Sabouraud Dextrose Agar, respectively. 147 µL and 196 µL of silver nanoparticle stock solution were added to impregnate 15 µg and 20 µg silver nanoparticles to the discs, respectively. Positive controls, including gentamicin for bacteria and fluconazole for fungi, were used, while negative controls comprise disks applied with sterile medium. The plates were incubated at 37 °C for 48 h. Following the incubation period, the dimensions of the zones of inhibition measured (as mm) to assess the antibacterial and antifungal activities of AgNPs and Ch-AgNPs against the tested microorganisms. Three replicates of the experiments were performed to ensure the reliability of the results.

### 2.2.8. Minimal inhibitory concentration (MIC) of AgNPs and Ch-AgNPs to test microorganisms

The microdilution technique serves as a broadly recognized and sensitive approach to systematically assess the antimicrobial properties and determine the Minimum Inhibitory Concentration (MIC) values. As described previously, the minimum inhibitory concentration values of AgNPs and Ch-AgNPs to the selected test microorganisms were determined through the broth microdilution technique (Ozcelik and Kara, 2023). The test microorganisms were prepared at a concentration of  $1 \times 10^4$  colony-forming units per milliliter (CFU/mL) and incubated with AgNPs and Ch-AgNPs, which were diluted in Mueller-Hinton Broth (MHB) to achieve varying amount spanning from 0.046 to 60 µg/mL. Non-treated neither AgNPs nor Ch-AgNPs were included as controls. The micro-well plates containing the microbial suspensions and nanoparticles were then incubated at  $37 \pm 1^\circ\text{C}$  for 24 h. Following incubation, the MIC was determined as the lowest concentration of AgNPs or Ch-AgNPs at which no visible microbial

growth was observed. This concentration was identified by visual inspection, with the first well showing no visible growth considered as the MIC. The MIC values were expressed in micrograms per milliliter ( $\mu\text{g/mL}$ ). All tests were performed in triplicate to ensure accuracy and reproducibility of the results.

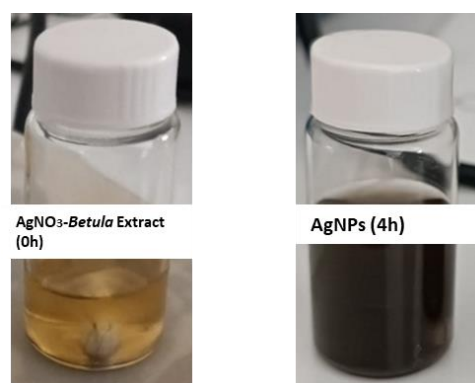
### 2.2.9. Statistical analysis

All data are presented as mean  $\pm$  standard deviation (SD) in triplicates. The statistical significance was determined using SPSS software. All results of formulations were statistically evaluated using two-way ANOVA ( $*p < 0,05$ ) to identify the significance.

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Characterization of AgNPs and Ch-AgNPs

Green synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) was carried out with interaction a precursor  $\text{AgNO}_3$  with *Betula* branch extract which is reducing agents with it is biological active content (Saxena et al., 2013). This reaction is based on the formation of silver nanoparticles by reducing silver ions ( $\text{Ag}^+$ ) into neutral silver ( $\text{Ag}^0$ ) aggregates in the presence of a reducing agent. Plants as a reducing agent contains some biomolecules as flavonoid, enzyme, alkaloids, terpenes, phenols, polysaccharides, tannis (Wulandari et al, 2022). So that, this biological synthesis route offers advantages, thus enabling a reduction in the use of harmful toxic substances. Initially, confirmation of silver nanoparticle formation was achieved through the observation of a distinct color change in the solution, typically indicative of a chemical reaction taking place. In our previous study, we have determined the optimum AgNPs synthesis parameters in terms of  $\text{AgNO}_3$  concentrations and ratio to *Betula* extract, reaction time and temperature (Ozcelik and Kara, 2023). Therefore, in this study AgNPs were synthesized by mixing 3 mM  $\text{AgNO}_3$  solution with *Betula* branches extract in a 1:10 ratio at 80 °C. As shown in Figure 1. the color of  $\text{AgNO}_3$  solution was changed from yellow to brownish dark yellow within 4h. This color changes indicated the reduction of  $\text{Ag}^+$  to neutral  $\text{Ag}^0$  which AgNPs were synthesized (Azizi et al., 2013; Jalab et al., 2021).



**Figure 1.** The color change of silver nitrate solution after incubating the *Betula* extract within 4 h of incubation at 80 °C.

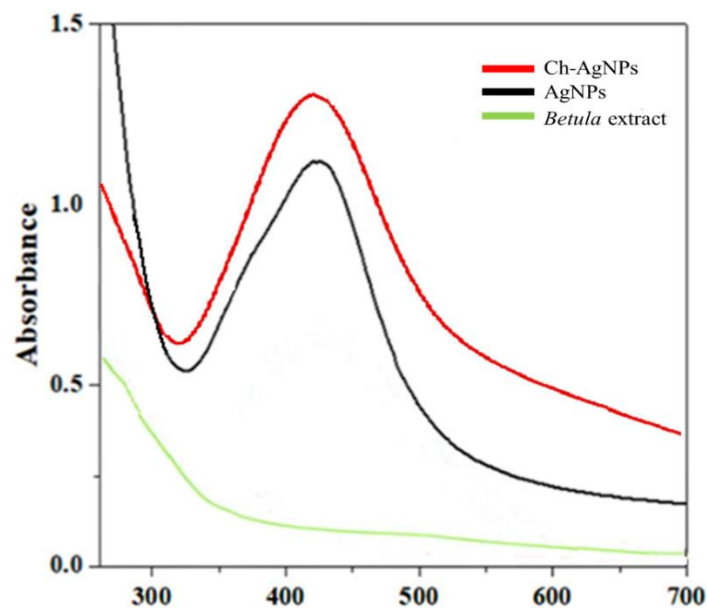
In this study, AgNPs were synthesized through a reduction process facilitated by the properties of the plant extract. Subsequently, a coating process was employed to coat the AgNPs with low molecular weight chitosan, forming a nanocomposite material. The resulting AgNPs and Ch-AgNPs were further confirmed using UV-Vis spectrophotometer, FTIR, XRD and characterized in terms of physicochemical parameters by DLS and SEM. Additionally, the study evaluated the influence of the chitosan solution to AgNPs solution ratio on the properties of the Ch-AgNPs. By varying the ratio of chitosan solution to AgNPs solution, it was examined how this parameter affected the characteristics and performance of the resulting Ch-AgNPs. This investigation aimed to elucidate the optimal ratio that would yield desired properties such as particle size, stability, and zeta potential, providing valuable insights into the formulation and optimization of Ch-AgNP nanocomposites for potential medical applications. Table 1 showed the physicochemical properties of both AgNPs and Ch-AgNPs. The results provide significant insight that upon chitosan coating, there was an increase in the mean particle size of the AgNPs, suggesting that the chitosan layer added thickness to the nanoparticles. Additionally, the polydispersity index (PDI) decreased in the Ch-AgNPs compared to the uncoated counterparts. This decrease in PDI indicates a reduction in the heterogeneity of particle size distribution, signifying enhanced uniformity and stability conferred by the chitosan coating. Indeed, the study revealed distinct outcomes based on the ratio of chitosan solution to AgNPs solution. When equal volumes of chitosan solution and AgNPs solution were utilized, a larger PDI was observed. This suggests a wider range of particle sizes and increased heterogeneity in the resulting nanocomposite. Conversely, when the chitosan solution volume was three times that of the AgNPs solution, larger particles were formed, indicating possible aggregation or clustering of nanoparticles. However, the optimal ratio was found when the chitosan solution volume was twice that of the AgNPs solution, resulting in desirable characteristics. These findings underscore the importance of the chitosan to AgNPs solution ratio in controlling the properties of the resulting nanocomposite, offering valuable insights for the design and optimization of Ch-AgNPs for medical applications. Indeed, the chitosan coating resulted in a positive zeta potential of the nanoparticles, which also further validated the successful coating of the chitosan on the surface of the AgNPs. This positive zeta potential is a characteristic feature of chitosan, which is a positively charged polysaccharide due to the presence of amino groups in its structure. This positive charge can enhance the stability of the nanoparticles in suspension by electrostatic repulsion between particles, preventing agglomeration or sedimentation. Additionally, the positively charged surface of Ch-AgNPs may facilitate interactions with negatively charged molecules or surfaces, enabling various applications such as drug delivery and antimicrobial activity. The results were consistent with those reported in prior studies by Raza et al., 2021 and Constantin et al., 2022. Ch-AgNPs prepared according to AgNPs:chitosan solution ratio (1:2) were selected as an optimum formulation for further studies.

**Table 1.** Physicochemical properties of AgNPs and Ch-coated AgNPs. The data were presented as the mean  $\pm$  standard error of the mean (SEM) values derived from three independent batches.

<b>Formulations</b>	<b>AgNPs:CS solution ratio (v/v)</b>	<b>Mean particle size (nm)</b>	<b>Polydispersity index</b>	<b>Zeta potential (mV)</b>
<b>AgNPs</b>	-	106.4 $\pm$ 3.1	0.26 $\pm$ 0.02	-21.5 $\pm$ 4.8
<b>Ch-AgNPs</b>	1:1	113.5 $\pm$ 2.7	0.28 $\pm$ 0.01	+26.2 $\pm$ 3.5
<b>Ch-AgNPs</b>	1:2	118.2 $\pm$ 1.6	0.21 $\pm$ 0.01	+27.3 $\pm$ 4.7
<b>Ch-AgNPs</b>	1:3	145.4 $\pm$ 1.8	0.24 $\pm$ 0.03	+29.5 $\pm$ 6.3

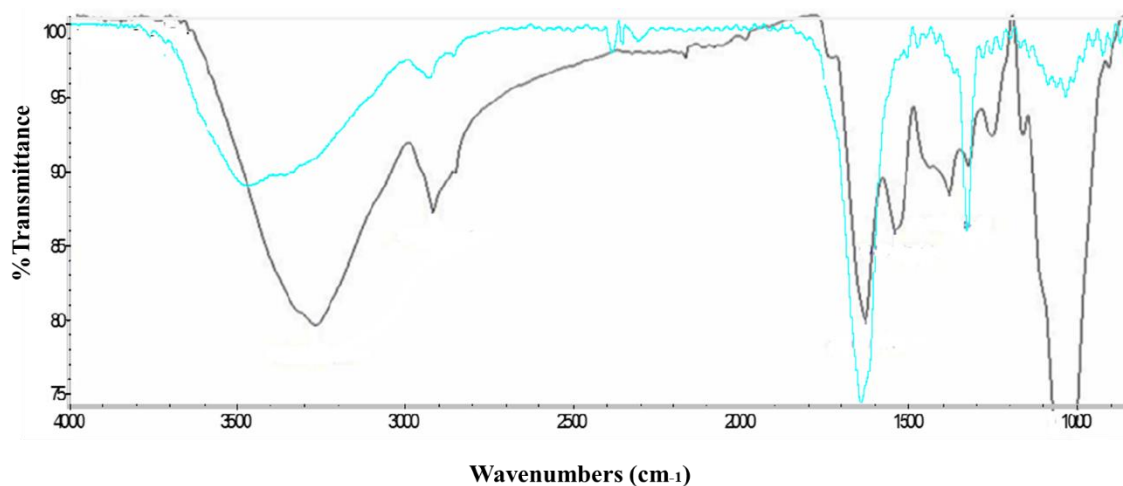
The synthesis of AgNPs and Ch-AgNPs was confirmed through UV–Vis spectroscopy method by comparing the particular absorbance peaks of formulations in the range of 200-800 nm. As indicated in our previous study, despite the absence of discernible absorbance peaks in the UV-Vis spectrum of the *Betula* plant branches extract, the AgNPs exhibited a maximum absorbance peak at 425 nm (Ozcelik and Kara, 2013). In current study, UV-Vis spectrum of Ch-AgNPs was evaluated to determine the surface plasmon resonance (SPR) band of AgNPs. As shown in Figure 2 Ch-AgNPs showed mainly single sharp peak at also 425 nm demonstrated that the AgNPs were synthesized successfully as reported in literatures (Cinteza et al., 2018; Huq et al., 2022; Farhadi et al., 2022). This observed characteristic higher and sharp peak for Ch-AgNPs indicating that the biopolymer chitosan stabilized the AgNPs with a narrow distribution efficiently and this result also supported by our particle size and polydispersity index analysis. It is reported also in previous studies that absorption peaks of silver nanoparticles and coated forms are associated with morphology, size, shape and distribution nanoparticles (Imran et al., 2020; Shinde et al., 2021).





**Figure 2.** UV–Vis absorption spectra of *Betula* plan extract, AgNPs and Ch-AgNPs

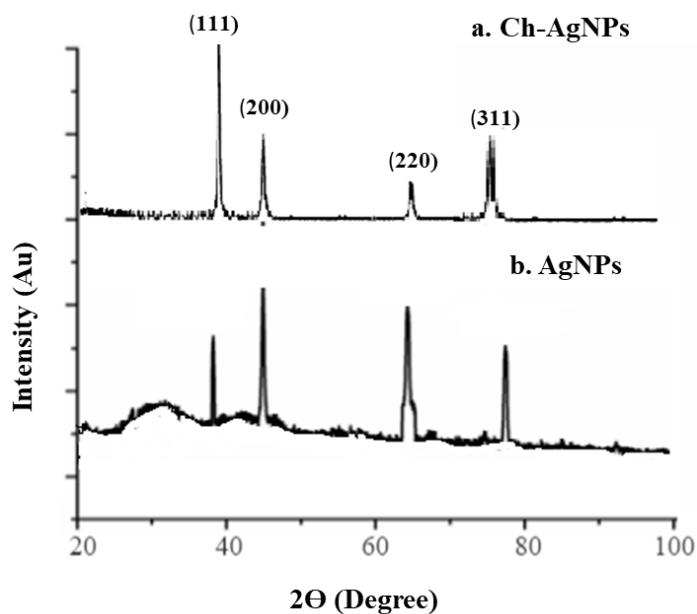
The reduction of silver ions to AgNP is attributed to the presence of functional groups especially (-OH) within the phytochemicals as Tannins of *Betula* plant extracts. Therefore, Fourier transform infrared Spectroscopy (FT-IR) analysis of AgNPs and Ch-AgNPs was conducted to verify the molecular interaction between the coated and uncoated AgNPs by determining the status of the functional groups. In our previous study, we revealed the formation of AgNPs comparing with FT-IR spectral peaks of plant extract (Ozcelik and Kara, 2023). As indicated previously, observed main AgNPs absorption peaks revealed the formation of AgNPs which is consistent with literature (Mallikarjuna et al., 2011). Also, the absence of peaks corresponding to functional groups in *Betula* extract confirmed this result. In current study, FT-IR spectrums of AgNPs and Ch-AgNPs were evaluated to determine whether the capping of chitosan to the surface of AgNPs has been occurred successfully. As seen in Figure 3 the main FT-IR spectral peaks were observed at 3489, 2902, 1654 and 1004  $\text{cm}^{-1}$  for AgNPs (blue line) which showed similar peak models with Ch-AgNPs as 3301, 1618, 1504, 1364 and 1003  $\text{cm}^{-1}$  for Ch-AgNPs (black line). The FT-IR analysis revealed the presence of specific several functional amino groups peaks in Ch-AgNPs which introduced as capping agents as indicated in literatures (Shinde et al., 2021; Kalaivani et al., 2018; Rathod et al., 2016). As seen in Figure 3 the characteristic peak at 3489  $\text{cm}^{-1}$  in AgNPs showed low density when compared with Ch-AgNPs suggesting stretching vibrations of O-H or N-H groups. The similar peak for Ch-AgNPs at 3301  $\text{cm}^{-1}$  indicating an increased presence of O-H groups, while the involvement of N-H groups in binding to the silver metal is implied. Also, the peak of amide II band at 1504  $\text{cm}^{-1}$  presents that all the O-H and N-H functional groups both demonstrate a significant affinity for silver ions.



**Figure 3.** FTIR spectrum of AgNPs (Blue line) and Ch-AgNPs (Black line)

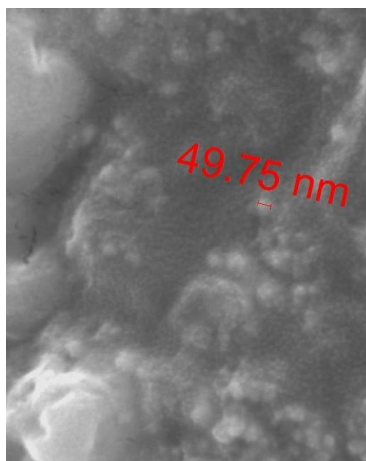
Nate et al. reported also similar results to ours that the existence of these functional groups on the surface of the synthesized silver nanoparticles, coupled with the disappearance of the  $\text{NH}_2$  double peak, suggests the successful encapsulation of the nanoparticles by the polymer (Nate et al, 2018). The FT-IR spectrum findings demonstrated that the reduction was occurred, chitosan capped the surface of AgNPs and these identified amino groups play a crucial role in interacting with the metal surface, serving as sites for the stabilization of AgNPs (Shinde et al., 2021; Kalaivani et al., 2018; Rathod et al., 2016).

The crystal structure of AgNPs and Ch-AgNPs was characterized by X-Ray Diffraction (XRD) analysis. According to XRD patterns, AgNPs showed four main characteristic peaks at  $38,22^\circ$ ,  $44,38^\circ$ ,  $64^\circ$  and  $77,8^\circ$  at 10 to 100  $2\theta$  degree which is point out (111), (200), (220) and (311) respectively. These values showed similarity with literature that silver nanoparticles have cubic spherical structure with silver-centered crystalline which was confirmed by TEM images (Govindan et al., 2012; Panja et al., 2016). As seen in Figure 4 AgNPs and Ch-AgNPs showed very similar XRD patterns that is far from impurities as reported in literatures. Our results showed similarity with previous reports that high similarity XRD patterns of AgNPs and Ch-AgNPs suggest that the silver nanoparticles remain stable by unchanging the crystal structure following the coating with chitosan (Ateş et al., 2021; Jyoti et al., 2016).



**Figure 4.** XRD Spectrum of a. Ch-AgNPs and b. AgNPs

The morphological characterization of Ch-AgNPs was performed using SEM. SEM analysis of the Ch-AgNPs provided complementary insights not only into their morphology but also into size distribution. SEM analysis confirmed that Ch-AgNPs have sizes between  $49.75 \pm 1.7$  and  $70.0 \pm 5.6$  nm in dried state. It was observed that the mean particle size obtained from SEM analysis was smaller than the results obtained from DLS. This discrepancy between the two techniques is frequently observed and can be attributed to inherent differences in measurement principles and methodologies. SEM analysis typically measures the size of the dry particles on a solid substrate, which may lead to particle shrinkage and underestimation of the actual particle size compared to DLS which measures the hydrodynamic size of particles in solution based on their Brownian motion (Souza et al., 2016). The SEM analysis also revealed that the Ch-AgNPs exhibited a spherical shape (Figure 5). This observation indicates that the chitosan coating did not significantly alter the overall morphology of the nanoparticles, which retained their characteristic spherical structure. The spherical shape of the nanoparticles is consistent with typical AgNP morphology and is often desired for various applications due to its uniformity and high surface-to-volume ratio. The preservation of spherical morphology after chitosan coating suggests that the chitosan layer formed a conformal coating around the nanoparticles without causing significant distortion or aggregation. This is important as it ensures the structural integrity and stability of the Ch-AgNPs, which are crucial for their performance in applications such as drug delivery.

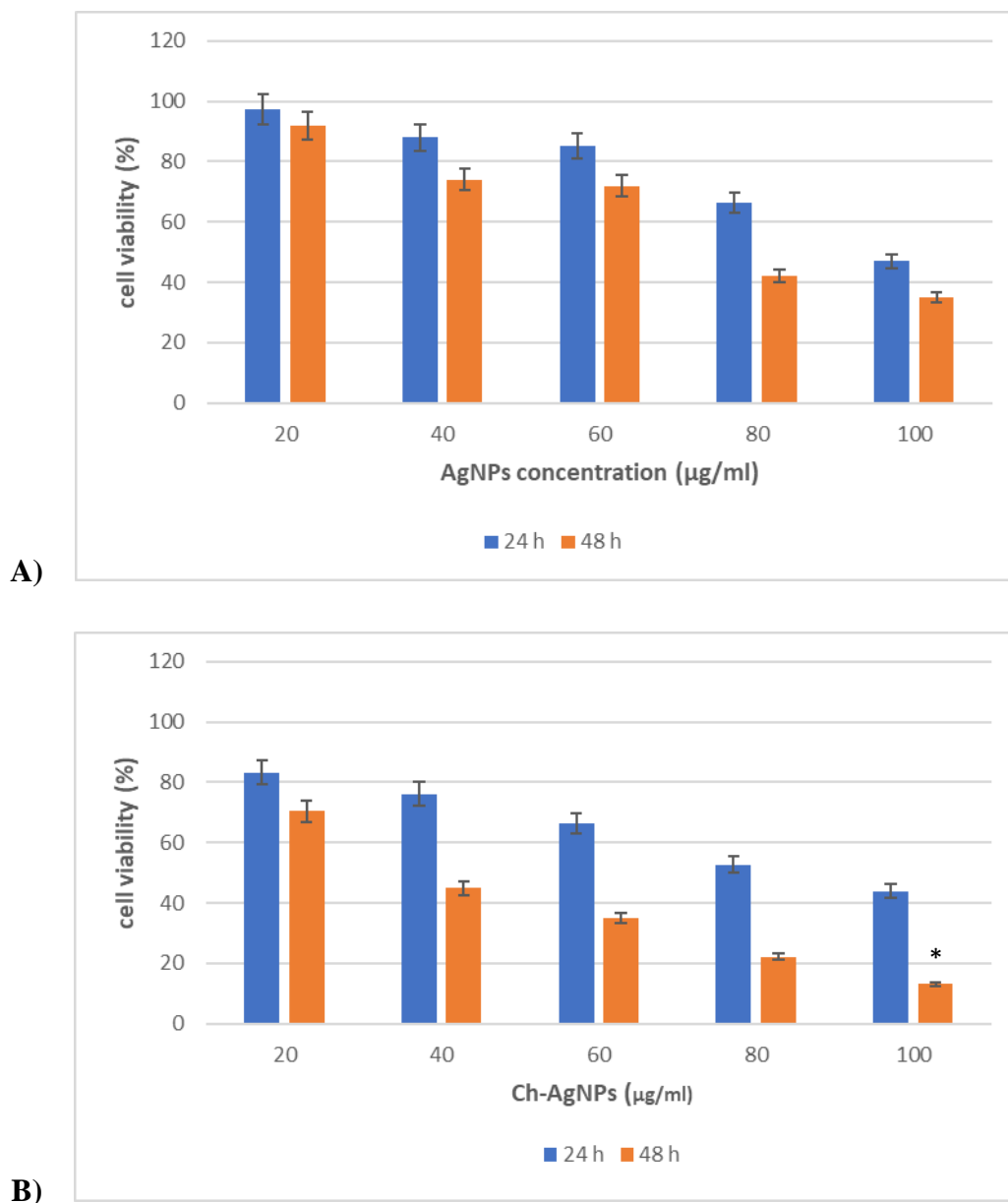


**Figure 5.** Scanning electron microphotographs of Ch-AgNPs

### 3.2. Antiproliferative activity of AgNPs and Ch-AgNPs against HT-29 CRC cell line

Polymer-based surface modification is a widely employed strategy aimed at enhancing various aspects of drug delivery systems. By modifying the surface of drug carriers, such as nanoparticles or microparticles, with polymers, several beneficial properties can be achieved, including improved penetration capability, controlled drug release, drug targeting to specific sites, and increased drug payload capacity. For this reason, following the characterization analyses, antiproliferative activity of nanoparticles against HT-29 CRC cells were evaluated. To conduct this assessment, HT-29 CRC cells were treated with both AgNPs and Ch-AgNPs at various concentrations for 24 h and 48 h. Cell viability was then measured using MTT assay which assess metabolic activity and cell viability based on the conversion of colorimetric substrates by viable cells and the half-maximal inhibitory concentrations ( $IC_{50}$ ) were determined for nanoparticles. The Figure 6A and B demonstrated that increasing concentrations of both AgNPs and Ch-AgNPs resulted in progressively lower cell viability in HT-29 CRC cells. The results also indicated the cell viability of HT-29 cells following 24 and 48 h of incubation both with AgNPs and Ch-AgNPs. It was evident from the results that the toxicity of the nanoformulations increased over time. The half-maximal inhibitory concentration of AgNPs and Ch-AgNPs was determined to be 65.77  $\mu\text{g/mL}$  and 42.3  $\mu\text{g/mL}$ , respectively, following 48 h of treatment. Coating AgNPs with chitosan increases their interaction with negatively charged cell membranes due to the positive charge of chitosan, resulting in increased cellular uptake (Alomrani et al., 2019). Therefore, Ch-AgNPs showed a higher cytotoxic effect on the HT-29 cell line than AgNPs. Our findings are consistent with a prior investigation examining the *in vitro* cytotoxic effects of Ch-AgNPs against MCF-7 human breast cancer cells. The results showing a 64% inhibition of cell proliferation at a concentration of 100  $\mu\text{g/mL}$  highlight the substantial cytotoxic effect of Ch-AgNPs against MCF-7 cells (Parthasarathy et al., 2020). In another study, nanostructured lipid carriers (NLCs) coated with chitosan were assessed for their impact on cell viability. The results showed that both coated NLCs and uncoated NLCs led to a significant decrease in cell viability. However, the reduction in cell viability was more pronounced for

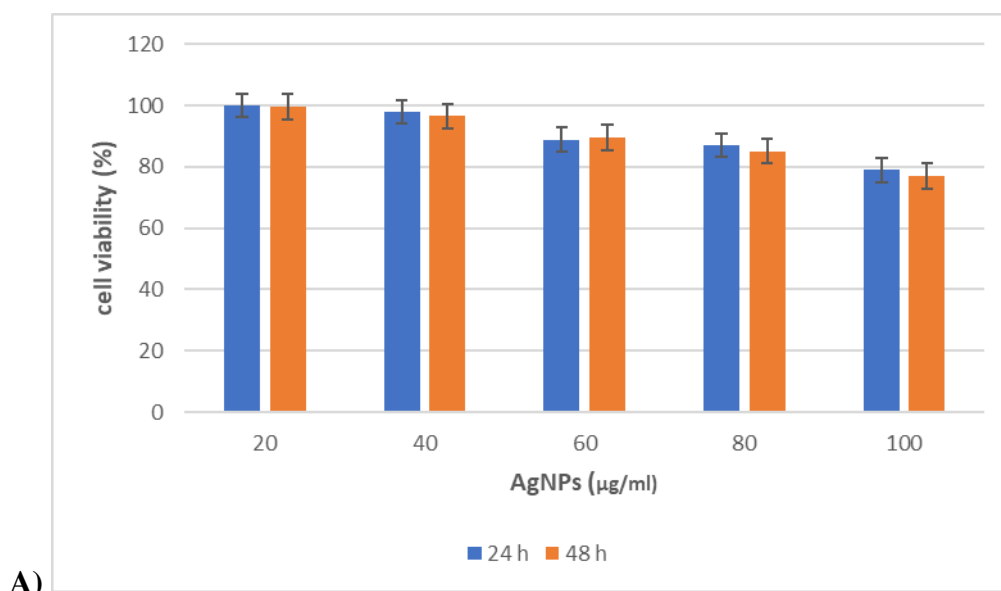
coated NLCs, with a 70% decrease observed, compared to a 50% decrease for non-coated NLCs (Almeida et al., 2022). As seen in Figure 6A the results did not show significant differences which obtained for AgNPs even both time point. But Chitosan-Silver nanoparticles at maximum concentration showed significant differences between 24h and 48 h (\* $p < 0,05$ ).

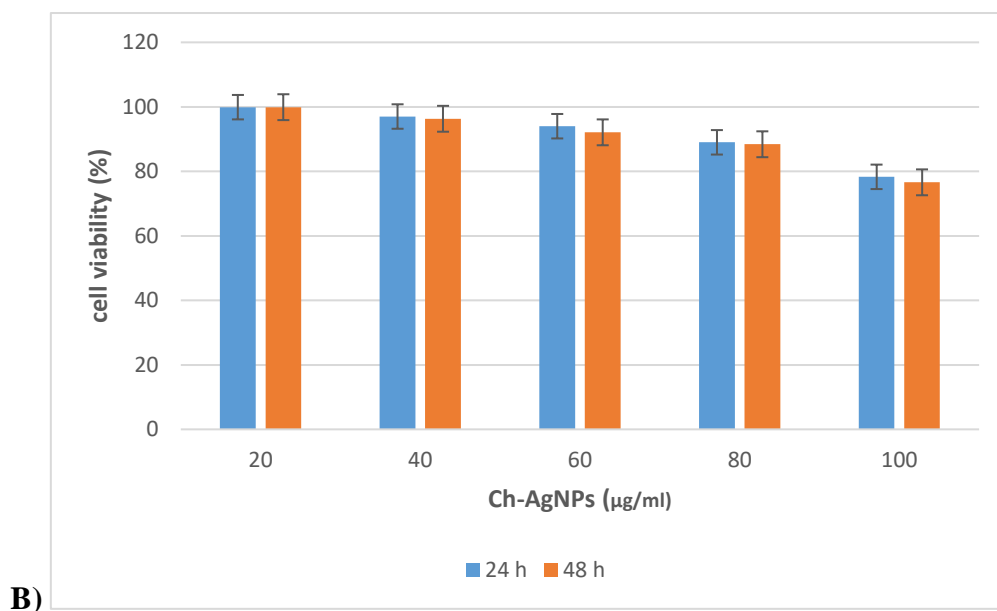


**Figure 6.** Analysis of the percentage of cell viability in HT-29 cells post-treatment with varying concentrations of both **A)** AgNPs and **B)** Ch-AgNPs.

### 3.3. Biocompatibility of AgNPs and Ch-AgNPs

The analysis of cell viability in L929 cells following 24 and 48 h of incubation with AgNPs and Ch-AgNPs indicated that the toxicity of the nanoformulations varied with the concentration administered. (Figure 7 A and B). The observed very low cytotoxic effects of both AgNPs and Ch-AgNPs on the L929 cell line, regardless of concentration, suggest that these nanoparticles are biocompatible and do not exhibit dose-dependent cytotoxicity, indicating their potential suitability for biomedical applications. Specifically, the IC<sub>50</sub> values of AgNPs and Ch-AgNPs were calculated to be 237.81 µg/mL and 283.95 µg/mL, respectively, after 48 h of treatment. Our results showed that Ch-AgNPs are biocompatible for healthy cells but cytotoxic for cancer cells. The cancer cells typically exhibit a more acidic microenvironment compared to normal cells. This acidic environment facilitates the release of silver ions from nanoparticles, leading to a higher rate of cell death in cancer cells compared to normal cells. Our findings aligned with previous research that demonstrated the preferential toxicity of biologically synthesized AgNPs against breast cancer cells while exhibiting no adverse effects on mouse fibroblast cells (Khorrami et al., 2018). Our findings were also consistent with a study that indicated the minimal cytotoxicity of both AgNPs and Ch-AgNPs towards L929 cells. The survival rate of L929 cells co-incubated with varying concentrations of AgNPs and Ch-AgNPs exceeded 80% after 24 h (Liu et al., 2022). These findings suggest that AgNPs and Ch-AgNPs are biocompatible and well-tolerated by L929 cells under the conditions tested. As seen in Figure 7A and 7B the results did not show significant differences which obtained for AgNPs and Chitosan-silver nanoparticles even both time point.





**Figure 7.** Analysis of the percentage of cell viability in L929 cells post-treatment with varying concentrations of both **A)** AgNPs and **B)** Ch-AgNPs.

### 3.4. Antibacterial and antifungal activity of AgNPs and Ch-AgNPs

The antimicrobial activity of AgNPs and Ch-AgNPs was assessed against a range of microorganisms, including *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans*. The assessment of antimicrobial activity revealed that Ch-AgNPs exhibited substantial zones of inhibition against all tested organisms (Table 2). Remarkably, the zone diameter of inhibition observed for Ch-AgNPs was significantly larger compared to that of bare AgNPs ( $p < 0.05$ ). 20 µg/mL AgNPs showed inhibition zones of 13 mm in *Staphylococcus aureus* whereas 20 µg/mL Ch-AgNPs showed inhibition zones of 21 mm in the same test microorganisms. This outcome suggests that the chitosan coating enhances the antimicrobial efficacy of the silver nanoparticles against the tested microorganisms. As seen in Table 2, the mean zone diameters of formulations were evaluated statistically. According to average zone of inhibition, 20 µg/disc Ch-AgNPs showed significant antimicrobial activity against all test microorganisms ( $p < 0.05$ ) compared to gentamicine which is compatible with the literature. Chitosan is known for its antimicrobial properties, disrupting the cell membrane integrity of microorganisms. The positively charged chitosan polymer interacts with negatively charged microbial cell membranes, facilitating the adhesion of Ch-AgNPs to microbial surfaces. Additionally, chitosan coating improves the stability and dispersion of AgNPs, ensuring better interaction with microbial cells and enhancing antimicrobial efficacy. Moreover, chitosan may promote the controlled release of silver ions from AgNPs, which possess potent antimicrobial properties. The combined action of chitosan and silver nanoparticles results in synergistic antimicrobial effects, further enhancing overall efficacy against a wide range of microorganisms. Furthermore, Ch-AgNPs can be selectively targeted to sites of infection or microbial colonization, thanks to the targeted delivery

facilitated by chitosan's positive charge (Teixeira-Santos et al., 2021; Yan et al., 2021; Huq et al., 2022). The larger zone diameter of inhibition observed for Ch-AgNPs highlights the potential of this nanocomposite for various antimicrobial applications, including wound dressings and medical devices. This finding underscores the importance of surface modification techniques, such as chitosan coating, in enhancing the antimicrobial performance of nanomaterials, contributing to the development of effective strategies for combating microbial infections. Our findings verified those of a study where the inhibitory effect of Ch-AgNPs was assessed against *Enterococcus faecalis* and *Pseudomonas aeruginosa*. It's notable that the findings contrast with the results from a similar study where no antifungal effect of Ch-AgNPs was observed against *Aspergillus* species (Raza et al., 2021).

**Table 2.** The mean zone diameters of AgNPs and Ch-AgNPs as measured by disk diffusion method

Test microorganisms	Average zones of inhibition (mm)					
	AgNPs		Ch-AgNPs		Gentamicin	Fluconazole
	(µg/disk)	(µg/disk)	(µg/disk)	(µg/disk)	(µg/disk)	(µg/disk)
	15	20	15	20	10	10
<i>Escherichia coli</i>	14	17	16	21	18	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	19	20	23	25	13	-
<i>Staphylococcus aureus</i>	10	13	13	21	19	-
<i>Enterococcus faecalis</i>	19	20	25	25	19	-
<i>Candida albicans</i>	19	21	22	28	-	14

### 3.5. Minimal inhibitory concentration (MIC) of AgNPs and Ch-AgNPs against test microorganisms

The MIC of both AgNPs and Ch-AgNPs was conducted using the microdilution method in which serial dilutions of the nanoformulations were meticulously prepared to modulate their concentrations across a spectrum ranging from 0.046 to 60 µg/mL. This range determined according to the literature allows for a comprehensive assessment of the antimicrobial activity of the nanoparticles across various concentrations. As seen in Table 3, the Ch-AgNPs demonstrated significantly smaller MIC values compared to bare AgNPs ( $p < 0.05$ ). The observation that MIC values for *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* and *Enterococcus faecalis* were halved for Ch-AgNPs compared to those of AgNPs. The finding that the MIC value for *Candida albicans* was further reduced to a third with Ch-AgNPs compared to bare AgNPs is particularly intriguing. The larger zones of inhibition



observed in the disk diffusion assay corroborate the findings from the MIC determination, indicating that Ch-AgNPs possess stronger antimicrobial efficacy at lower concentrations. As seen in Table 3, Ch-AgNPs had the same MIC value as gentamicin used as a positive control for *Pseudomonas aeruginosa*. The study produced findings comparable to those outlined, indicating MIC values spanning from 10 µg/mL to 40 µg/mL for Ch-AgNPs against the examined Gram-positive and Gram-negative bacterial strains. This finding indicates that Ch-AgNPs effectively inhibited the growth of both types of bacteria within a relatively narrow concentration range (Farhadi et al., 2022).

**Table 3.** The MIC values for the AgNPs and Ch-AgNPs

Test microorganisms	MIC values (µg/mL)			
	AgNPs	Ch-AgNPs	Gentamycine	Fluconazole
<i>Escherichia coli</i>	3.75	1.86	3.75	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1.86	0.94	0.94	-
<i>Staphylococcus aureus</i>	6.0	3.0	0.94	-
<i>Enterococcus faecalis</i>	0.94	0.48	3.75	-
<i>Candida albicans</i>	3.75	0.94	-	3.75

#### 4. Conclusions

In our previous study, silver nanoparticles were synthesized by green synthesis method, optimized and characterized successfully for further use. In current study, the synthesis and characterization of both silver nanoparticles (AgNPs) and chitosan coated silver nanoparticles (Ch-AgNPs) have been successfully achieved by green synthesis method which is eco-friendly, simple and cheaper method. The integration of metal nanoparticles with biopolymers as Chitosan is becoming increasingly crucial for improving the safety profiles of formulations and assessing their biological activities. Through various analytical techniques such as UV-Vis spectroscopy, FTIR analysis, and X-ray diffraction, the formation, structure, and properties of these nanoparticles have been elucidated. Furthermore, biological activities of these nanoparticles have been explored, demonstrating promising potential in various biomedical applications. The results suggest that both AgNPs and Ch-AgNPs exhibit desirable properties for applications such as drug delivery, wound healing, and antimicrobial therapy. Further studies are warranted to fully understand their mechanisms of action and optimize their performance for specific biomedical applications. In conclusion, the synthesis, characterization, and biological activities of silver nanoparticles and chitosan nanoparticles represent a significant step forward in the development of advanced nanomaterials for biomedical applications especially with their safety profiles.

## Statement of Conflict of Interest

The authors have declared no conflict of interest.

## Author's Contributions

The contribution of the authors is equal.

## References

- Abedin MR., Umapathi S., Mahendrakar H., Laemthong T., Coleman H., Muchangi D., Santra S., Nath M., Barua S. Polymer coated gold-ferric oxide superparamagnetic nanoparticles for theranostic applications. *Journal of Nanobiotechnology* 2018; 16(1): 80.
- Akter M., Sikde MT., Rahman MM., Ullah AKMA., Hossain KFB., Banik S., Hosokawa T., Saito T., Kurasaki M. A systematic review on silver nanoparticles-induced cytotoxicity: Physicochemical properties and perspectives. *Journal of Advanced Research* 2017; 9: 1-16.
- Almeida EDP., Santos Silva LA., de Araujo GRS., Montalvão MM., Matos SS., da Cunha Gonsalves JKM., de Souza Nunes R., de Meneses CT., Oliveira Araujo RG., Sarmiento VHV., Correa CB., Júnior JJ., Lira AAM. Chitosan-functionalized nanostructured lipid carriers containing chloroaluminum phthalocyanine for photodynamic therapy of skin cancer. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* 2022; 179: 221-231.
- Alomrani A., Badran M., Harisa GI. The use of chitosan-coated flexible liposomes as a remarkable carrier to enhance the antitumor. *Saudi Pharmaceutical Journal* 2019; 603-611.
- Asif M., Yasmin R., Asif R., Ambreen A., Mustafa M., Umbreen S. Green synthesis of silver nanoparticles (AgNPs), structural characterization, and their antibacterial potential. *Dose-response* 2022; 20(1).
- Ateş M., Yılmaz E., Kar B., Kars Durukan İ. Synthesis and characterization silver nanoparticles and coating with chitosan. *Politeknik Dergisi* 2021; 24(4): 1401-1408.
- Azizi S., Namvar F., Mahdavi M., Ahmad MB., Mohamad R. Biosynthesis of silver nanoparticles using brown marine macroalga sargassum muticum aqueous extract. *Materials* 2013; 28788431.
- Burduşel AC., Gherasim O., Grumezescu AM., Mogoantă L., Fica A. Andronescu, E. Biomedical applications of silver nanoparticles: an up-to-date overview. *Nanomaterials* 2018; 8(9): 681.
- Cinteza LO., Scomoroscenco C., Voicu SN., Nistor, CL., Nitu SG. Trica B., Jecu ML., Pectu C. Chitosan-stabilized Ag nanoparticles with superior biocompatibility and their synergistic antibacterial effect in mixtures with essential oils. *Nanomaterials* 2018; 8: 826.
- Constantin M., Lupei M., Bucatariu SM., Pelin I M., Doroftei F., Ichi, DL., Daraba OM., Fundueanu G. PVA/chitosan thin films containing silver nanoparticles and ibuprofen for the treatment of periodontal disease. *Polymers* 2022; 15(1): 4.

- Desai N., Rana D., Salave S., Gupta R., Patel P., Karunakaran B., Sharma A., Giri J., Benival D., Kommineni N. Chitosan: a potential biopolymer in drug delivery and biomedical applications. *Pharmaceutics* 2023; 15(4): 1313.
- Devaraj P., Kumari C., Renganathan A. Synthesis and characterization of silver nanoparticles using cannonball leaves and their cytotoxic activity against MCF-7 cell line. *Journal of Nanotechnology* 2013; 598328.
- Di Martino A., Guselnikova OA., Trusova ME., Postnikov PS., Sedlarik V. Organic-inorganic hybrid nanoparticles controlled delivery system for anticancer drugs. *International Journal of Pharmaceutics* 2017; 526(1-2): 380–390.
- Farhadi L., Mohtashami M., Saeidi J., Taheri G., Khojasteh-Taheri R., Rezagholizade-Shirvan A., Shamloo E., Ghasemi E. Green synthesis of chitosan-coated silver nanoparticle, characterization, antimicrobial activities, and cytotoxicity analysis in cancerous and normal cell lines. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials* 2022; 32: 1637-1649.
- Giri AK., Jena B., Biswal B., Arun KP., Manoranjan A., Saumyapraava A., Laxmikanta A. Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using *Eugenia roxburghii* DC. extract and activity against biofilm-producing bacteria. *Science Reports* 2022; 12: 8383.
- Govindan S., Nivethaa EAK., Saravanan R. Synthesis and characterization of chitosan–silver nanocomposite. *Applied Nanoscience* 2012; 2: 299–303.
- Ho BN., Pfeffer CM., Singh ATK. Update on nanotechnology-based drug delivery systems in cancer treatment. *Anticancer Research* 2017; 37(11): 5975–598.
- Hou T., Guo Y., Han W., Zhou Y., Netala VR., Li H., Li H., Zhang Z. Exploring the biomedical applications of biosynthesized silver nanoparticles using *perilla frutescens* flavonoid extract: antibacterial, antioxidant, and cell toxicity properties against colon cancer cells. *Molecules* 2023; 28: 6431.
- Hradilova S., Panacek A., Zboril R. Green synthesized silver nanoparticles derived from an extract of the *Betula pendula* tree. *Nanocon* 2018; Czech Republic.
- Huq MA., Ashrafudoulla M., Parvez MAK., Balusamy SR., Rahman MM., Kim JH., Akter S. Chitosan-coated polymeric silver and gold nanoparticles: biosynthesis, characterization and potential antibacterial applications: a review. *Polymers* 2022; 14(23): 5302.
- Imran M., Ehrhardt CJ., Bertino MF., Shah MR., Yadavalli VK. Chitosan stabilized silver nanoparticles for the electrochemical detection of lipopolysaccharide: a facile biosensing approach for gram-negative bacteria. *Micromachines* 2020; 11: 413.
- Jalab J., Abdelwahed W., Kitaz A., Al-Kayali R. Green synthesis of silver nanoparticles using aqueous extract of *Acacia cyanophylla* and its antibacterial activity. *Heliyon* 2021; 2405-8440.
- Jeon IY., Baek JB. Nanocomposites derived from polymers and inorganic nanoparticles. *Materials* 2010; 3(6): 3654–3674.

- Jiménez-Gómez CP., Cecilia JA. Chitosan: a natural biopolymer with a wide and varied range of applications. *Molecules* 2020; 25(17): 3981.
- Jyoti K., Baunthiyal M., Singh A. Characterization of silver nanoparticles synthesized using *Urtica dioica* Linn. leaves and their synergistic effects with antibiotics. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* 2016; 9: 217-227.
- Kalaivani R., Maruthupandy M., Muneeswaran T. Synthesis of chitosan mediated silver nanoparticles (AgNPs) for potential antimicrobial applications. *Frontiers in Laboratory Medicine* 2018; 2: 30–35.
- Khorrami S., Zarrabi A., Khaleghi M., Danaei M., Mozafari MR. Selective cytotoxicity of green synthesized silver nanoparticles against the MCF-7 tumor cell line and their enhanced antioxidant and antimicrobial properties. *International Journal of Nanomedicine* 2018; 13: 8013-8024.
- Komsthöft T., Bovone G., Bernhard S., Tibbitt MW. Polymer functionalization of inorganic nanoparticles for biomedical applications. *Current Opinion in Chemical Engineering* 2022; 37: 100849.
- Liao C., Li Y., Tjong SC. Bactericidal and cytotoxic properties of silver nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences* 2019; 20(2): 449.
- Liu C., Zhu Y., Lun X., Sheng H., Yan A. Effects of wound dressing based on the combination of silver@curcumin nanoparticles and electrospun chitosan nanofibers on wound healing. *Bioengineered* 2022; 13(2): 4328–4339.
- Malik S., Muhammad K., Waheed Y. Emerging applications of nanotechnology in healthcare and medicine. *Molecules* 2023; 28(18): 6624.
- Mallikarjuna K., Narasimha G., Dillip GR., Praveen B., Shreedhar B., Sreelakshmi C., Reddy BPD. Green synthesis of silver nanoparticles using *Ocimum* leaf extract and their characterization. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures* 2011; 6: 181–186.
- Maslamani N., Khan SB., Danish EY., Bakhsh EM., Akhtar K., Asiri AM. Metal nanoparticles supported chitosan coated carboxymethyl cellulose beads as a catalyst for the selective removal of 4-nitrophenol. *Chemosphere* 2022; 291(3): 133010.
- Mikhailova EO. Silver nanoparticles: mechanism of action and probable bio-application. *Journal of Functional Biomaterials* 2020; 11(4): 84.
- Nate Z., Moloto MJ., Mubiayi PK. Green synthesis of chitosan capped silver nanoparticles and their antimicrobial activity. *MRS Advances* 2018; 3: 2505-2517.
- Ozcelik B., Kara A. Evaluation of biological activities of silver nanoparticles (AgNPs) synthesized by green nanotechnology from birch (*Betula* spp.) branches extract. *Turkish Journal of Analytical Chemistry* 2023; 5(2): 151-161.
- Panja S., Chaudhuri I., Khanra K., Bhattacharyya N. Biological application of green silver nanoparticle synthesized from leaf extract of *Rauvolfia serpentina* Benth. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease* 2016; 6(7): 549-556.

- Rathod D., Golinska P., Wypij M., Dahm H., Rai M. A new report of *Nocardiosis* valliformis strain OT1 from alkaline Lonar crater of India and its use in synthesis of silver nanoparticles with special reference to evaluation of antibacterial activity and cytotoxicity. *Medical Microbiology and Immunology* 2016; 205: 435-447.
- Rautela A., Rani J., Debnath M. Green synthesis of silver nanoparticles from *Tectona grandis* seeds extract: characterization and mechanism of antimicrobial action on different microorganisms. *Journal of Analytical Science and Technology* 2019; 10(5).
- Raza S., Ansari A., Siddiqui NN., Ibrahim F., Abro MI., Aman A. Biosynthesis of silver nanoparticles for the fabrication of non-cytotoxic and antibacterial metallic polymer based nanocomposite system. *Science Reports* 2021; 11: 10500.
- Saeidi J., Motaghipur R., Sepehrian A., Mohtashami M., Forooghi Nia F., Ghasemi A. Dietary fats promote inflammation in Wistar rats as well as induce proliferation, invasion of SKOV3 ovarian cancer cells. *Journal of Food Biochemistry* 2020; 44(5): 13177.
- Saxena M., Saxena J., Nema R., Kurmukov AG. Phytochemistry of medicinal plants. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 2013; 1:168–182.
- Shinde S., Folliero V., Chianese A., Zannella C., De Filippis A., Rosati L., Prisco M., Falanga A., Mali A., Galdiero M. Synthesis of chitosan-coated silver nanoparticle bioconjugates and their antimicrobial activity against multidrug-resistant bacteria. *Applied Science*. 2021; 11: 9340.
- Souza TGF., Ciminelli VST., Mohallem NDS. A comparison of TEM and DLS methods to characterize size distribution of ceramic nanoparticles. *Journal of Physics: Conference Series* 2016, Bento Gonçalves, Brazil.
- Takáč P., Michalková R., Čížmaríková M., Bedlovičová Z., Balážová L., Takáčová G. The Role of silver nanoparticles in the diagnosis and treatment of cancer: are there any perspectives for the future?. *Life* 2023; 13: 466.
- Wang L., Du L., Wang M. Chitosan for constructing stable polymer-inorganic suspensions and multifunctional membranes for wound healing. *Carbohydrate Polymers* 2022; 285: 119209.
- Wulandari IO., Pebriatin BE., Valiana V., Hadisaputra S., Ananto AD., Sabarudin A. Green synthesis of silver nanoparticles coated by water soluble chitosan and its potency as non-alcoholic hand sanitizer formulation. *Materials* 2022; 15(13): 4641.
- Yan D., Li Y., Liu Y., Li N., Zhang X., Yan C. Antimicrobial properties of chitosan and chitosan derivatives in the treatment of enteric infections. *Molecules* 2021; 26 (23): 7136.
- Zentel R. Polymer coated semiconducting nanoparticles for hybrid materials. *Inorganics* 2020; 8(3).

## Fiziksel Geri Dönüşüm İle Elde Edilmiş Tekstil Tipi Cam Elyaf Boyutu ve Miktarının Çimento Esaslı Harçların Mekanik Dayanımına Etkisi

Lütfullah GÜNDÜZ<sup>1</sup>, Şevket Onur KALKAN<sup>2\*</sup>, Uğur UZGAN<sup>3</sup>, Ömer SERT<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup>İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35620, İzmir

<sup>3,4</sup>Glass Fiber Geri Kazanım San. Tic. A.Ş., İzmir

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-2487-467X>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-0250-8134>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0009-0000-6011-3929>

<sup>4</sup><https://orcid.org/0009-0003-1249-1089>

\*Sorumlu yazar: sevetonur.kalkan@ikcu.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 07.12.2023

Kabul tarihi: 21.02.2024

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Geri dönüşüm tekstil

Cam elyaf

Çimento harcı

Lif takviye

Basınç dayanımı

Eğilmede çekme dayanımı

### ÖZ

Çimento bağlayıcılı malzemelerin gevrek ve çekme kuvvetlerine karşı dayanımının nispeten düşük olduğu bilinmektedir. Çimentolu malzemeler taşıyabileceği yük ve sönmüleyebileceği enerji sınırına ulaştıkları zaman ani kırılmalar meydana gelir. Çimentolu harçların bu tür mekanik özellikler sergilemesi, kullanım amacına da bağlı olarak istenmeyen bir durum olarak değerlendirilebilmektedir. Çimento bağlayıcılı ürünlerde çekme yüklerini daha fazla karşılayabilmek, süneklik kazandırabilmek ve daha fazla enerji sönmüleyebilmek amacıyla farklı elyaf türleri ürün karışım tasarımında yer bulabilmektedir. Bu deneysel çalışmanın amacı, rüzgâr türbin kanadı üretiminde oluşan kirlenmemiş/bozulmamış kumaş atık/artıkların fiziksel geri dönüşüm ile farklı boyutlarda elde edilen tekstil tipi cam elyafların çimentolu harçlarda değerlendirilebilmesidir. Bu bağlamda, fiziksel geri dönüştürülmüş tekstil tipi cam elyaflar 3, 6, 12 ve 14 mm uzunlukta olacak şekilde boyutlandırılmış ve her biri ayrı ayrı ağırlıkça %0, %0,25, %0,50, %0,75, %1,00, %1,25 ve %1,50 oranlarında çimento harçlarında kullanılmıştır. Tüm test örneklerinin yayılma çapı, basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı deneysel olarak test edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, beklendiği gibi, lif boyu ve lif miktarı yayılma değerlerini azaltan bir faktör olarak tespit edilmiştir. Eğilmede çekme dayanım sonuçlarına göre bu lifler arasında optimum dayanım sonucunu veren lif uzunluğunun 6 mm olduğu görülmüştür. Buna karşın, lif uzunluğu ve kullanım miktarının basınç dayanımını düşürebilen bir etki sergileyebileceği gözlemlenmiştir.

### Effect of Physically Recycled Textile Type Glass Fiber Size and Amount on the Mechanical Strength of Cement-Based Mortars

#### Research Article

#### Article History:

Received: 07.12.2023

Accepted: 21.02.2024

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

Recycled textile

Glass fiber

Cement mortar

Fiber reinforcement

Compressive strength

Flexural strength

#### ABSTRACT

It is known that cement-bonded materials are brittle and have relatively low resistance to tensile forces. Sudden fractures occur when cementitious materials reach the load they can carry and the energy they can absorb. The fact that cementitious products exhibit such mechanical properties can be considered as an undesirable situation, depending on the intended use. In cement binder products, different fiber types can be included in the product mixture design in order to absorb more tensile loads, provide ductility and absorb more energy. The aim of this experimental study is to use textile type glass fibers obtained in different sizes by physical recycling of uncontaminated fabric waste/residues generated in the production of wind turbine blades in cementitious mortars. In this context, physically recycled textile type glass fibers were sized to be 3, 6, 12 and 14 mm long and each was individually

evaluated in cement mortars at 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25 and 1.50 wt.%. Flow table, compressive strength and flexural strength of all samples were tested experimentally. According to the study results, as expected, fiber length and fiber amount were found to be factors that reduce the flow diameter values. According to the results of flexural strength, it was seen that the fiber length giving optimum strength among these fibers was 6 mm. On the other hand, it has been observed that fiber length and usage amount may have an effect that can reduce the compressive strength.

**To Cite:** Gündüz L., Kalkan ŞO., Uzgan U., Sert Ö. Fiziksel Geri Dönüşüm İle Elde Edilmiş Tekstil Tipi Cam Elyaf Boyutu ve Miktarının Çimento Esaslı Harçların Mekanik Dayanımına Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(3): 1342-1357.

## 1. Giriş

Portland çimentosu ile yapılan çimento bağlayıcılı yapı malzemeleri günümüzde dünyada en yaygın kullanılan inşaat malzemesi türü olarak bilinmektedir. Bu yapı malzemelerinin üretiminde bağlayıcı olarak hidrolik çimento, inert malzeme olarak ise ince agrega ve/veya kaba agrega kullanılmakta olup, yapı malzemesinin doğası genelde kompozit bir malzeme karakteristiği sergilemektedir (Al-Ghaban ve ark.,2018). Betonun özelliklerini olumlu yönde iyileştirmek amacıyla belirli bir uzunluk/çap (incelik oranı) oranına sahip cam, çelik ve polipropilen gibi lifler yaygın olarak kullanılmaktadır. Homojen olarak dağılan lifler betonda oluşan çatlakları önler ve betondaki çatlakların ilerlemesini yavaşlatarak betonun mukavemetine ve dayanıklılığına olumlu katkı sağlar. Ayrıca betonda lif kullanılarak betonun enerji yutma kapasitesi artırılabilir (Nataraja ve ark., 2000; Akyüncü, 2021). Beton veya harç karışımlarına elyaf türü malzemelerin özellikle cam elyafın eklenmesi, matristeki çatlakların genişlemesini ve gelişmesini etkili bir şekilde önleyebildiği farklı çalışmalarda rapor edilmiştir (Mahdi, 2014; Al-Ghaban ve ark., 2018; Şenses ve ark., 2023). Bu karışımlar genellikle “cam elyaf takviyeli beton veya harç” isimleriyle adlandırılmaktadır. Gelişmiş ülkelerde, elyaf takviyeli çimento kompozitlerin daha sık kullanılmasıyla inşaat malzemelerinin sağlamlığı ve dayanıklılığı artırılmaktadır. Bu gelişmelere bağlı olarak inşaat malzemelerinin büzülme, çatlama, aşınma ve yıpranma olasılığı azalmaktadır (Mahdi, 2014; Al-Ghaban ve ark., 2018; Şenses ve ark., 2023).

Cam elyaf takviyeli harç, sıradan harçtan farklı özelliklere sahip yeni bir yapı malzemesi olarak kabul edilmektedir. Cam elyaf takviyeli harçlarda, karışıma ilave edilen cam elyafların harcın çekme mukavemeti ve eğilme mukavemetini önemli ölçüde iyileştirdiği ve basınç mukavemetinden az oranda etkilendiği yapılan deneysel çalışmalarda belirlenmiştir (Mahdi, 2014). Çimento esaslı harçlara cam elyaf eklenmesi, harcın mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilmesi, karışımın su/çimento oranı, elyafların çimento matrisine oranı (katkı olarak kullanım miktarı), matristeki elyafların uzunluğu, geometrisi, dağılımı, yönelimi ve elyaf mukavemeti vb. faktörlere bağlı olabilmektedir (Al-Ghaban ve ark., 2018). Elyaf ile güçlendirilmemiş harç gibi kırılğan matrisler, çekme yükü taşıma kapasitelerini kaybeder. Çimento esaslı malzemelere lif eklenmesinin, çimentolu matrislerin dayanıklılığını artırabildiği ve çatlakları önemli ölçüde durdurmaya hizmet ettiği kabul edilmiştir. Lif takviyeli çimento harcının performansındaki artış, liflerin çatlama oluşumuna karşı direnç gösterdiği noktaya bağlanabilir (Sree ve ark., 2018). Harçlarda bu özelliklerin gelişimi, harcın yapı

malzemesi olarak kullanılan alanlarında dayanıklılığını artırmasının yanı sıra performansını ve hizmet ömrünü iyileştirmek için önemli bir parametre oluşturmaktadır.

Günümüzde çimento matrisli kompozitlerde çeşitli tipte lif malzemelerin kullanılmasının fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine bir dizi laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Çimento harcı matrisinin sıvı ve gazların içinden geçmesine izin veren gözenekli yapısı sıvanın dayanıklılığını daha da azaltır. Cam elyaflar mekanik mukavemeti artırıp geçirgenliği azaltarak malzemenin kullanım ömrünü uzatır. Cam elyaf, yüksek mukavemeti ve dayanıklılığı nedeniyle harç karışımında kullanım için tercih edilen bir elyaf seçeneğidir. Harcın performansını, mukavemetini ve ömrünü önemli ölçüde artırmak amacıyla kullanılacak önemli bir elyaf türüdür. Çimento esaslı harçların mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirmek amacıyla zaman içerisinde farklı araştırmacılar polipropilen, PVA, cam elyaf vb. gibi farklı orijinli elyaf eklemenin etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmalarda genel bulgu bağlamında, çimento matrisli kompozitlere elyaf eklenmesi, plastik büzülme çatlaklarını azaltırken, çekme ve basınç mukavemetini arttırabilmektedir (Nandurkar ve ark., 2023). Örneğin; Tassew ve Lubell (2014), fosfatlı çimento bağlayıcı kullanılarak üretilen seramik betona doğranmış cam elyaf ilavesinin basınç dayanımı ve elastikiyet modülü üzerinde çok az etkiye sahip olduğunu ancak eğilme dayanımını ve doğrudan kesme dayanımını önemli ölçüde arttırdığını belirlemişlerdir. Bu durum, biri kum ve diğeri hafif genişlemiş kil agregaları içeren her iki seramik beton matris türünde ve %0 ile %2 arasında değişen lif hacim oranlarında gözlemlenmiştir. Çalışma ayrıca seramik betonun basınç, eğilme ve kesme altındaki tokluğunun lif içeriğinin artmasıyla arttığını, işlenebilirliğin ise azaldığını belirlemişlerdir (Tassew and Lubell, 2014). Chung (2000), çimento matrisli kompozitlere kısa karbon fiber eklenmesi konusu üzerine araştırmalar yapmış ve fiber eklenmesinin düşük termal iletkenlik, yüksek korozyon direnci ve düşük kuruma büzülme davranışı ile çekme ve eğilme özelliklerinde çekici bir iyileşme olduğunu ortaya koymuştur. Fathi ve ark. (2017) betonun davranışını çeşitli yüzdelerde arttırmak için cam elyafının betona eklenmesini önermişlerdir. Singh (2014) ve Patil ve ark. (2016) yeni bir yapay inorganik malzeme olan cam elyafın, geniş hammadde kaynaklarına sahip, kolay seri üretilebilen, düşük birim ağırlığının yanı sıra ısı ve ses yalıtımı da sağlayan bir malzeme olduğunu rapor etmişlerdir (Patil ve Burile, 2016; Fathi ve ark., 2017). Bu nedenle cam elyafı, beton katkısı olarak diğer elyafların yerine geçebilecek büyük bir potansiyele sahip olduğunu vurgulamışlardır. Sanjeev ve Sai Nitesh (2020) tarafından yapılan araştırma çalışmasında da modifiye edilmemiş betonla karşılaştırıldığında, cam elyaf ile modifiye edilmiş beton, mekanik performans ve özellikler açısından daha iyi sonuçlar göstermiştir. Çökme düşüşündeki azalmayla birlikte basınç, yarmada çekme mukavemeti ve eğilme mukavemet değerlerinde belirgin birer artış olduğu belirtilmiştir (Akyüncü, 2021). Ahsan Habib ve ark. (2013), sentetik elyaflarla (cam, naylon ve polipropilen elyaflar) takviyeli harçların mekanik özelliklerini incelemişler, cam elyaf hariç diğer elyaflarla yapılan harç kompozitlerinin basınç dayanımında artış olduğunu belirlemişlerdir. Rai ve Joshi (2014), betona ek olarak kullanılan çelik elyaf, cam elyaf, doğal elyaf ve polimer elyaf üzerinde çalışmalar yapmışlar ve bu çalışma bulgularında elyaf eklemenin betonun çatlamasını önlenmesi, tokluğu, şok direncini ve plastik büzülme karşı direnci arttırmanın



etkili bir yol olduğunu tanımlamışlardır. Şenses ve ark. (2023), cam elyaf gibi elyaflar, beton veya çimento esaslı malzemelere yeterli miktarda eklendiğinde malzeme içerisinde oluşan gerilimlerin daha etkili bir şekilde dağıtılmasına yardımcı olabildiğini belirtmişlerdir. Spesifik olarak, malzeme içinde çatlaklar oluştuğunda, fiberler çatlaktaki gerilimleri malzemenin herhangi bir çatlağın oluşmadığı çevre bölgelerine ileterek çatlakların daha fazla yayılmasının önlenmesine yardımcı olabildiğini vurgulamışlar ve özellikle cam elyafların, yüksek sertlik dereceleri ve aşınmaya karşı dirençleri sebebiyle beton uygulamalarında kullanımlarının uygun olduğunu belirtmişlerdir (Şenses ve ark., 2023).

Günümüzde genellikle 3 farklı cam elyaf çeşidi üretilmektedir. Bunlar; izolasyon tipi cam elyafı (cam yünü), tekstil tipi cam elyafı ve optik cam elyafıdır. Sürekli cam elyaf, sürekli filament cam elyaf, takviye edici cam elyaf veya E-cam elyafı olarak da adlandırılan tekstil tipi cam elyafı, plastiklerde, lastik veya kauçuk çimentoda ve diğer malzemelerde mukavemet artırıcı olarak kullanılır. İzolasyon cam elyafı veya cam yünü olarak adlandırılan izolasyon tipi cam elyaf, genel olarak binalarda yalıtım amacıyla kullanılır. Optik cam elyaf türü ise çoğunlukla haberleşme alanlarında kullanılmaktadır (Eti Holding, 2003). Tekstil tipi cam elyafı yüksek çekme ve çarpma dayanımına sahip, ağırlıkça hafif, kimyasal reaksiyonlara karşı oldukça dirençli ve düşük maliyetle üretilebilen bir malzemedir. Bu özellikler tekstil tipi cam elyafların son yıllarda geleneksel malzemeler ve metallerin yerine gittikçe artan oranlarda kullanılan plastiklerde ve kompozitlerde takviye elemanı olarak kullanılmasını teşvik etmektedir (Eti Holding, 2003). Genel bir değerlendirme olarak tekstil tipi cam elyaflar; alüminyum-kalsiyum-borosilikat cam formunda olup, en fazla %7 oranında alkali ve %8 civarında bor bileşiği içerebilirler. Yüksek çekme ve çarpma mukavemetine sahip, ısı direnci yüksek, düşük su emme kabiliyetine sahip bir özellik gösterir.

Tekstil tipi cam elyafların sektörel alanlarda kullanılmasında, farklı türlerde üretilmiş elyaf formlarının kullanımları şeklinde görülebilmektedir. Bu alanlardan biri de rüzgâr türbinlerinin kanat imalatında cam elyaf kumaş kullanımınıdır. Kanat imalatında kullanılan cam elyaf kumaşlardan imalat sırasında artık kumaş malzemeler kalabilmekte ve cam elyaf elde edilmesi için bileşimleri sebebiyle endüstriyel bağlamda önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Kirlenmemiş/bozulmamış bu kumaş artıklarının fiziksel geri dönüşüme uğratan proseslerle farklı boyutlarda tekstil tipi cam elyaflara dönüşümünün sağlanması önemli ve yenilikçi ekonomik bir yaklaşımdır. Bu elyafların fiziksel dönüşümle elde edildiği kumaşlarda kaplama ve katkı ajanı olarak kullanılan silan varlığı, elyaf malzemenin farklı kimyasal ortamlardaki etkileşim ve alkali ortamlara direncini de iyileştiren bir faktör olarak da görülebilmektedir. Bu bağlamda, bu türde elde edilmiş cam elyaf malzemeler, normal piyasa koşullarında endüstriyel olarak görülebilen cam elyaf malzemelerin katkı olarak kullanıldığı çimentolu kompozitlerde teknik performansı daha üstün karakteristik özellikler gösterebilmektedir. Bu cam elyaflar, inşaat sektöründe farklı yapı malzeme türlerinin üretimlerinde önemli bir katkı değeri oluşturabilecek endüstriyel bir elyaf malzeme potansiyelini oluşturmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, rüzgâr türbinlerinin kanat imalatında kullanılmak üzere cam elyaf kumaş ve iplik kullanılarak kompozit üretim yapan firmaların kirlenmemiş/bozulmamış kumaş çıktılarının fiziksel

dönüşüme uğratan işlemlerle elde edilmiş farklı uzunluklardaki (3 mm, 6 mm, 12 mm ve 14 mm) tekstil tipi cam liflerinin katkı olarak kullanıldığı çimento esaslı harç örneklerinde cam elyaf uzunluğu ve kullanım miktarının, harcın mekanik özelliklerine etkisi bir dizi deneysel analizlerle incelenmiştir. Bu incelemede cam elyaf katkılı çimento esaslı harçların kıvam ve yayılma analizleri eğilmede çekme ve basınç dayanımı olarak iki ayrı mekanik test değerleri incelenmiştir. Elde edilen bulgulardan, fiziksel dönüşümle elde edilmiş cam elyafların çimento esaslı harç ürünlerde kullanılabilirliği üzerine karşılaştırmalı teknik irdelemeler yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

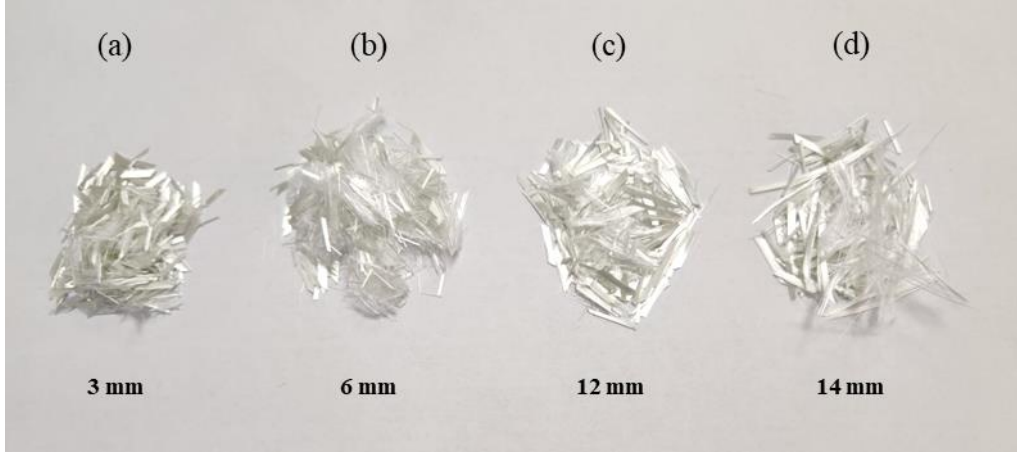
### 2.1. Test Örneklerinde Kullanılan Malzemeler

Fiziksel geri dönüşümle elde edilmiş tekstil tipi cam elyaf katkılı harç (TTCEKH) test örneklerinin hazırlanmasında özgül ağırlık değeri ortalama 3,0 g/cm<sup>3</sup> olan CEM I 42.5 R tipi çimento ana bağlayıcı malzeme olarak kullanılmıştır. Ana agrega olarak TS EN 196-1 (2016) standardına uygun CEN standart kum (Tablo 1) piyasa koşullarından temin edilerek kullanılmış olup, karma suyu olarak da normal şebeke suyunun kaynama ve soğutma yöntemleri kullanılarak damıtılması yoluyla elde edilen, minerallerden yoksun saf su kullanılmıştır.

**Tablo 1.** TS EN 196-1 (2016) standardına uygun CEN standart kumun özellikleri.

Tane Büyüklüğü Dağılımı, Kare Göz Açıklığı	Standart olarak öngörülen (Elekte Kalan Yığılımlı)	Çalışmada kullanılan Kum
2,00 mm	%0	%0,00
1,60 mm	%7±5	%6,98
1,00 mm	%33±5	%33,15
0,50 mm	%67±5	%67,19
0,16 mm	%87±5	%88,25
0,08 mm	%99±1	%98,48
Rutubet Oranı	<%0,20	%0,06

Çimento esaslı harç örneklerinde fiziksel geri dönüşümle elde edilmiş tekstil tipi cam elyaf boyutu ve kullanım miktarının, harcın mekanik özelliklerine etkisini analiz etmek amacıyla 4 ayrı boyut tekstil tipi cam elyaf (TTCE) kullanılmıştır. Bu boyutlar: 3 mm, 6 mm, 12 mm ve 14 mm'dir. Çalışma kapsamında kullanılan TTCE malzemeler, rüzgâr türbinlerinin kanat imalatında kullanılmak üzere cam elyaf kumaş ve iplik kullanılarak kompozit üretim yapan firmaların kirlenmemiş/bozulmamış kumaş çıktılarının fiziksel dönüşüme uğratan proseslerle elde edilmiş farklı boyutlardaki özenle sınıflandırılmış cam elyaflardır. Bu TTCE malzemelerin özgül ağırlığı 2,58 g/cm<sup>3</sup>, elyaf çapları 13-15 (±%15) mikron, çekme dayanımı >3200 MPa, Elastisite Modülü ≥70 GPa, nem oranı <%0,15, iplik oranı <%0,20 ve uygulama sıcaklığı -60 °C ile 650 °C arasındadır. TTCE malzemelerin boyut değerine göre uzunluk tolerans değerleri ise 3 mm TTCE için ±1,2 µm, 6 mm TTCE için ±1,5 µm, 12 mm TTCE için ±2 µm ve 14 mm TTCE için ±2,1 µm'dir. Test örneklerinin hazırlanmasında kullanılan TTCE malzemelerin genel görünüşleri Şekil 1'de verilmiştir.



**Şekil 1.** TTCE malzemelerin genel görünümü; (a) 3 mm TTCE, (b) 6 mm TTCE, (c) 12 mm TTCE, (d) 14 mm TTCE

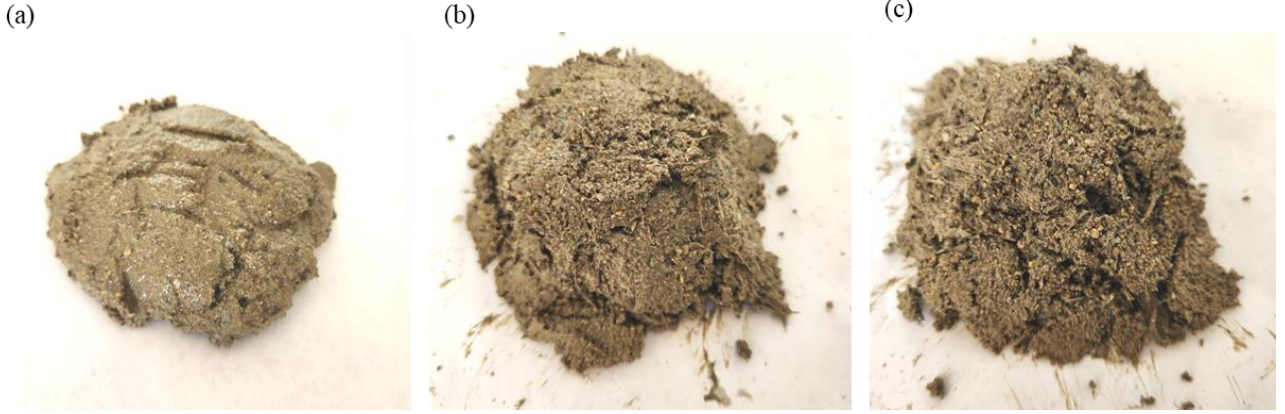
## 2.2. TTCEKH Karışım Tasarımı ve Test Örneklerin Hazırlanması

Çimento esaslı harç örneklerinde fiziksel geri dönüşümle elde edilmiş tekstil tipi cam elyaf boyutu ve kullanım miktarının, harcın mekanik özelliklerine etkisini analiz etmek amacıyla öncelikle karışım tasarımında herhangi bir elyaf katkı içermeyen kontrol harcı tasarımı yapılmış olup, çalışma kapsamında K0 olarak kodlanmıştır. Bununla birlikte her bir boyut için (3 mm, 6 mm, 12 mm ve 14 mm) TTCE katkının 6 farklı ağırlıkça kullanım oranında (%0,25, %0,50, %0,75, %1,0, %1,25 ve %1,5) kullanıldığı 6'şar ayrı karışım tasarımları yapılmıştır. Çalışma programında böylece toplamda 25 ayrı karışım tasarımı yapılmıştır. Tüm karışımlarda standart bir karışım oranı kullanılmış olup, örneğin 450 g çimento, 1350 g standart kum ve 225 g karma suyu (çimento/kum: 3,00 oranı; 1 birim çimento/3 birim kum) sabit yaklaşım olarak uygulanmıştır. Bu karışımlara TTCE malzeme ilave yöntemiyle eklenerek kullanılmıştır. Karışımlarda kullanılan malzeme ve kullanım miktarları Tablo 2'de verilmiştir. Tüm karışımlarda Su/Çimento oranı sabit tutulup  $w/c=0,50$  oranında karışım suyu ile örnekler hazırlanmıştır. Karışımların hazırlanmasında boyutlandırılmış TTCE lif katkıları, kuru formda önceden tartılarak hazırlanmış toz karışım şeklindeki harç karışımına ilave edilerek, ortalama 3 dakika düşük devirli bir karıştırıcı ile karıştırılarak elyaf malzemelerin karışım içerisinde ön açılım işlemi yapılmıştır. Sonrasında belirlenen sabit su/çimento oranında karışıma karma suyu eklenerek karıştırma işlemine 3 dakika boyunca homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmaya devam edilmiştir. Elde edilen taze harç yaklaşık 5 dakika dinlendirilip tekrar 30 saniye kadar ilaveten karıştırıldıktan sonra yaş harç, test örneklerinin kalıplanması ve ayrıca yaş harç ölçümleri için hazır hale getirilmiştir. Her bir yaş harç tasarımına ait TTCEKH örneklerinin öncelikle yayılma tablası yöntemi kullanılarak kıvam değerlendirmelerinin yapılabilmesi amacıyla yayılma değerleri test edilmiştir.

**Tablo 2.** TTCEKH test örneklerinin karışım bileşenleri (ağırlıkça, %)

Karışım	Çimento (%)	Standart Kum (%)	TTCE (%)	Su (%)	TTCE Uzunluğu	Su/Çimento Oranı	Çimento/Kum Oranı
T0	22,22	66,67	0,00	11,11	-	0,50	3,00
T3_0.25	22,17	66,50	0,25	11,08	3 mm	0,50	3,00
T3_0.50	22,11	66,34	0,50	11,06	3 mm	0,50	3,00
T3_0.75	22,06	66,17	0,75	11,03	3 mm	0,50	3,00
T3_1.00	22,00	66,00	1,00	11,00	3 mm	0,50	3,00
T3_1.25	21,94	65,83	1,25	10,97	3 mm	0,50	3,00
T3_1.50	21,89	65,67	1,50	10,94	3 mm	0,50	3,00
T6_0.25	22,17	66,50	0,25	11,08	6 mm	0,50	3,00
T6_0.50	22,11	66,34	0,50	11,06	6 mm	0,50	3,00
T6_0.75	22,06	66,17	0,75	11,03	6 mm	0,50	3,00
T6_1.00	22,00	66,00	1,00	11,00	6 mm	0,50	3,00
T6_1.25	21,94	65,83	1,25	10,97	6 mm	0,50	3,00
T6_1.50	21,89	65,67	1,50	10,94	6 mm	0,50	3,00
T12_0.25	22,17	66,50	0,25	11,08	12 mm	0,50	3,00
T12_0.50	22,11	66,34	0,50	11,06	12 mm	0,50	3,00
T12_0.75	22,06	66,17	0,75	11,03	12 mm	0,50	3,00
T12_1.00	22,00	66,00	1,00	11,00	12 mm	0,50	3,00
T12_1.25	21,94	65,83	1,25	10,97	12 mm	0,50	3,00
T12_1.50	21,89	65,67	1,50	10,94	12 mm	0,50	3,00
T14_0.25	22,17	66,50	0,25	11,08	14 mm	0,50	3,00
T14_0.50	22,11	66,34	0,50	11,06	14 mm	0,50	3,00
T14_0.75	22,06	66,17	0,75	11,03	14 mm	0,50	3,00
T14_1.00	22,00	66,00	1,00	11,00	14 mm	0,50	3,00
T14_1.25	21,94	65,83	1,25	10,97	14 mm	0,50	3,00
T14_1.50	21,89	65,67	1,50	10,94	14 mm	0,50	3,00

Daha sonra tüm yaş TTCEKH örnekleri 40x40x160 mm<sup>3</sup> boyutlarında çelik prizma kalıplara dökülmüştür. Yaş harçlar kalıplara iki tabaka şeklinde yerleştirilmiştir. Her bir tabaka 60 defa sarsma ile sarsma tablasında sıkıştırılmıştır. Her bir karışım tasarımından 15'er adet numune üretilmiştir. Dökümden sonra, numunelerin her biri, kalıptan çıkarmadan önce laboratuvarında 24 saat bekletilmiş olup, kalıplardan çıkarılan test örneklerinin 1 günlük birim hacim kütle değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Kalıptan çıkarılan tüm numuneler test gününe kadar 23±2 °C'lik bir ortamda doğal kür işlemine tabi tutulmuştur. 28 gün sonrasında, testler için kürlenmesi tamamlanan numuneler öncelikle havalandırılmalı bir etüvde kurularak, birim hacim kütle değerleri ölçülerek kaydedilmiş ve her bir test örneğinin TS EN 1015-11 standardında öngörülen prensiplere göre 40×40×160 mm boyutlarındaki prizma test örnekleri üzerinde sırasıyla eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı analizleri yapılmıştır. Taze yaş formunda hazırlanan TTCEKH karışımlarının harç kıvamlarına ilişkin genel görümleri sembolik Şekil 2'de ve 28 gün kür sonrası prizma formu TTCE katkılı test örneklerinin temsili görüntüsü ise Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 2. TTCE katkılı harç örneklerin yaş harç formu genel görünümü; (a) T3\_0.50 harcı, (b) T6\_0.75 harcı, (c) T14\_1.25 harcı



Şekil 3. TTCE katkılı çimento esaslı test örneklerinin 28 gün sonra genel görünümleri

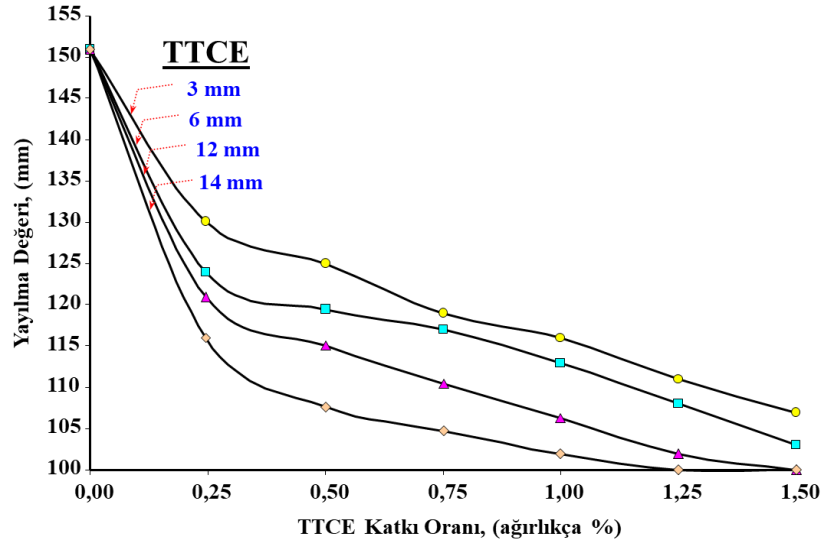
### 3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

#### 3.1. Yayılma – Kıvam Tayini

Taze yaş formunda hazırlanan tüm TTCEKH karışımlarına ait örneklerin karma, 5 dakikalık dinlenme ve 30 saniye kadar ilaveten karıştırılma işlemi sonrasında TS EN 1015-3 standardına uygun olarak yayılma tablası test düzeneği kullanılarak ölçülen yayılma değerleri Şekil 4'te TTCE sembolik olarak gösterilmiştir. TTCE kullanım oranı ve boyutuna bağlı grafiksel analizi ise Şekil 5'te verilmiştir.

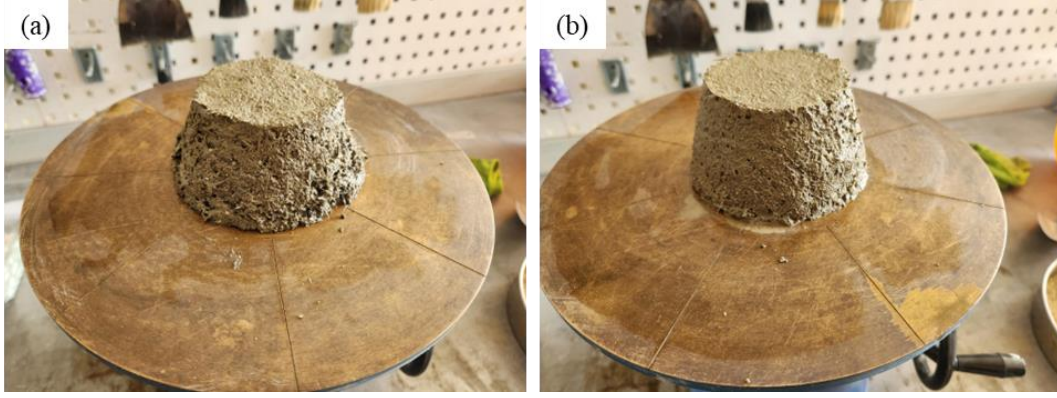


Şekil 4. TTCE katkılı harç örneklerin yayılma testi genel görünümü; (a) T0 kontrol harcı, (b) T3\_0.50 harcı, (c) T12\_0.75 harcı



Şekil 5. TTCE katkılı harç örneklerin yayılma testi bulguları

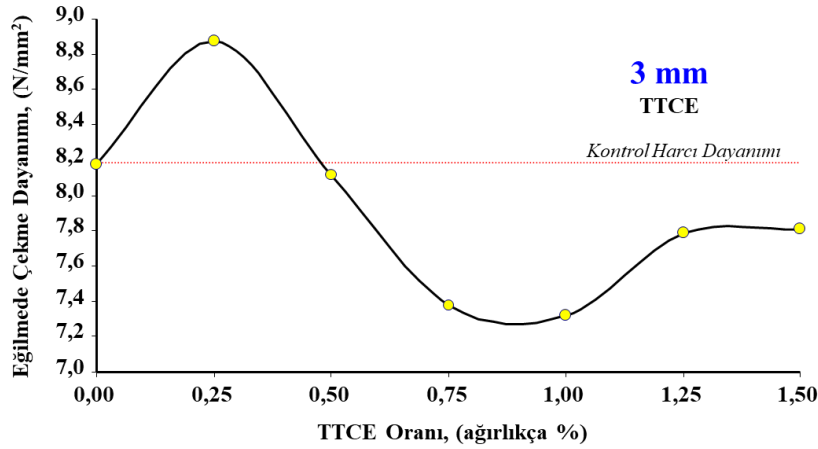
T0 kodlu kontrol harcı örneğinin yayılma değeri 151 mm olarak belirlenmiştir. TTCE katkılı tüm karışım tasarımlarına ait harç örneklerin yayılma değeri, kontrol örneği değerinden daha düşüktür. Şekil 5 irdelendiğinde TTCE ilavesinin harcın yayılma değerini ve dolayısıyla kıvamını genel olarak düşürmektedir. Bu da harcın işlenebilirliğini zayıflatmaktadır. Bununla birlikte, bir diğer bulgu ise TTCE boyunun artışı, ağırlıkça eşdeğer orandaki bir harç tasarımında kısa uzunluk değerindeki elyafa göre daha az miktarda lif katkısı yer almasına rağmen, harcın yayılma değerinin düştüğü görülmektedir. Benzer etkileşimler Toklu ve ark. (2022), Qureshi ve Ahmed (2013), ve Erkek (2020) tarafından yapılan araştırma bulgularında da değinilmiştir. Yayılma tablası ile yapılan ölçümlerde genel bir yaklaşım olarak harcın işlenebilirlik sınırının 130 mm olduğu kabul edilecek olur ise, lif uzunluğu arttıkça artan lif kullanım miktarına da bağlı olarak bu değer altında yayılma değerlerinin elde edildiği gözlenmektedir. 130 mm yayılma değerinin altında yayılma – kıvam karakteristiği gösteren harç örneklerinin yayılma olmaksızın doğrudan kalıplara yerleştirebileceği düşünülebilir. Yayılma testleri sürecinde gözlenen bir diğer durum ise, elyaf katkı miktarı arttıkça lifin topaklanma olgusu oluşturduğu, bunun aşılması için ise karışımın daha fazla su miktarına ihtiyaç duyduğu gözlenmiştir. Lif uzunlukları arttıkça, lif boyu uzanımlarında su zerreciklerinin daha fazla tutunum sergilediği ve matris yapıda lifler arasında kalan bölümlerde daha fazla boşluk, gözenek oluşarak, bu gözeneklerde suyun tutulması sebebiyle de işlenebilirliğin azaldığı gözlenmiştir. Özellikle 12 mm ve 14 mm TTCE boyutlu harç tasarımlarında ağırlıkça %1,25'in üzerinde kullanımı, bu su/çimento oranındaki harç kıvamının Şekil 6'da gösterildiği üzere yayılma eğiliminin çok küçük olduğunu göstermektedir.



Şekil 6. TTCE boyutunun harcın yayılmasına olan etkisi – genel görünümü; (a) T12\_1.25 harcı yayılması, (b) T14\_1.50 harcı yayılması

### 3.2. Eğilmede Çekme Dayanımı Analizi

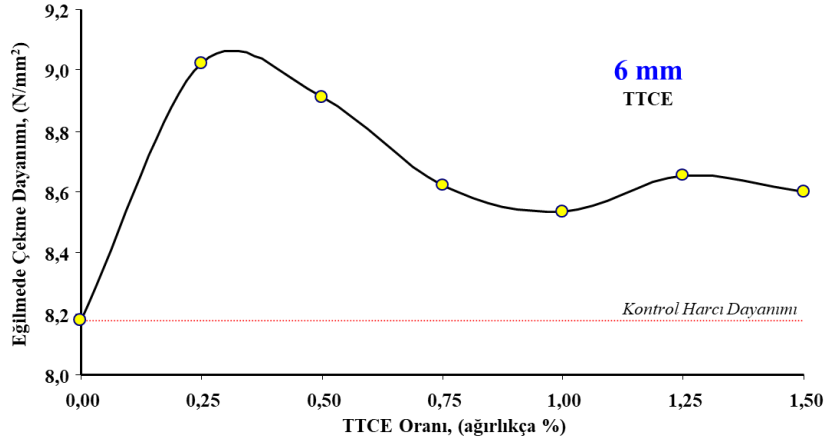
T0 kodlu kontrol harcı örneğinin 28 gün sonrası eğilme dayanımı ortalama  $8,18 \text{ N/mm}^2$  olarak belirlenmiştir. Farklı elyaf uzunluğunda hazırlanan TTCE katkılı karışım tasarımlarının eğilmede çekme dayanım değerleri, elyaf katkının uzunluğu ve katkı oranına bağlı olarak kontrol örneği değerinden farklılıklar göstermektedir. TTCE katkılı test örneklerinin elyaf katkı oranına bağlı 28 gün sonrası eğilme dayanımı değerleri, 3 mm, 6 mm, 12 mm ve 14 mm için sırasıyla Şekil 7 – Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 7. TTCE katkılı harç örneklerin 3 mm lif katkı oranı – eğilmede çekme dayanımı ilişkisi

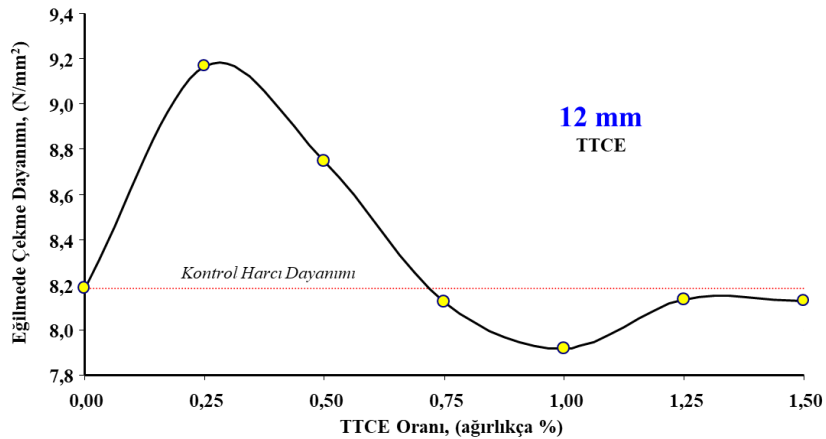
Şekil 7 irdelendiğinde görüldüğü üzere, kontrol harcı eğilmede çekme dayanım değeri referans alındığında harç karışımında ağırlıkça %0,45 oranına kadar 3 mm uzunlukta TTCE kullanımı, referans değerden daha iyi sonuçlar vermektedir. Ancak, bu oran değerinden daha yüksek oranda elyaf katkı kullanımının referans değere göre eğilmede çekme dayanımını düşürdüğü görülmektedir. Bu düşüşün elyaf uzunluğunun kısa olması sebebiyle, matris yapıda eğilme yükü altında lif ile agrega taneleri arasında düşük kohezyon oluşmasının bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Ağırlıkça %0,90 oranında 3 mm TTCE kullanımı, harcın eğilmede çekme dayanımını yaklaşık %10 oranında düşürmektedir. Bununla birlikte, ağırlıkça %0,90 ve üzerinde lif katkı kullanımıyla matris yapıda lif miktarı sebebiyle

oluşan heterojen sarmal bir lif yoğunluğu oluşturmasından dolayı harcın eğilmeye çekme dayanımının iyileşmeye başladığı da gözlenmiştir.



Şekil 8. TTCE katkılı harç örneklerin 6 mm lif katkı oranı – eğilmeye çekme dayanımı ilişkisi

Şekil 8 irdelendiğinde görüldüğü üzere, harç karışımında tüm oranlarda 6 mm TTCE kullanımı, referans değerden daha iyi sonuçlar vermektedir. Eğilmeye çekme dayanımı en yüksek değeri ağırlıkça %0,25 oranında 6 mm TTCE kullanımlı test örneklerinde elde edilmiş olup, kontrol harcına göre %10,3'lük bir değer artışına sebep olmuştur. Bu orandan daha yüksek miktarlarda 6 mm elyaf kullanımının harcın eğilmeye çekme dayanımını yaklaşık %6 kadar düşürmektedir. 6 mm boyutunda harç bileşimine katılan TTCE lif katkıları hamur içerisinde düzgün dağılan ve rastgele yönlenebilen lifler olması sebebiyle eğilmeye çekme gerilmelerine karşın matris yapıda önemli birer donatı vazifesi gördüğü gözlenmiştir. Ağırlıkça %0,50 - %1,50 oran aralığında 6 mm TTCE lif kullanımının harcın eğilmeye çekme dayanımını sırasıyla %8,9, %5,4, %4,3, %5,8 ve %5,1 oranında iyileştirdiği belirlenmiştir.

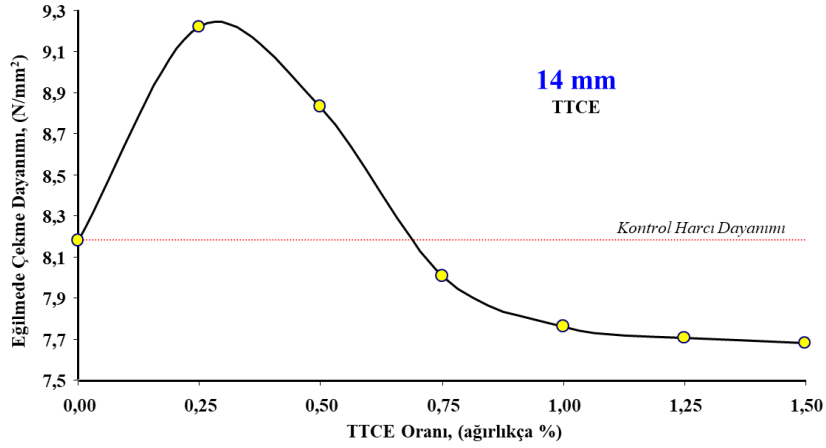


Şekil 9. TTCE katkılı harç örneklerin 12 mm lif katkı oranı – eğilmeye çekme dayanımı ilişkisi

Şekil 9 irdelendiğinde, ağırlıkça %0,75 oranına kadar 12 mm uzunlukta TTCE kullanımının farklı oranlarda da olsa harcın eğilmeye karşı direncini artırdığı görülmektedir. 12 mm TTCE kullanımlı test örneklerinde eğilmeye çekme dayanımının en yüksek değeri ağırlıkça %0,25 oranında elde edilmiş olup,



kontrol harcına göre %12,1'lik bir değer artışına sebep olmuştur. Bununla birlikte ağırlıkça %0,50 oranında TTCE lif katkısının ise %6,9'luk bir eğilmede çekme direnç artışı oluşturduğu belirlenmiştir. Ancak, bu oran değerinden daha yüksek miktarlarda elyaf lif katkı kullanımının ise, harcın eğilme dayanımını düşürdüğü görülmektedir. Bu düşüşün elyaf uzunluğunun büyüklüğü sebebiyle, matris yapıda lif yüzeylerinden eğilme yükü etkisinde kısmi sıyrılmaların oluşmaya başladığı ve bunun da matris yapının eğilmeye ve çekmeye karşı direncini düşürdüğü şeklinde yorumlanmıştır.

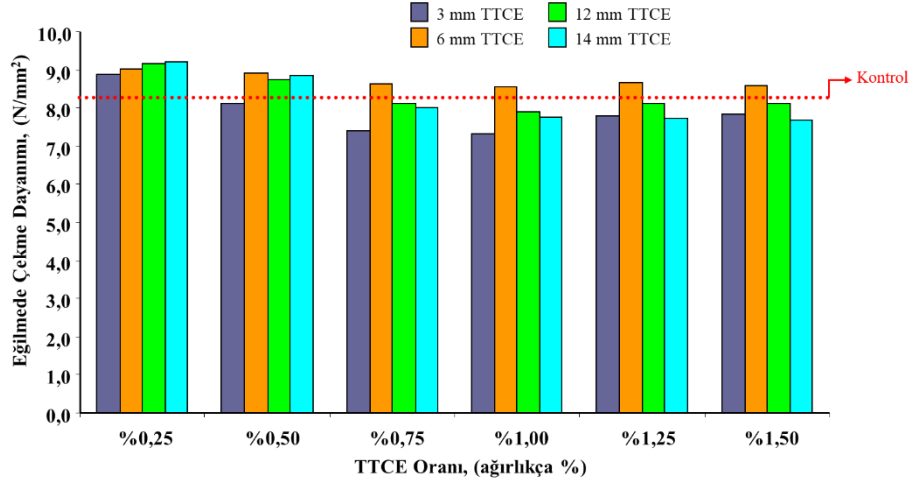


Şekil 10. TTCE katkılı harç örneklerin 14 mm lif katkı oranı – eğilmede çekme dayanımı ilişkisi

12 mm uzunlukta TTCE kullanımlı harç örneklerinin eğilmede çekme dayanımı karakteristiğine benzer şekilde, ağırlıkça %0,70 oranına kadar 14 mm uzunlukta TTCE kullanımının farklı oranlarda da olsa harcın eğilmede çekmeye karşı direncini artırdığı görülmektedir. 14 mm TTCE kullanımlı test örneklerinde eğilmede çekme dayanımının en yüksek değeri ağırlıkça %0,25 oranında elde edilmiş olup (Şekil 10), kontrol harcına göre %12,7'lik bir değer artışına sebep olmuştur. Bununla birlikte ağırlıkça %0,50 oranında TTCE lif katkısının ise %8'lik bir eğilmede çekme direnç artışı oluşturduğu belirlenmiştir. Ancak, bu oran değerinden daha yüksek miktarlarda elyaf lif katkı kullanımının ise, harcın eğilme dayanımını düşürdüğü görülmektedir. Lif uzunluğunun artışı, matris yapıda lif yüzeylerinden eğilme yükü etkisinde daha büyük miktarlarda sıyrılmaların oluşmaya başlamasına, lif miktarına bağlı olarak matris yapıda düzensiz şekilde sarmallaşan lifler arasında daha fazla gözenek oluşmasına ve matris yapının eğilmeye ve çekmeye karşı direncinin azalmasına neden olduğu düşünülmektedir. Diğer bir deyişle, harç bileşimine katılan TTCE lif katkıların uzunluğu arttıkça, hamur içerisinde düzensiz dağılan, rastgele yönlendirilmiş lif pozisyonu, artan düzensiz geometri boşluk oluşumları ve matris yapı – lif yüzeylerinde sıyrılmaya yönünde zayıf kohezyon oluşması sebebiyle eğilmede çekme gerilmelerine karşın zayıf bir donatı vazifesi gördüğü gözlenmiştir.

Harç bileşimine katılan TTCE lif katkıların uzunluğunun harcın eğilmede çekme direncine etkisinin daha anlamlı irdelenebilmesi bağlamında Şekil 11'de verilen grafiksel ilişki irdelendiğinde, düşük lif katkı oranlarında lif uzunluğu artışının daha etkin olduğu görülmektedir (ağırlıkça %0,25 TTCE katkılı).

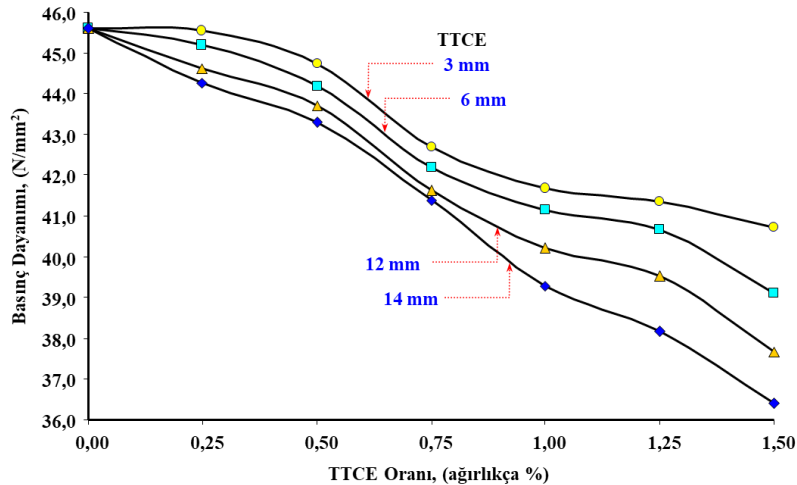
Ayrıca, şekilde kırmızı çizgi kontrol harcının basınç dayanımını temsil etmektedir. Ağırlıkça %0,25 TTCE oranının bütün lif uzunlukları için harcın eğilmede çekme dayanımı arttırdığı açıkça görülebilmektedir. Bununla birlikte, lif katkı oranı artırıldıkça, uzun lif boylarının giderek eğilmede çekme dayanımına olumsuz etkileri gösterdiği belirlenmiştir. Çalışma kapsamında 4 farklı uzunlukta kullanılan TTCE katkıları arasından optimum dayanım sonucunu veren lif uzunluğunun 6 mm olduğu görülmüştür. Ayrıca, harç bileşimine katılan lif katkı oranı – lif uzunluğunun eş zamanlı artışı, eğilmede çekme dayanımlarını önemli ölçüde düşürdüğü görülebilmektedir.



Şekil 11. TTCE katkılı harç örneklerin lif katkı oranı – eğilmede çekme dayanımı ilişkisi

### 3.3. Basınç Dayanımı Analizi

T0 kodlu kontrol harcı örneğinin 28 gün sonrası basınç dayanımı ortalama  $45,6 \text{ N/mm}^2$  olarak belirlenmiştir. TTCE katkılı tüm karışım tasarımlarına ait harç örneklerin basınç dayanımı değeri, kontrol örneği değerinden daha düşüktür. TTCE katkılı harç örneklerin lif katkı oranı – basınç dayanımı ilişkisi Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. TTCE katkılı harç örneklerin lif katkı oranı – basınç dayanımı ilişkisi

Şekil 12 irdelendiğinde görüldüğü üzere, tüm eşdeğer lif katkı oranı değerlerinde lif uzunluğu arttıkça harcın basınç dayanımı da düşmektedir. Karışıma eklenen 3 mm uzunluğundaki lif katkı oranı ağırlıkça %0,25 iken harcın basınç dayanımı referans dayanım değerine göre %0,1'lik bir düşüş göstermektedir. Karışıma eklenen bu uzunluktaki lifin katkı oranı ağırlıkça %1,50'ye artırıldığında harcın basınç dayanımı %2,9 oranında düşmektedir. Benzer şekilde 6 mm uzunluğundaki lif katkı oranı ağırlıkça %0,25 iken harcın basınç dayanımı referans dayanım değerine göre %0,9'luk bir düşüş göstermektedir. Karışıma eklenen bu uzunluktaki lifin katkı oranı ağırlıkça %1,50'ye artırıldığında harcın basınç dayanımı %14,2 oranında düşmektedir. Karışıma eklenen liflerin uzunluğundaki artış, basınç dayanımı düşüşünü daha da etkinleştirmekte olup, 12 mm ve 14 mm lif uzunlukları için %0,25 oranında lif kullanımında sırasıyla, %2,2 ve %2,9 oranlarında düşüş oluşurken, %1,50 oranında lif kullanımında da sırasıyla, %17,4 ve %20,2 oranlarında dayanım değerleri düşmüştür. Standart kum kullanımı ile yapılan çimento esaslı harç karışımlarında cam elyaf liflerin katkı olarak kullanımları üzerine yapılan literatürdeki çalışma bulgularında, harcın basınç dayanımını genel bir eğilimle düşüren bir etki sergilediği görülebilmektedir. Benzer etkileşimler Toklu ve ark. (2022)'nin yaptığı çalışma bulgularında da 3 mm, 6 mm ve 12 mm cam elyaf liflerin uzunluk artışının harcın 28 günlük basınç dayanımında düşüslere neden olduğu belirtilmiştir.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, rüzgâr türbin kanadı üretiminde kullanılan tekstil tipi cam elyafların fiziksel geri dönüşüm ile yeniden boyutlandırılmış ve çimento harçlarında elyaf takviyesi olarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre;

1. Lif uzunluğu arttıkça artan lif kullanım miktarına da bağlı olarak bu değer altında yayılma değerlerinin oldukça azalabileceği tespit edilmiştir. Özellikle 12 mm ve 14 mm lif boyutlu harç tasarımlarında ağırlıkça %1,25'in üzerinde lif kullanımı, yayılma değerlerinin çok küçük olduğunu göstermektedir.
2. 3 mm lifler için %0,50 lif kullanımına, 6 mm lifler için tüm kullanım oranlarında, 12 mm lifler için %0,75 lif kullanımına ve 14 mm lifler için yaklaşık %0,75 lif kullanımına kadar harçların eğilmede çekme dayanımlarının kontrol karışımına oranla artabildiği gözlemlenmiştir.
3. Lif uzunluğunun ve lif kullanım oranının çimento harcında basınç dayanımını azaltabildiği gözlemlenmiştir. En az basınç dayanım kaybı (%0,1) en kısa (3 mm) ve en az kullanım oranında (%0,25) iken, en yüksek basınç dayanım kaybı (%20,2) en uzun lif (14 mm) ve en fazla kullanım oranındadır (%1,50).

Çalışma çıktıları değerlendirildiğinde, rüzgâr türbin kanadı üretiminde kullanılan tekstil tipi cam liflerinin inşaat sektöründe çimentolu ürünlerde eğilme dayanımlarını artırıcı bir takviye olarak kullanılabilmesi kanaatine ulaşılmıştır. Çalışma sonucuna göre, kullanılan boyutlar ve oranlar arasında optimum lif uzunluğu ve kullanım oranı 6 mm ve eğilme ve basınç dayanımları birlikte göz önüne alındığında %0,50 kullanım oranı olarak değerlendirilebilir.

## **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Lütfullah Gündüz: Araştırma için fikir ve hipotezin oluşturulması, sonuçlara ulaşmak için yöntemlerin planlanması, makalenin organizasyonu ve seyrinin gözetimi, bulguların analizi, makale yazımı.

Şevket Onur Kalkan: Deneylerin yapılması, verilerin düzenlenmesi, yazma-orijinal taslak hazırlama, makale yazımı-incelemesi ve düzenlenmesi.

Uğur Uzgan: Metodoloji, makale için önem taşıyan malzeme sağlanması, makale incelenmesi ve düzenlenmesi.

Ömer Sert: Makale için önem taşıyan malzeme sağlanması, makale incelenmesi ve düzenlenmesi.

## **Kaynakça**

Akyüncü V. Investigation of mechanical and permeability properties of fiber mortars. *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies* 2021; 6(1): 29-35.

Al-Ghaban AM., Jaber HA., Shaher AA. Investigation of addition different fibers on the performance of cement mortar. *Engineering and Technology Journal* 2018; 36(9): 957-965.

Chung DDL. Cement reinforced with short carbon fibers: A multifunctional material. *Composites: Part B* 2000; 31: 511-526.

Erkek O. Lifli betonların davranışının deneysel olarak incelenmesi. Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 2020.

Eti Holding. Tekstil tipi cam elyafı ön fizibilite etüdü, Planlama ve Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı, Nisan 2003, Ankara, p105.

Fathi H., Lameie T., Maleki M., Yazdani R. Simultaneous effects of fiber and glass on the mechanical properties of self-compacting concrete. *Constr. Build. Mater.* 2017; 133: 443-449.

Habib A., Begum R., Alam MM. Mechanical properties of synthetic fibers reinforced mortars. *International Journal of Scientific & Engineering Research* 2013; 4(4): 923-927.

Mahdi RS. Experimental study effect of using glass fiber on cement mortar. *Journal of Babylon University/Engineering Sciences* 2014; 22(1): 162-181.

Nandurkar BP., Bahoria BV., Kranti J., Hinge P. Effectiveness of glass fiber-reinforced mortar for improving durability in structures. *Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)* 2023; 42(11): 1-17.

Nataraja M., Dhang N., Gupta A. Toughness characterization of steel fiber-reinforced concrete by JSCE approach. *Cement and Concrete Research* 2000; 30(4): 593-597.

Patil TR., Burile AN. Comparative study of steel and glass fiber reinforced concrete composites. *International Journal of Science and Research* 2016; 5(5): 690- 694.

- Qureshi LA., Ahmed A. An investigation on strength properties of glass fiber reinforced concrete. *International Journal of Engineering Research and Technology* 2013; 2(4): 2567-2572.
- Rai A., Joshi YP. Applications and properties of fiber reinforced concrete. *Journal of Engineering Research and Applications* 2014; 4(5): 123-131.
- Sanjeev J., Sai Nitesh KJN. Study on the effect of steel and glass fibers on fresh and hardened properties of vibrated concrete and self-compacting concrete. *Materials Today: Proceedings* 2020; 27: 1559–1568.
- Singh VK. Effect of polypropylene fiber on properties of concrete. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology* 2014; 3(12): 312-317.
- Sree RK., Satyanarayana KW., Anil NC., Naidu PS. Effect of glass fibre on fly - ash based concrete. *International Journal of Scientific Development and Research (IJS DR)* 2018; 3(12): 57-65.
- Şenses AM., Aydın T., Filazi A. Enhancing cement mortar with glass fiber additives: effects and benefits. 2nd International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences ICENSOS, 4-6 April 2023, sayfa no:301-306, Konya.
- Tassew ST., Lubell AS. Mechanical properties of glass fiber reinforced ceramic concrete. *Constr. Build. Mater.* 2014; 51: 215-224.
- Toklu K., Aşar YE., Cihan MT., Bıçakçı E. Cam lifi uzunluğu ve oranının çimento harçlarının mekanik özelliklerine etkisi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi UMAGD* 2022; 14(1): 95-102.

## The Impact of Using Dimpled Surfaces on Ahmed Body on The Flow Characteristics

Veli Kemal AYDIN<sup>1</sup>, Mustafa Atakan AKAR<sup>2\*</sup>, Oğuz BAŞ<sup>3</sup>, Umut KUMLU<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup>Çukurova University, Department of Automotive Engineering, 01330, Adana, Türkiye

<sup>1</sup>Kırpart Otomotiv Sanayi A. Ş. , 16800 , Bursa, Türkiye

<sup>3</sup>Amasya University, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, Amasya, Türkiye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0009-0000-9066-0974>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-0192-0605>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0003-2301-2306>

<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0001-7624-6240>

\*Corresponding author: aakar@cu.edu.tr

### Research Article

#### Article History:

Received: 08.11.2023

Accepted: 28.02.2024

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

Drag coefficient

Lift coefficient

Aerodynamics

Computational fluid dynamics

(CFD)

Ahmed body

### ABSTRACT

Vehicle aerodynamics which directly affects fuel consumption values in vehicles has great importance in terms of vehicle stability, acceleration ability, vehicle noise, and environmental pollution. Ahmed car model is one of the most important generic models, so this popular car model is widely used in the literature on fluid mechanics and vehicle aerodynamics studies. This study investigated the effect of a passive drag reduction technique which is known as dimple surface, on the Ahmed car model with a 35° slant angle. The flow control methods were applied numerically also these methods were compared with similar works. Analysis made in this study was conducted with 2.4 million cell numbers and the maximum drag reduction is 3.5 % with optimum dimple surfaces. Moreover, the applicability and manufacturability factors were also evaluated in terms of implementing the dimpling modification to today's current road vehicles.

## Ahmed Cisminde Çukurlu Yüzeyle Kullanmanın Akış Karakteristiklerine Etkisi

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 08.11.2023

Kabul tarihi: 28.02.2024

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Sürükleme kuvveti katsayısı

Kaldırma kuvveti katsayısı

Araç aerodinamiği

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği

(CFD)

Ahmed cismi

### ÖZ

Araç yakıt tüketim değerlerini doğrudan etkileyen araç aerodinamiği aynı zamanda araç stabilitesi, hızlanma yeteneği, araç sesi ve çevre kirliliği açısından büyük öneme sahiptir. Ahmed cismi jenerik araç modeli akışkanlar mekaniği ve araç aerodinamiği konusunda yapılan çalışmalarda çok fazla kullanılmaktadır. Akış kontrol yöntemlerinin numerik olarak araştırıldığı bu çalışmada sonuçlar deneysel veriler referans alınarak doğrulanmıştır. Bu çalışmada çukur yüzey olarak bilinen pasif sürükleme azaltma tekniğinin 35° eğik açılı Ahmed araba modeli üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Analizler 2.4 milyon mesh sayısı ile çözümlenmiş olup, çukurcuklu yüzeylerin kullanılması ile en iyi modelde sürükleme kuvveti katsayısında %3,5 azalma elde edilmiştir. Aynı zamanda bu çalışmanın aerodinamik açısından anlamlı olması için uygulanan bu çukur yüzeylerin günümüz araçlarına uygulanabilirliği ve üretilebilirlik faktörü de değerlendirilmiştir.

**To Cite:** Aydın VK., Akar MA., Baş O., Kumlu U. The Impact of Using Dimpled Surfaces on Ahmed Body on The Flow Characteristics. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(3): 1358-1373.

## 1. Introduction

Nowadays continuously increasing fuel prices and climate change effect have caused fuel efficiency to become an important issue in the vehicle production industry. Also, the significant rise in the usage of energy resources with population growth and fuel consumption is becoming more critical.

The main objectives are the reduction of fuel consumption values which depend on three essential parameters: engine performance, car weight, and coefficient of drag to enhance fuel economy (Abd-Alla, 2002) (Peter et al., 2010) (Muyl et al., 2004). The drag coefficient of a vehicle plays an important role in the total fuel consumption value. For a sedan car at 100 km/h approximately 20 % of total fuel consumption and for a heavy car 50 % of total fuel consumption is used to overcome drag forces (M.Brady et al., 1999). Therefore, improving vehicle design and overcoming design limitations to reduce the coefficient of drag is an important step all over the vehicle design process in the automotive industry (Howell et al., 2002).

Two types of drag forces exist in aerodynamics which are pressure and friction drag. The pressure drag occurs from the pressure difference between the front and rear of the body and it is related to the form of aerodynamic design and flow detachment. However, friction drag is caused by friction between the air and the body and it affects the viscosity of air which is directly related to the Reynolds number and surface area of the body.

In aerodynamics studies, wind tunnel experiments are very successful to simulate real conditions and obtaining reliable results of the analysis. However, testing each optimization may lead to high costs and waste of time. However, with the developing technology and high-performance computers in Computational fluid dynamics (CFD) software has been an alternative for wind tunnel experiments.

In the Automotive industry, there are many reference car models, which are called generic ground models. Generic ground models are generally used in literature as a simulation model and each generic model has a specific characteristic aerodynamics depending on analysis conditions. These generic models are also named bluff bodies and these bodies have flow separation zones and characteristics of wake flow region (Kamal et al., 2021). This flow separation causes a lower pressure in the rear wake zone and all the optimization studies aim to reduce the big pressure difference between relatively higher-pressure zone and lower pressure zone.

Ahmed Body generic model is one of the important simulation tools in automotive aerodynamics literature. The model is easy to create and analyze because of its simple geometric shape compared to commercial vehicles (Howell et al., 2002). Even if it has a simple shape, it can create complex flow characteristics like commercial vehicles. A demonstration of full-scale Ahmed Body dimensions and slant angle variations can be seen in Figure 1.

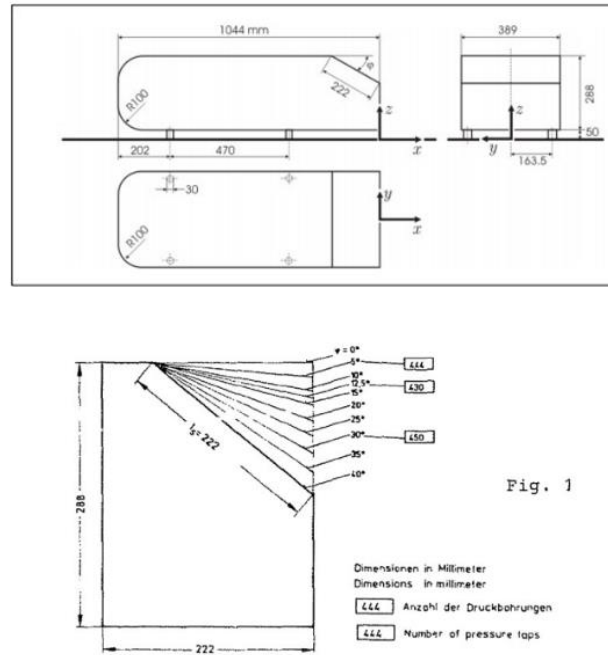


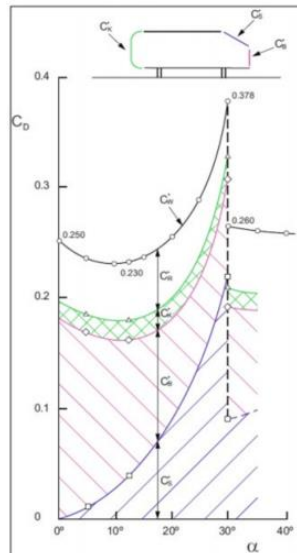
Fig. 1

**Figure 1.** Schematic of Ahmed Body Dimensions and Slant Angle Variations (Ahmed et al., 1984)

Three major components of Ahmed body are the front cylindrical surface, longitudinal part, and angled rear window. The main flow separation occurs at the angled rear window area with the air coming from the top, bottom, and side areas. These separated and unformed shear layers after the end of the vehicle tend to each other because of a stagnation zone occurs. This zone created by layers is called the wake zone. The drag coefficient versus variation of the slant angle can be seen in Figure 2.

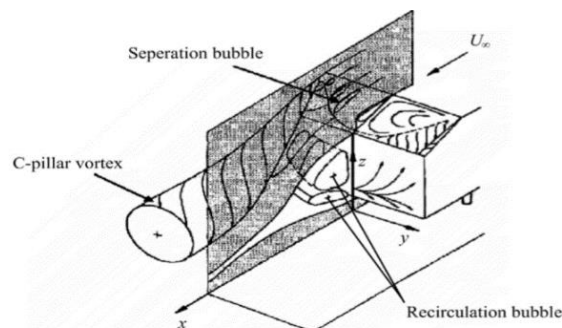
At the beginning of the slant angled area flow starts to separate and at the end of the slant area flow reforms to a separating bubble shape. To see the effect of slant angle on vehicle aerodynamics in the range of  $0^\circ$  to  $40^\circ$  angle values was studied by (Ahmed et al., 1984). According to this study, two critical angle values were detected which are  $12.5^\circ$  and  $30^\circ$ . Investigating the wake structure of the body has shown a significant increment detected between the values  $12.5^\circ$  and  $30^\circ$  (Lienhart et al., 2022). If the angle value is around  $30^\circ$ , C-pillar vortices increase because of pressure drop on the slant area with the effect of separating the bubble. Over the  $30^\circ$  slant angle the C-pillar becomes less strong because flow could not reattach to the slant angle surface compared to previous angle values. Therefore, the maximum drag coefficient value was at  $30^\circ$ , and over these values decreased (Vino et al., 2005).





**Figure 2.** Ahmed body drag coefficient ( $C_d$ ) variation with the change of slant angle ( $\alpha$ ) (Ahmed et al., 1984)

In this study, the slant angle value was not a variable parameter, and was selected as  $35^\circ$ . The significant characteristics flow of Ahmed body with flow separation and recirculation areas in the wake can be seen in Figure 3. As mentioned, the wider and greater wake region area is the main reason of the strong C-pillar vortices and high drag coefficient (Leroyer et al., 2011). There are some methods to eliminate the sudden pressure drop on the wake region and these methods are divided into active and passive methods depending on energy addition the control system (Altaf et al., 2014).



**Figure 3.** Averaged near wake structure of Ahmed model of  $\alpha= 12.5-30$  (Ahmed et al., 1984)

Active control methods need external energy synchronized with the vehicle's energy distribution system. These active methods work in harmony with more than one engineering system like electromagnetic, mechanic, electric, piezoelectric, and acoustic. Contrary to passive methods, active methods mostly use moveable wings, walls, vortex generators, covers, or grills to control flow depending on a vehicle's velocity. Of course, design, size, and weight parameters are very critical since they can negatively affect when joined in the vehicle system. It can be understood from all that, active drag reduction methods are more complicated and have higher costs so that it is difficult to perform and work on with them.

Generally, passive control methods include body modification or add on operations on the vehicle surface. They are divided into two categories and how it affects the flow. The first category includes

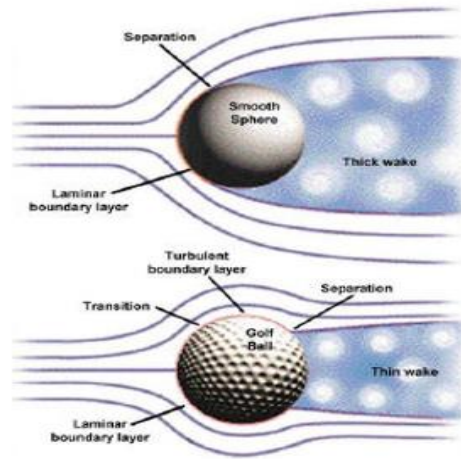
barriers directly mounted on the vehicle surface and the second category consists of barriers located in the upper or lower position of the vehicle.

The objective body used in this study was demonstrated by (Ahmed et al., 1984). Even though Ahmed body was simple and available for CFD analysis, each turbulence model was not capable of solving the rear wake turbulence zone. That could be the reason why some of the studies in the literature aimed to investigate the predicting capabilities of turbulence models for different conditions. For example, a study was made by (Krajnovic et al., 2004) implemented a Large-Eddy simulation model flow around the Ahmed body. Large-Eddy Simulation (LES) is a CFD method that solves large flow wakes using Navier Stokes equations directly. But LES was an effective medium scale of Reynolds number it was capable of the direct solution instead of to modeling. Moreover, LES necessitates high computational resources and time when simulating highly turbulent flow. In another study, (Kapadia et al., 2004) studied a different CFD modeling technique as Detached Eddy Simulation (DES) with a cell number of 1.74 million. 25° and 35° slant angle Ahmed body models were analyzed, and results showed a 5% approximate value was taken according to experimental results (Ahmed et al., 1984).

Despite the DES and LES techniques having had perfect predicting capabilities of flow, they could not be used in some studies due to the computer requirements and more solution time. However, Reynolds-averaged Navier Stokes (RANS) based turbulence models are good alternative methods and very common in the automotive industry. Ahmed body with 25° was modeled by (Jakirlic et al., 2001) with the Realizable k- $\epsilon$  model and 2.3 million cell numbers and it is stated that despite the RANS models not being very good to predict flow separation characteristics, the result of this study can be in acceptable accuracy.

To create smaller wake flaps or deflectors, splitter plates, boat tails, vortex generators, and non-smooth surfaces one of the passive drag reduction methods. Implementing a vortex generator on Ahmed body 25° slant angle on 20 m/s free stream velocity provides 11.7 % maximum drag reduction. Vortex generators are positioned on top of the Ahmed body surface at a determined distance to control flow and prevent early separation (Krajnovic et al., 2004). Analysis in this study has been done with Ansys CFD commercial software.

Non-smooth surfaces are a very effective technique for reducing drag coefficient and making proper flow separation rear surface of Ahmed body. Dimpled surfaces are good examples of non-smooth surfaces. Dimpled surfaces on a golf ball that provide longer distance travel if compared to a non-dimpled surface ball are inspired by engineers. Because of long distance travel, it provides lower turbulent air in flow separation areas with the aid of dimpled surfaces. In Figure 4 the wake characteristics of golf balls are compared with dimple surfaces and without dimples.



**Figure 4.** Dimpled surfaces on a golf ball (Chear et al., 2015)

From this point of view, in this study, Ahmed body with dimpled surfaces was investigated to compare flow and wake region characteristics. During CFD simulations, poly-hex core meshed CFD setups were solved with k-w SST turbulence model. The main objective of the study is to evaluate the drag coefficient and see the effect of variable design parameters of dimpled surfaces on vehicles. Furthermore, reducing the drag coefficient of an automobile improves the performance of the vehicle and fuel efficiency so the main purpose of the study was to reduce energy losses and inefficiencies by making aerodynamic improvements on the road vehicle model Ahmed body with an angle of 35°.

## 2. Material and Methods

### 2.1 Cad Model

As seen in Figure 1, the dimensions of the model; length  $L = 1044$  mm; width  $W = 389$  mm; height  $H = 288$  mm; length of slant back  $E = 222$  mm. Also, the diameter of the cylinders (stilts) is 30 mm and the height values of them are 50 mm from the origin. CATIA software was used to create 3D models of Ahmed body. In this study, dimples were used as a passive drag reduction technique on Ahmed body rear window area. Dimple characteristics have been defined by the surface roughness formula (Chear et al., 2015):

$$\text{Dimple depth ratio} = \frac{k}{d} \quad (1)$$

$k$  defines the dimple depth value and  $d$  defines the diameter value.

There are 15 different dimpled models used in simulations while they were configured with 3 different diameters. Also, each model has different depth values in its own group. It can be seen from Figure 5 and Table 1 that dimple surfaces were implemented with the same configurations on Ahmed body rear window area in all models. Additionally, to prevent a sharp surface between the rear window and the

dimples, 0.5 mm fillet radius was applied between the intersections of the dimples and the flat rear surface of the model.

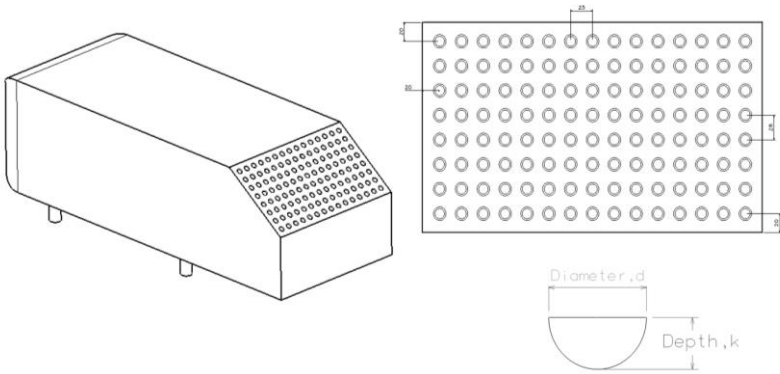


Figure 5. Ahmed body with dimple surfaces and dimensions in mm

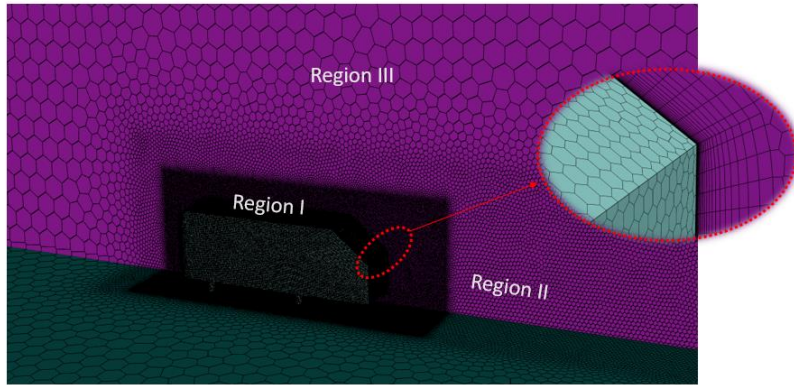
Table 1. Diameter and depth values for each model

Model Number	10d1h	10d2h	10d3h	10d4h	10d5h	15d1h	15d2h	15d3h	15d4h	15d5h	20d1h	20d2h	20d3h	20d4h	20d5h
Dimple Diameter (mm)	10	10	10	10	10	15	15	15	15	15	20	20	20	20	20
Dimple Depth (mm)	2	3	4	5	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Surface Roughness ( $\epsilon$ )	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.06	0.13	0.2	0.26	0.33	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25

2.2 Mesh generation and mesh independence

In CFD simulations, mesh resolution should be chosen rigorously. For example, in case of creating too fine or too coarse grid structure, it is possible to over-resolve or under-resolve the solution. Choosing a tiny mesh element size completely on the flow region causes high solution time and computational source requirement while low-resolution in mesh size may lead to sacrificing accuracy.

In this study, the flow region was separated into 3 different regions, the mesh resolution increased from the free-stream flow region to the vehicle body wall. To generate meshes for CFD simulations, the Watertight Geometry workflow tool in Ansys Fluent was used. The usage of this tool is so simple and simplifies mesh generation that it provides to complete all stages in one window. Also, thanks to the new poly-hexcore meshing algorithm, it is possible to improve mesh quality and reduce element quantity without compromising accuracy.

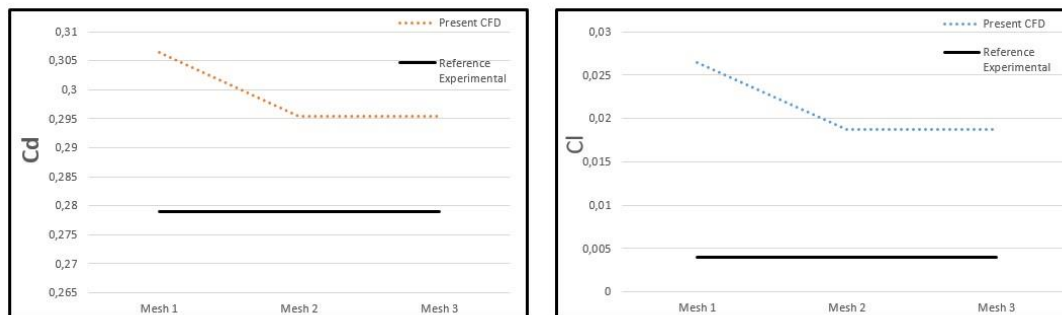


**Figure 6.** View of grid regions with 3 different mesh densities

As demonstrated in Figure 6, to make strategic mesh refinement, the flow domain was divided into 3 flow regions. The closest region to vehicle walls had the smallest mesh sizes to resolve flow characteristics around the vehicle. The  $y^+=1$  strategy for first cell height was sustained as an essential requirement when solving viscous sublayer with  $k-\omega$  SST to take advantage of this model. Also, 24 prism layers were used to increase the modelling of the capability of a fully turbulent boundary layer profile and the effect of the adverse gradient forces. Additionally, in numerical simulations mesh independence study was very vital to select an available and sensible number of mesh cells. In this study, as can be seen from Table 2, each region was analyzed with 3 different levels which were Mesh 1, Mesh 2, and Mesh 3. According to the results of the mesh independence tests represented in Figure 7, it was found that flow solutions were almost independent of grid size after the grid level of Mesh 2.

**Table 2.** Mesh sizing strategy

	Mesh 1	Mesh 2	Mesh 3
Element Size of region I (mm)	20	7.5	5
Element Size of region II (mm)	40	17.5	12.5
Element Size of region III (mm)	175	100	75
First prism layer height (mm)	0.04	0.04	0.04
Number of prism layer	24	24	24
Growth rate	1.2	1.2	1.2
Volume mesh type	Poly-hexcore	Poly-hexcore	Poly-hexcore
Total mesh count ( $\times 10^6$ )	1.1	2.4	5.5



**Figure 7.** Mesh independence study

### 2.3 Turbulence Model

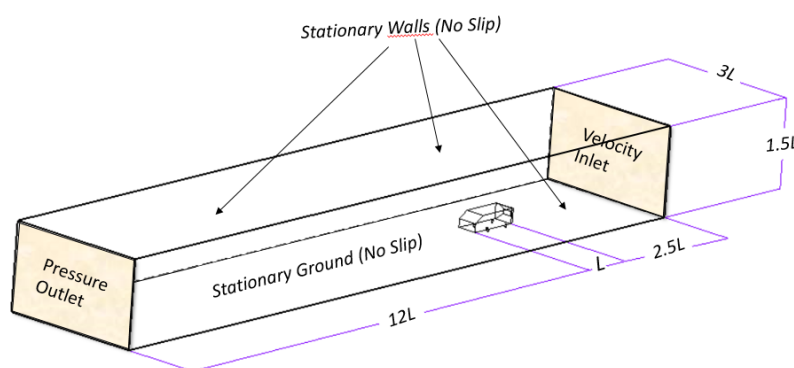
SST  $k-\omega$  RANS model was adopted for numerical simulations in this study since it was advantageous in terms of computational cost compared with Detached Eddy Simulations (DES), Large Eddy Simulations (LES), and Unsteady Reynolds-Averaged Navier-Stokes (URANS). The main aim of  $k-\omega$  Shear Stress Transport (SST) (Menter et al., 1992) was to utilize the aerodynamic modelling superiority of the model. SST  $k-\omega$  model was used widely in aerodynamic studies so that it combined modelling capabilities of  $k-\omega$  and  $k-\epsilon$  on near the walls and free shear layers far from surfaces.

### 2.4 Boundary conditions, solver settings, and post-processing

Air was set as fluid which was assumed constant properties and be incompressible. The air velocity was set to 40 m/s corresponding a Reynolds number of  $Re = 2,86 \times 10^6$  was based on length of the Ahmed body. The turbulence intensity value was selected at 0.5%. Also, the pressure outlet value was set to 0 Bar gauge pressure with 5 % turbulence intensity. These turbulent intensity values were selected to simulate the experimental results of (Meile et al., 2011) in this study. The experimental results of (Ahmed et al., 1984) at  $Re = 4.29 \times 10^6$  are included also to verify the result of this study. The ‘Double Precision’ setting was selected to increase the accuracy of the solution. Parallel processing options were chosen instead of serial and the number of processes were selected considering the hardware facilities of the solver computer.

The spatial discretization was selected 2<sup>nd</sup> order upwind for the momentum and pressure. Additionally, convergence criteria values were  $10^{-5}$  for all residuals to attain high accuracy.

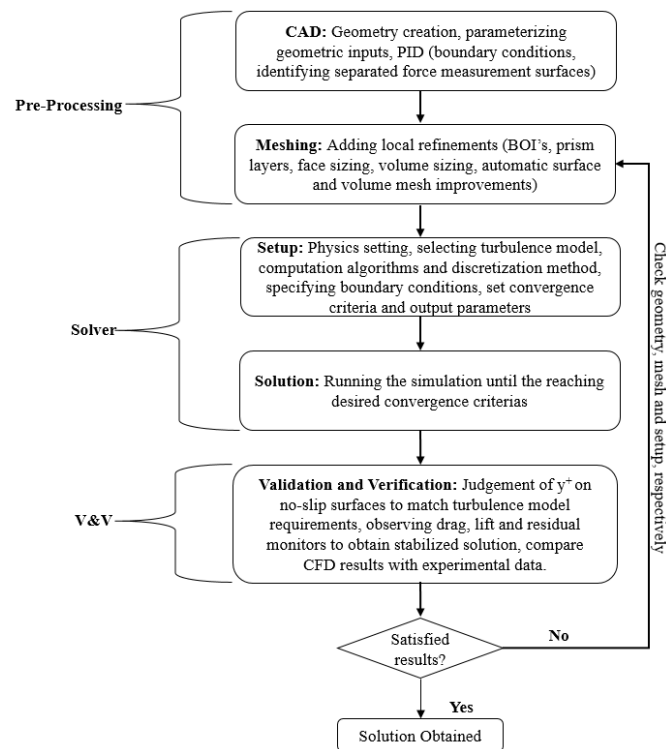
The boundary conditions and flow parameters used in the numerical solutions are shown in Table 3. As can be seen from Figure 8, the size of the flow domain was generated big enough to obtain fully developed flow before the body and resolve wake completely. A quasi-3D was used to reduce the number of elements and analyze time.



**Figure 8.** Dimensions and boundary conditions of the computational domain

<b>Boundary Condition Parameters</b>	<b>Boundary Condition Type</b>	<b>Quantity</b>
Inlet	Velocity inlet	40 m/s
Outlet	Pressure outlet	1 atm
Walls (Ahmed body)	Stationary wall with no-slip condition	–
Walls (Enclosure)	Stationary wall with no-slip condition	–

The general CFD approach applied in this study can be seen in Figure 9.



**Figure 9.** Procedures for CFD simulations

### 3. Finding and Discussions

#### 3.1 Validation

Numerical analysis results in this study were compared in Table 4 including some numerical and experimental studies that existed in the literature. These reference studies both include numerical results (Thabet et al., 2018) and experimental results (Ahmed et al., 1984) (Meile et al., 2011). Reference studies selected considering similar boundary settings as possible with the current study however some there can be some differences in the sense of flow domain, turbulence model, Reynolds number, or total mesh number. One of the main experimental references was (Ahmed et al., 1984) made all tests with 60 m/s air stream. This corresponds to a Reynolds number of 4.29 million based on body length. This Reynolds number was approximately 2.1 million higher than the current study. The second experimental reference

study by (Meile et al., 2011) investigated the effect of slant angle using 25 ° and 35 °. Experiments were conducted at a velocity range  $10 \text{ m/s} \leq U_{\infty} \leq 40 \text{ m/s}$  to see the effect of the Reynolds number but main strategy for this study is applying a constant velocity of 40 m/s which corresponds to  $Re = 2,784 \times 10^6$  to avoid interpreting chaotic too much results. When compared with these two experimental studies, deviation values for  $C_d$  coefficients were 12.68% (Ahmed et al., 1984) and 6.59% (Meile et al., 2011). The main reason for the deviation is airstream velocity was higher in Ahmet et. al study (Ahmed et al., 1984).

The numerical study carried out by (Thabet et al., 2018) used a realizable k-ε model and adopted an Ahmed body with different slant angles. To evaluate the effect of different slant angles on Ahmed body, 10-40 ° slant angle models were analyzed. When comparing the result of the 35° slant angle model, drag coefficient value of this study only deviates by 0.16%. This variation can be acceptable, and the  $C_d$  results of this current study are in good agreement with previous experimental and numerical results.

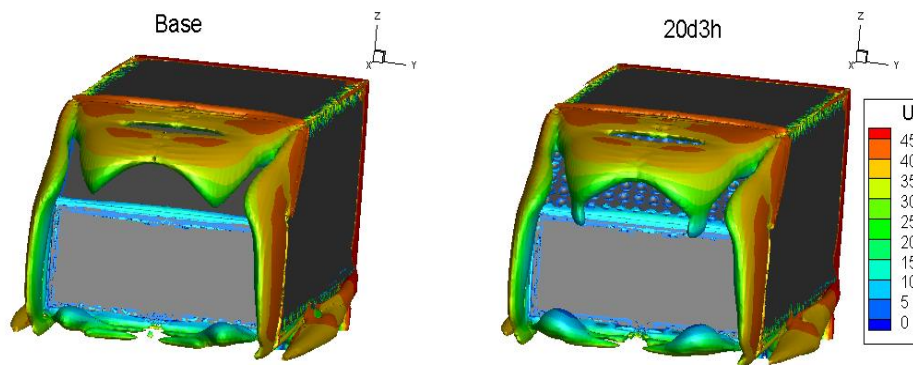
### 3.2 Evaluation of force coefficients

**Table 4.** Numerical studies result in comparison with reference studies

Model	Thabet et al., 2018	Emmanuel et al.,	Ahmed et al ., 1984	Meile et al., 2012	Base	10d1h	10d2h	10d3h	10d4h	10d5h
$C_D$	0.2949	0.2895	0.258	0.276	0.2954	0.2914	0.2864	0.2863	0.2865	0.2878
$C_L$	0.0205	n.a	n.a	0.004	0.018	0.026	0.0685	0.0518	0.018	0.0546
Model	15d1h	15d2h	15d3h	15d4h	15d5h	20d1h	20d2h	20d3h	20d4h	20d5h
$C_D$	0.2862	0.2858	0.2856	0.2859	0.286	0.2855	0.2852	0.2851	0.2851	0.2854
$C_L$	0.062	0.064	0.0619	0.0501	0.096	0.0686	0.0547	0.0487	0.0359	0.017

The biggest drag reduction was attained by 3.5 % with 20D3H, while the lowest drag reduction was 2.5 % with 10D5H compared with to the base model which is 0.2945. It can be seen from Table 4, that increasing dimple diameter provides a positive effect on decreasing drag value, but the dimple depth factor causes a negative effect after a certain point. According to numerical results in Table 4, all dimple models enable a drag reduction when compared with the reference base Ahmed body model.

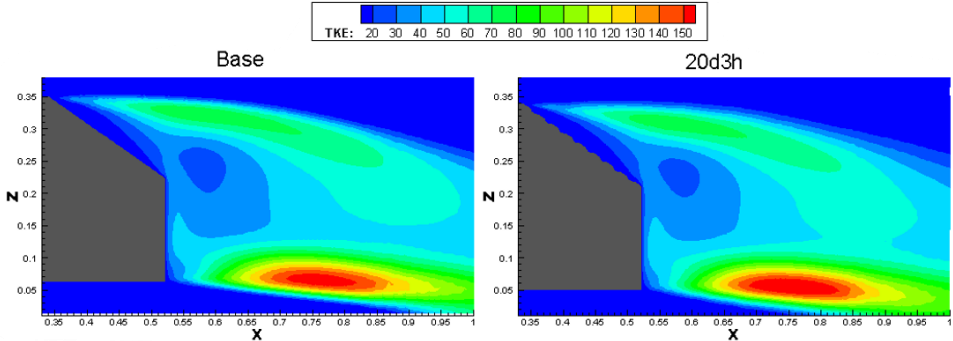
### 3.3. Comparison of wake flow structures



**Figure 10.** Iso-surfaces of Q criterion demonstration for numerical analysis

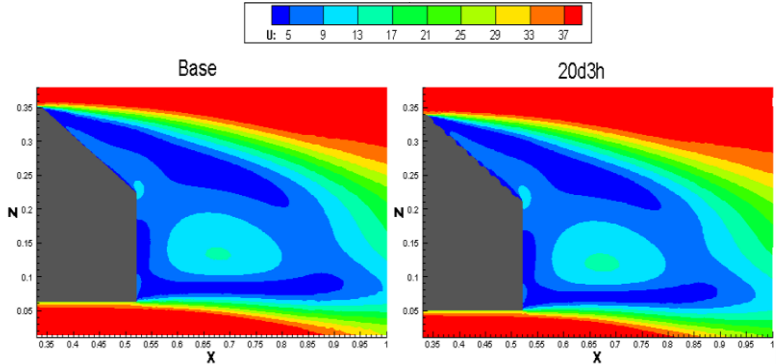


In this part of the study, qualitative flow representations were carried out between the optimum model with minimum drag (20d3h) and the base model. According to Figure 10, Q criterion can be seen, which was one of the vortex demonstration methods in fluid dynamics. The Q criterion defines vortices as 3D where the vorticity magnitude is greater than the magnitude of the rate of strain. For these two models, it is possible to see upper, lower, and longitudinal flow separation from the rear of the body. The obvious difference was lower and upper wakes tended to interact with each other more compared with the base model. This interaction resulted in a smaller wake region and provided pressure recovery at the rear of the body.



**Figure 11.** Turbulence kinetic energy (TKE ( $m^2/s^2$ )) contours in the symmetry plane

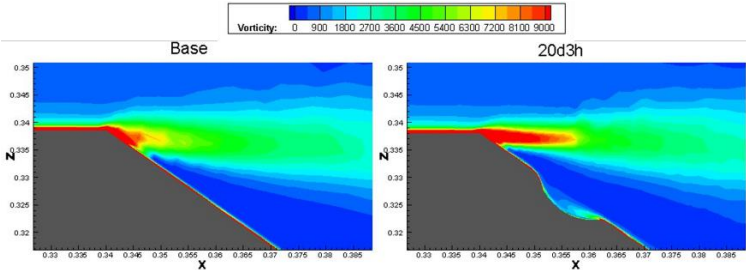
TKE is the qualitative measure of energy dissipation and loss for a given flow. It can be measured as the root mean square of the fluctuation in the flow velocity. TKE contours demonstrated higher energy loss due to higher drag. TKE contours in Figure 11 support previous comments about these two models. As can be seen, the lower and upper flow tended to interact at the rear of the body. The upwash and downwash break off clearly in the base model, but the same flows interact with each other in the 20d3h model. This indicated that the flow was is tending to a regular and uniform flow behavior.



**Figure 12.** Velocity magnitude ( $u$  (m/s)) contours in the symmetry plane

A regular and narrower wake are essential in terms of aerodynamic performance for a vehicle. Ahmed body rear wake was almost independent of the front and longitudinal surfaces. That was why in this study drag reduction surfaces affected only the wake zone of the body. For the base model, it is possible

to see a bigger wake region on the rear however, optimized model using dimple surfaces enabled a smaller wake and provided pressure and velocity recovery. When comparing the end of the two contours it can be seen dark blue velocity regions were smaller and terminated before according to the base model. Also, the size of the green elliptical region in the middle of the contours is bigger than compared to the base model. When this information is evaluated, there was a velocity recovery using dimple surfaces.



**Figure 13.** Vorticity (1/s) contours in the rear separation zone

Figure 13 shows vorticity magnitude contours in the symmetry plane. One of the main aims of using dimple surfaces was to eliminate or delay flow separation from the rear surface. The vorticity contours were represented in terms of the cohesion effect between flow particles and the vehicle surface. In Figure 13, since there was an elongation during the separation rear corner of the vehicle it can be said that an improvement has been gained in terms of attaching to the surface. According to the vorticity distribution of the rear area and it can be understood that dimple surfaces increased the power of the vortex by downwashing.

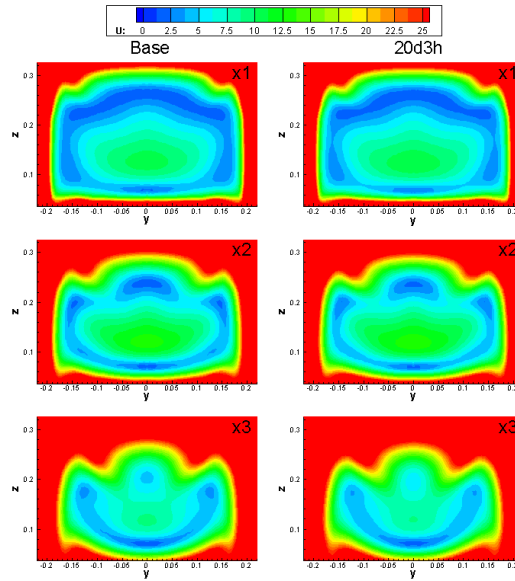
**Table 5.** Location of the planes

	Location		Location
$X_1$	$x/L=0.1$	$Y_1$	$z/H=0.574$
$X_2$	$x/L=0.2$	$Y_2$	$z/H=1$
$X_3$	$x/L=0.3$	Symmetry	$y/W=0$



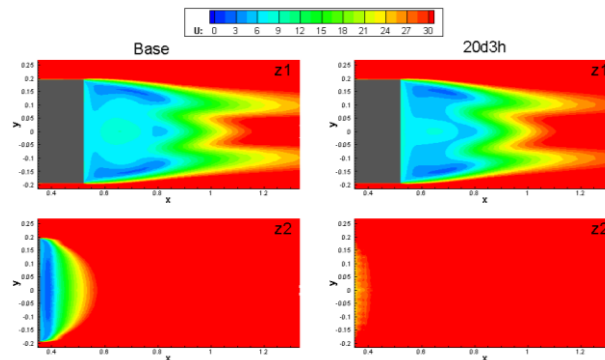
**Figure 14.** Demonstration of planes

In Figure 15 normalized velocity contours are demonstrated using  $X_1$ ,  $X_2$  and  $X_3$  planes. These planes the vehicle from top to bottom also exact locations can be found in Figure 14 and Table 5. Naturally, as the distance increases from the vehicle surface, the size and value of velocity contours are reduced. But when evaluating the same distance level of planes, the optimized model’s contours have smaller velocity regions according to base models. The more apparent difference can be seen for the upper velocity profiles which prove the effect of usage dimples on the rear surface.



**Figure 15.** Velocity (m/s) magnitude contours with vertical planes ( $X_1, X_2, X_3$ )

In Figure 16, velocity magnitude contours are illustrated with two horizontal planes.  $Z_2$  plane locates upper side and  $Z_1$  plane locates on the lower side of the vehicle. It can be seen from the contours at the  $Z_2$ , the velocity values are smaller and create a flow separation for base model compared to the flow contour optimized model. However, with the optimized 20d3h model, the wake region is narrowing. Especially  $Z_2$  contours show that there is a remarkable velocity recovery with the 20d3h model which can be attributed to drag reduction. Moreover, smaller wake is obvious for the optimized model compared with the base model at the  $Z_2$ .



**Figure 16.** Velocity (m/s) magnitude contours with horizontal planes ( $Z_1, Z_2$ )

#### 4. Conclusions

In this study, a drag reduction study was represented to improve the aerodynamic characteristics of a generic car model's rear wake zone. The dimpled rear window surface of Ahmed body with the  $35^\circ$  slant angle was optimized with variable parameters in each model. This study showed similar results to the main reference study by (Chear et al., 2015) in terms of passive drag reduction methods. These passive methods reduced pressure gradients by creating friction on the flow boundary layer. Inferences from this study can be summarized below:

- The dimpled surface could decrease the drag coefficient up to some certain design parameters.
- Although increasing dimple diameter affects positive, the higher dimple depth caused to increase in drag coefficient value after some certain point.
- Despite the optimized model reduces  $C_D$  value, there was no consistent variance on  $C_L$  values between optimized models and base models.

To conclude, it can be said that dimple surfaces reduce wake and turbulent intensity on the rear of the Ahmed's body. Especially flow separation zones are very critical to improving aerodynamic performance. In future studies, surface roughness techniques such as dimples, and vortex generators, can be applied to different zones of the car like bottom, top, side, and front surfaces, and their combinations. Moreover, considering that the drag reduction values are considerably low compared to vehicle size, it creates a discussion subject of whether this study is feasible or not. Also, it should be considered in terms of the commercial side because changing vehicle part shapes affects production conditions and it is important for the manufacturers whether it will be preferred visually or not.

### **Conflict of interest**

The authors declare that there is no conflict of interest.

### **References**

- Abd-Alla GH. Using exhaust gas recirculation in internal combustion engines: a review. *Energy Conversion and Management* 2002; 43: 1027-1042.
- Ahmed SR., Ramm G., Faltin G. Some salient features of the time-averaged ground vehicle wake. *SAE Transactions* 1984; 93(2): 473-503.
- Altaf A., Omar AA., Asrar W. Review of passive drag reduction techniques for bluff road vehicles. *IJUM Engineering Journal* 2014; 15(1): 61-69.
- Bayraktar I., Landman D., Baysal O. Experimental and computational investigation of Ahmed body for ground vehicle aerodynamics. *Journal of Commercial Vehicles* 2001; 110(2): 321-331.
- Bing-xin W., Zhi-gang Y., Hui Z. Active flow control on the 25° Ahmed body using a new unsteady jet. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 2019; 79: 108459.
- Brady M., Browand F., Hammache M., Heineck JT., Leonard A., McCallen R., Ross J., Rutledge W., Salari K., Storms B. Progress in reducing aerodynamic drag for higher efficiency of heavy-duty trucks (Class 7-8). Lawrence Livermore National Laboratory Technical Report UCRL-JC-132873 1999; California, United States.
- Chear CK., Dol SS. Vehicle aerodynamics: Drag reduction by surface dimples. *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering* 2015; 9(1): 202 – 205.
- Howell J., Sherwin C., Passmore M., Le Good G. Aerodynamic drag of a compact SUV as measured on-road and in the wind tunnel, *SAE Technical Papers* 2002; 2002-01-0529.
- IMO. Third IMO GHG Study 2014 - Executive Summary and Final Report. 1 ed. International Maritime Organization 2015; London, UK, 1-327.

- Jakirlic S., Jester-Zürker R., Tropea C. 9th Ercoftac/Iahr/Cost Workshop on Refined Turbulence Modelling 2001.
- Kamal MNF., Ishak IA., Darlis N., Maji DSB., Sukiman SL., Rashid RA., Azizul MA. A review of aerodynamics influence on various car model geometry through CFD techniques. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences* 2021; 88(1): 109-125.
- Kapadia S., Roy S., Wurtzler K. Detached eddy simulation over a reference Ahmed car model. in *Direct and Large-Eddy Simulation* Eds. Friedrich VR., Geurts BJ., Métais O. Springer, Dordrecht 2004.
- Krajnović S., Davidson L. Large-eddy simulation of the flow around simplified car model, *SAE Technical Papers* 2004.
- Leroyer A., Wackers J., Queutey P., Guilmineau E. Numerical strategies to speed up CFD computations with free surface-Application to the dynamic equilibrium of hulls. *Ocean Engineering* 2011; 38, 2070-2076.
- Lienhart H., Stoots C., Becker S. Flow and turbulence structures in the wake of a simplified car model (Ahmed Model). *New Results in Numerical and Experimental Fluid Mechanics III* 2022; 77: 323-330.
- McNally JW., Alvin FS., Mazellier N., Kourta A. Active flow control on an Ahmed body - An experimental study, in *53rd AIAA Aerospace Sciences Meeting* 2015; 1-15.
- Meile W., Brenn G., Reppenhagen A., Lechner B., Fuchs A. Experiments and numerical simulations on the aerodynamics of the Ahmed body. *CFD Letters* 2011; 3(1): 32-39.
- Menter FR. Improved Two-Equation k-turbulence models for aerodynamic flows. *NASA Technical Memorandum* 1992; 103975.
- Muyl F., Dumas L., Herbert V. Hybrid method for aerodynamic shape optimization in automotive industry. *Computers and Fluids* 2004; 33(5-6): 849-858.
- Peter JEV., Dwight RP. Numerical sensitivity analysis for aerodynamic optimization: A survey of approaches. *Computers and Fluids* 2010; 39(3): 373-391.
- Strachan RK., Knowles K., Lawson NJ. The vortex structure behind an Ahmed reference model in the presence of a moving ground plane. *Experiment in Fluids* 2007; 42(5): 659-669.
- Thabet S., Thabit TH. CFD Simulation of the air flow around a car model (Ahmed Body). *International Journal of Scientific and Research Publications* 2018; 8(7): 517-525.
- Vino G., Watkins S., Mousley P., Watmuff J., Prasad S. Flow structures in the near wake of the Ahmed model. *Journal of Fluids and Structures* 2005; 20(5): 673-695.
- Yagiz B., Kandil O., Pehlivanoglu YV. Drag minimization using active and passive flow control techniques. *Aerospace Science and Technology* 2012; 17(1): 21-31.

## 2-Akrilamido-2-Metil-1-Propansülfonik Asit (AMPS) İçerikli Hidrojellerin Metal Tutma Davranışlarının İncelenmesi

Özlem SÖKMEN<sup>1\*</sup>, Nevin ÇANKAYA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Uşak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Kimya Bölümü, 64200, Uşak

<sup>2</sup>Uşak Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Dişçilik Hizmetleri Bölümü, 64200, Uşak

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-9631-1393>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-6079-4987>

\*Sorumlu yazar: 1443041001@ogr.usak.edu.tr

### Derleme Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 13.06.2023

Kabul tarihi: 15.11.2023

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Metal

Adsorpsiyon

Şişme

Hidrojel

AMPS

### ÖZ

Sanayileşmenin getirdiği çevre sorunları temiz su kaynaklarını önemli oranda etkilemektedir. Farklı endüstriyel aktiviteler sonucu Cu, Cr, Cd, Fe, Ni gibi ağır metaller çevreye salınmaktadır. Metaller insan vücudunda hormon ve vitaminlerin yapısında enzimlerin aktifleşmesinde rol alır ve bağışıklık sistemi için gereklidir. Çevre kirliliği sonucunda belirlenen sınırların üzerinde vücuda alınan metaller organizmanın fonksiyonlarının bozulmasına ve çeşitli hastalıklara sebep olmaktadır. Adsorpsiyon alanında kullanılan polimerik malzemelerden birisi de hidrojellerdir. Hidrojeller yüksek verim, kolay geri kazanım, yeniden kullanılabilirlik ve hidrofilik(su seven) özelliklerinden dolayı ağır metallerin sulu ortamdan uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır. Hidrojellere eklenen AMPS hidrojellerin % şişme oranını artırabilmektedir. AMPS’de bulunan fonksiyonel gruplar metalle şelat oluşturarak atık sulardaki ağır metallerin adsorpsiyonunda kullanılmaktadır. Bu çalışma, raporlanmış olan AMPS yardımcı monomeri kullanılarak sentezlenen hidrojellerin sulu çözeltideki şişme ve metal adsorpsiyon kapasitelerini inceleyen bir derlemedir.

## Investigation of Metal Attachment Behavior of 2-Acrylamido-2-Methyl-1-Propanesulfonic Acid (AMPS) Containing Hydrogels

### Reviews

#### Article History:

Received: 13.06.2023

Accepted: 15.11.2023

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

Metal

Adsorption

Swelling

Hydrogel

AMPS

### ABSTRACT

Environmental problems brought about by industrialization have a significant impact on clean water resources. As a result of different industrial activities, heavy metals such as Cu, Cr, Cd, Fe, Ni are released to the environment. Metals play a role in the activation of enzymes in the structure of hormones and vitamins in the human body and are necessary for the immune system. Metals taken into the body above the determined limits as a result of environmental pollution cause deterioration of the organism's functions and various diseases. One of the polymeric materials used in the field of adsorption is hydrogels. Hydrogels are used for the removal of heavy metals from aqueous media due to their high efficiency, easy recovery, reusability and hydrophilic (water loving) properties. AMPS added to hydrogels can increase the % swelling ratio of hydrogels. The functional groups in AMPS are used in the adsorption of heavy metals in wastewater by chelating with the metal. This study is a review examining the swelling and metal adsorption capacities in aqueous solution of hydrogels synthesized using the reported AMPS co- monomer.

**To Cite:** Sökmen Ö., Çankaya N. 2-Akrilamido-2-Metil-1-Propansülfonik Asit (AMPS) İçerikli Hidrojellerin Metal Tutma Davranışlarının İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(3): 1374-1398.

## 1. Giriş

### 1.1. Hidrojeller ve Sınıflandırılması

Hidrojeller, sulu ortamda çözünmeyen, suyun büyük miktarını bünyesinde tutarak şişme özelliği gösteren, polimer zincirlerine hidrofilik karakter sağlayan  $-SO_3H$ ,  $-OH$  ve  $-NH_2$  gibi fonksiyonel grupları olan, üç boyutlu-ağ yapılı polimerlerdir (Ibrahim ve ark., 2021). Kriyojeller yarı-donmuş sulu ortamda sentezlenen, mekanik ve elastikiyet özelliğinin iyi olduğu heterojen açık gözenekli yapılardır. Kriyojeller, büyük gözenekli yapılara sahip olduğundan adsorpsiyon kapasiteleri düşüktür. Hidrojeller şişmiş halde yumuşak ve kırılındırlar. Bu yüzden yüksek oranda şişen hidrojellerin mekanik dayanımları düşüktür. Kriyojeller ise hidrojellere göre çok daha dayanıklıdır. Kriyojeller, mikro yapılarında herhangi bir çatlak oluşmadan sıkıştırılabilirler. Bu özellik, yüksek oranda çapraz bağlanma ve gözenek yapısından kaynaklanır. Kriyojel yapısı, hidrojel yapıyla kıyaslandığında biçim değiştirmeye karşı daha dirençlidir (Bal ve ark., 2014). Hidrojeller farklı şekillerde sınıflandırılabilirler (Badsha ve ark., 2021).

#### 1.Yapısında bulunan fonksiyonel grupların yüküne göre

İyonik olmayan (nötr) hidrojeller

Katyonik hidrojeller

Anyonik hidrojeller

Hem anyonik hem katyonik olan hidrojeller

#### 2. İçerdiği doğal polimerlere göre biyolojik olarak parçalanabilen hidrojeller

#### 3. Çapraz bağlı hidrojeller

Fiziksel olarak çapraz bağlanmış hidrojeller

Kimyasal olarak çapraz bağlanmış hidrojeller

#### 4. Hazırlanma şekline göre hidrojeller

Homopolimer hidrojeller

Kopolimer hidrojeller

İç içe geçmiş ağ örgülü hidrojeller (IPN)

#### 5. Kaynağına göre hidrojeller

Doğal hidrojeller

Sentetik hidrojeller

Hibrit hidrojeller

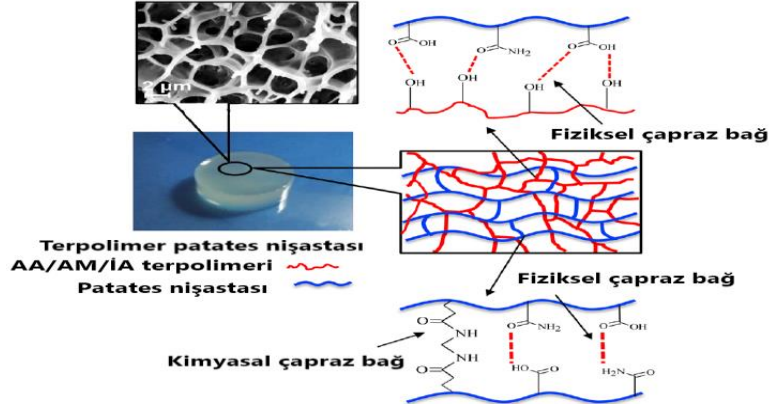
#### 6. Fiziksel özelliğine göre hidrojeller

Akıllı hidrojeller

Geleneksel hidrojeller

Hidrojel sentezinde kullanılan N,N'-metilenbisakrilamid (NMBA) (Cheng ve ark., 2015), etilen glikol dimetakrilat (EGDMA) (Karadağ ve ark., 2014b) gibi çapraz bağlayıcılar en çok kullanılan çapraz bağlayıcılardır. Hidrojellerin hazırlanmasında monomer ve çapraz bağın yanında amonyum persülfat, potasyum persülfat, benzoil peroksit gibi başlatıcılarla tepkime başlatılır ve bu tepkimeler çözelti

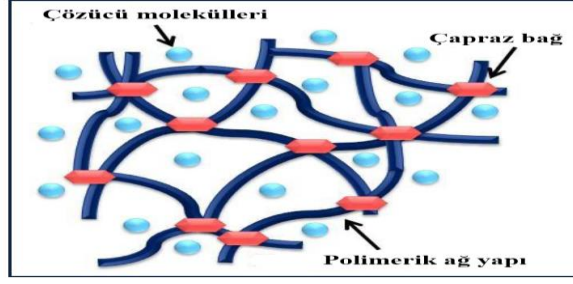
ortamında su ile yapılır (Kabiri ve ark., 2011). İyonlaşabilen monomer içeren hidrojel, daha hızlı ve kolay şişme davranışı gösterirler. Su molekülleri hidrojen bağı, iyonik etkileşimler ve ozmotik basınç ile yapıya girip tutunur (Durmaz ve Okay, 2000). Malzeme bütünlüğünün sağlanması ve mekanik dayanımın artırılması, gözenekliliğin denetlenmesi için çapraz bağlanma gereklidir. Hidrojellerde çapraz bağlanma derecesi arttıkça, hidrojellerin şişme dereceleri azalır. Kullanım yerine göre hidrojel sentezlenirken bazı hidrojel çok şişerken, bazı hidrojellerin şişme dereceleri düşük tutulur. Örneğin, su tutucu olarak hazırlanan hidrojel adsorbanın çok şişmesi ön planda iken, kontakt lens olarak kullanılacak hidrojin çok şişmesi istenmez (Ekici ve Çetik Erkol, 2017). Çapraz bağlı polimer hidrojelinde; kovalent bağ, hidrojen bağı, van der Waals kuvvetleri ve fiziksel etkileşimler mevcuttur (Laftah ve ark., 2011). Akrilik asit (AA), akrilamid (AM) ve itakonik asit (İA) monomerlerinin patates nişastasıyla çapraz bağlanması sonucu oluşan hidrojin yapısındaki fiziksel ve kimyasal çapraz bağ noktaları Şekil 1’de verilmiştir (Maity ve Ray, 2017).



**Şekil 1.** AA/AM/İA/patates nişastası hidrojinin fiziksel ve kimyasal çapraz bağ noktaları

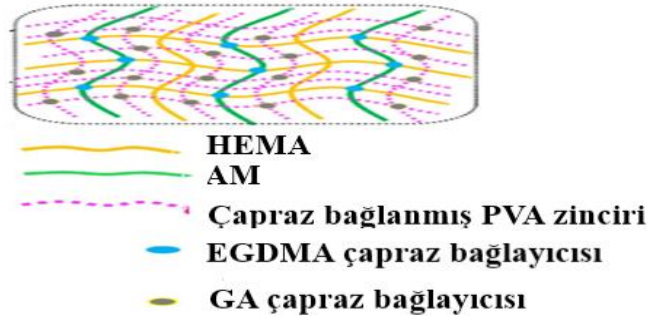
Hidrojellerin özellikleri pH ve sıcaklıkla değiştirilebilir. AM monomerine asidik ve bazik fonksiyonel gruplar eklenerek pH'a duyarlı hidrojel sentezlenebilir. Hidrojel ağına eklenen asidik veya bazik monomerler belli pH'larda şişme davranışını etkileyerek sulu veya endüstriyel atık sulardaki boya ve ağır metallerin adsorpsiyonunda kullanılabilir (Özeroğlu ve Korkmaz, 2022). Hidrojeller ve hidrojel kompozitler, ilgili monomerlerin sulu çözeltilerinde serbest radikal polimerleşme tekniği,  $\gamma$ -ışınları ve çok fonksiyonlu çapraz bağlayıcılar kullanılarak elde edilir (Karadağ ve ark., 2014b). Nötr monomerler, hidrojellerin mekanik özelliklerini artırırken, hidrojelere eklenen anyonik veya katyonik yardımcı monomerlerin kolay iyonlaşabilmeleri, elektrostatik etkileşimlerin artmasını sağlar ve bu durum hidrojellerin yüksek oranda su alarak şişmesine neden olur (Drozdov, 2021). Hidrojellerde şişme, çözücü absorplama, dış uyarılara şişme-büzülme ile cevap verebilme polimerik jel yapısını oluşturan ağ yapı ve sıvı ortam bileşenlerinin etkileşimine bağlıdır. Şekil 2’de polimerik jel yapının şematik gösterimi verilmiştir (Akay, 2013).





Şekil 2. Polimerik jel yapının şematik gösterimi

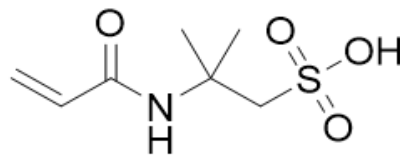
Tanan ve arkadaşları yapmış olduğu bir çalışmada, AM/2-hidroksietilmetakrilat (HEMA)/polivinilalkol (PVA) IPN hidrojelini, EGDMA ve glutaraldehit (GA) çapraz bağlayıcılarını kullanarak sentezlemişlerdir. Bu hidrojelinin öngörülen bağlanma yapısı Şekil 3'te verilmiştir (Tanan ve Saengsuwan, 2020).



Şekil 3. AM/HMA/PVA IPN hidrojelinin öngörülen bağlanma yapısı

## 2. AMPS ve Özellikleri

AMPS, toksik olmaması, ucuz olması, sülfonik ve amid grupları içerdiğinden hidrofilik özellik göstermesi, eklendiği maddelerin mekanik özelliklerini iyileştirmesi ve elektrik iletkenliğinin yüksek olmasından dolayı tıbbi ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. AMPS içeren hidrojeller her pH aralığında iyonlaşabildiğinden şişme pH'tan bağımsızdır (Saikia ve ark., 2013; Nesic ve ark., 2016). AMPS'de bulunan  $-SO_3H$  grupları her pH'ta iyonlaşabildiğinden ve eklendiği hidrojellerin % şişme oranını arttırdığından çapraz bağlı hidrojel sistemlerde yardımcı monomer olarak kullanılmaktadır. Şekil 4'te AMPS yardımcı monomerinin kimyasal formülü verilmiştir (Kundakci ve ark., 2008).



Şekil 4. AMPS'nin kimyasal yapısı

AMPS'nin hidrofil özelliği ve termal kararlılığından dolayı hidrojel sistemlerde yardımcı monomer olarak kullanılmaktadır (Lehto ve ark., 1998). AMPS yardımcı monomeri ve AM (Kodoth ve Badalamoole, 2019), Sodyumakrilat (Lee ve Hsu, 1998), N-vinil-2-piroliden (NVP) (Fırlak ve ark., 2010) gibi monomerler ile çeşitli çapraz bağlayıcılar kullanılarak hidrojel kopolimerler (Lee ve Hsu, 1998) ve hidrojel nanokompozitler (Nakhjiri ve ark., 2018; Bao ve ark., 2011) sentezlenmiştir. AMPS yardımcı monomeri içeren hidrojel, hidrofil olması ve suda şişme özelliğinden dolayı adsorpsiyon yöntemi ile atık sularda bulunan ağır metallerin uzaklaştırılmasında (Wang ve ark., 2012), iyon değiştirme reçinelerinde, gaz ayırma membranlarında, katalizör desteklerinde, endüstride atık sularda bulunan ağır metallerin uzaklaştırılmasında (Saçmacı ve ark., 2010), kontrollü ilaç salınımında (Vijitha ve ark., 2021), antibiyotiklerin adsorpsiyonunda (Lu ve ark., 2018) ve boya adsorpsiyonunda adsorban olarak kullanılmıştır (Xiong ve ark., 2015). Nakhjiri ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, AM ve AMPS monomerleri ve montmorillonit (MMT) kilini kullanarak AM/AMPS/MMT hidrojel nanokompozitini sentezlemişler ve bu hidrojinin sulu çözeltideki anyonik ve katyonik boyaların adsorpsiyonunda kullanılabileceğini tespit etmişlerdir. AM/AMPS/MMT hidroجلي, kristal violet, metilen mavisi ve metil kırmızısı boyaların adsorpsiyonunda kullanılmış ve elde edilen sonuçlara göre bu hidrojinin maksimum boya tutma kapasitesi büyükten küçüğe doğru Metilen mavisi>Kristal violet>Metil kırmızısı şeklinde olduğu tespit edilmiştir (Nakhjiri ve ark., 2018). Zauru ve arkadaşının yapmış olduğu çalışmada anyonik polisakkarit olan Gum, AMPS, Dimetilaminopropilmetakrilamit (DMAPM) monomerlerini kullanarak Gum/AMPS/DMAPM hidroجلي ve MMT kilini kullanarak Gum/AMPS/DMAPM/MMT hidrojel kompozitini sentezlemişlerdir. Bu hidrojinlerin Rodamin B ve Kromotrop 2R boyaların adsorpsiyonunda kullanılabileceği tespit edilmiştir. Gum/AMPS/DMAPM hidrojeline, MMT kilinin eklenmesi her iki boya türü için adsorpsiyon kapasitesinin düşmesine sebep olmuştur (Zauru ve Vishalakshi, 2017). Sahraei ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, aminosilanla muamele edilmiş grafenoksit (GO-APTS), AMPS, maleikanhidrit (MA) monomerlerini kullanarak GO-APTS/AMPS/MA manyetik hidrojelini sentezlemişler ve bu hidrojinin, metilen mavisi ve kristal violet gibi katyonik boyaların adsorpsiyonunda kullanmışlar ve hidrojinin kristal violet boyayı metilen mavisinden daha fazla adsorbe ettiğini bulmuşlardır (Sahraei ve ark., 2016).

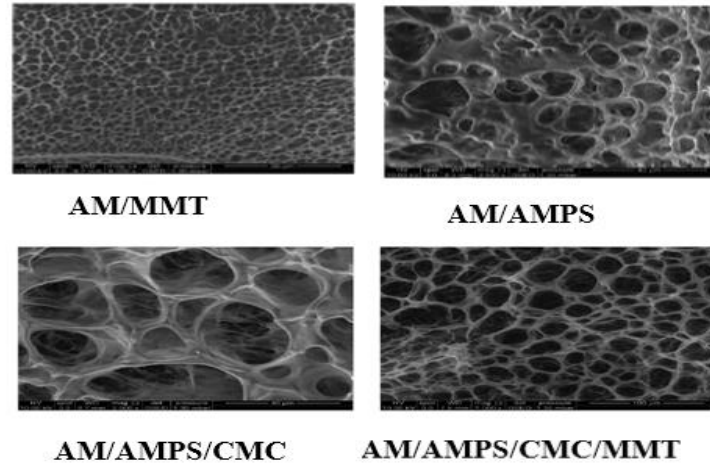
Kodoth ve arkadaşının yapmış olduğu çalışmada Pektin/AM/AMPS ve Pektin/AM/AMPS/ZnO hidrojinlerini sentezlemişler ve bu hidrojinlerin katyonik boya olan kristal violet adsorpsiyonunda kullanılabileceğini tespit etmişlerdir. Pektin/AM/AMPS/ZnO hidrojel nanokompozitinin kristal violet boyayı adsorplama kapasitesi, Pektin/AM/AMPS hidrojininin adsorpsiyon kapasitesinden büyük olduğunu tespit etmişlerdir (Kodoth ve Badalamoole, 2019). Babaladimath ve arkadaşının yapmış oldukları çalışmada Pektin/AMPS/Ag hidrojel kompozitini sentezlemişler ve bu hidrojinin *E. coli* ve *B. subtilis* bakterilerine karşı antibakteriyel özelliğinin Pektin/AMPS hidrojeline göre daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Pektin/AMPS hidrojeline, Ag nanopartikülünün eklenmesi hidrojinin hem şişme kapasitesini arttırdığını, hem de kontrollü ilaç salınımını geliştirdiğini tespit etmişlerdir

(Babaladimath ve Badalamoole, 2018). AMPS içeren hidrojellere ayrı ayrı ZnO ve Ag metalinin eklenmesi hidrojelin boya tutma kapasitesini ve antibakteriyel özelliğini arttırmıştır.

Atık sulardaki ağır metalleri uzaklaştırmak için kullanılan yöntemlerden biri de adsorpsiyon yöntemidir. Adsorpsiyon yönteminde, ortama karışan kirlilikleri uzaklaştırmak için doğal ya da sentetik maddeler kullanılmaktadır. Doğal adsorban olarak çoğunlukla biyopolimerler ve killer kullanılırken sentetik adsorban olarak polimerik maddeler kullanılmaktadır (Phetphaisit ve ark., 2016). Bu derlemede, raporlanmış olan AMPS içeren hidrojellerin sulu çözeltilerdeki ağır metal adsorpsiyonu AMPS miktarı, kil türü, kil miktarı, çapraz bağlayıcı türü değiştirilerek yarışmalı adsorpsiyon çalışması yapılmış ve optimum koşullarda farklı ağır metalleri tutma kapasiteleri araştırılmıştır.

### 3. AMPS İçeren Hidrojellerin Karakterizasyonunda Kullanılan Bazı Teknikler

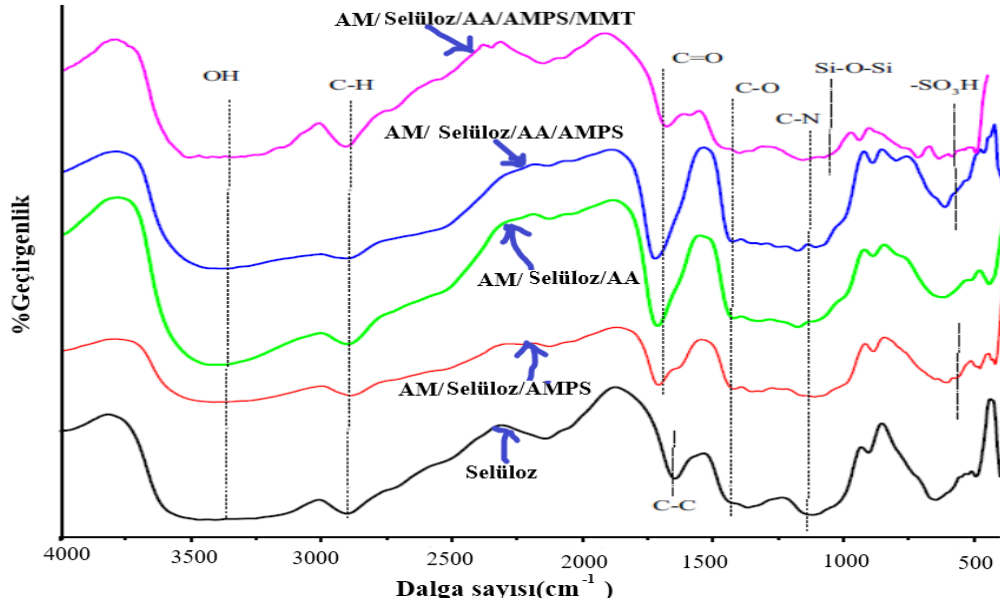
Karadağ ve arkadaşları, sentezledikleri AMPS içeren hidrojelleri Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) gibi yöntemlerle karakterize ederken, şişme testlerini de yapmışlardır (Karadağ ve ark., 2014a). Karadağ ve arkadaşları, AM/MMT, AM/AMPS, AM/AMPS/CMC ve AM/AMPS/CMC/MMT hidrojellerini sentezlemişler ve bu hidrojellerin yüzey özelliklerini Şekil 5'te verilen SEM görüntüleri ile belirlemişlerdir (Karadağ ve ark., 2014a; Karadağ ve ark., 2018).



Şekil 5. AM/MMT, AM/AMPS, AM/AMPS/CMC ve AM/AMPS/CMC/MMT hidrojellerinin SEM görüntüleri

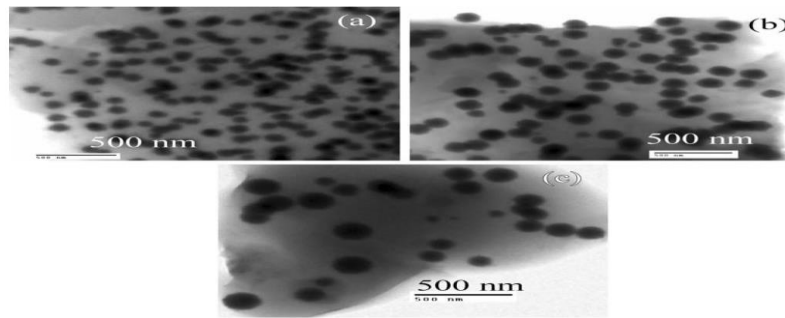
Hidrojel ve hidrojel/kil kompozitlerinde FTIR tekniği, polimer yapıyı oluşturan monomerlerin, destek malzemesi olan kil mineralleriyle nasıl etkileştiğinin aydınlatılması amacıyla kullanılmaktadır (Çankaya ve Sökmen, 2021). Abd El-Aziz ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, AM/Selüloz/AMPS, AM/Selüloz/AA/AMPS hidrojelleri ile AM/Selüloz/AA/AMPS/MMT hidrojel nanokompozitini sentezlemişler ve bu hidrojellerin yapısını Şekil 6'da verilen FTIR spektrumu ile karakterize etmişlerdir (Abd El-Aziz ve ark., 2018). Abd El-Aziz ve arkadaşları hidrojelini oluşturan selüloz biyopolimeri, AM, AA ve AMPS monomerleri ile MMT kilinin fonksiyonel gruplarını FTIR

spektrumunda karşılaştırmalı olarak vererek hidrojellerin karakterizasyonunu yapmışlardır (Abd El-Aziz ve ark., 2018).



Şekil 6. Selüloz ve AM/ selüloz içerikli hidrojellerinin FTIR spektrumu

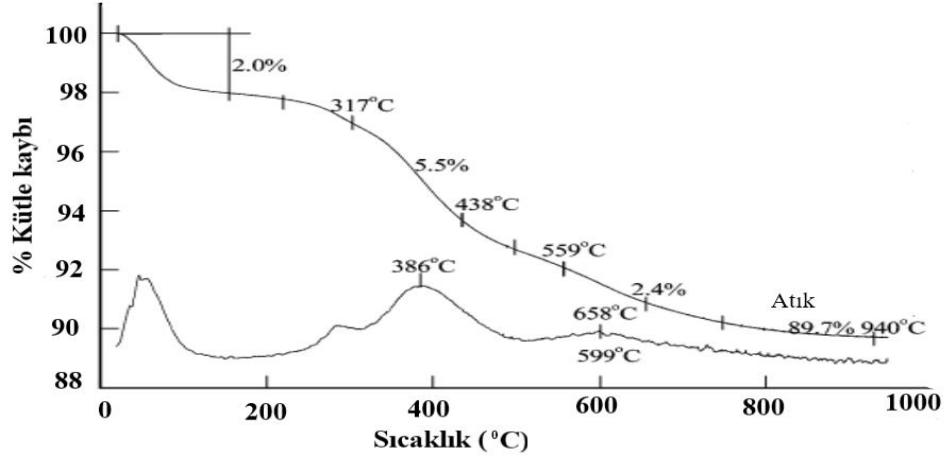
AMPS içeren hidrojellerin yüzey özellikleri Taramalı Elektron Mikroskobu (TEM) ile de belirlenebilmektedir. Sahiner'in yapmış olduğu çalışmada, AMPS monomerine farklı miktarlarda çapraz bağlayıcı ve manyetik özellikteki Fe(II) ilave edilmesiyle anyonik karakterde manyetik hidrojel kompozitini sentezlemişler ve bu hidrojellerin yüzey yapısını TEM ile karakterize etmişlerdir. TEM görüntüleri incelendiğinde manyetik partiküllerin hidrojel ağına eşit şekilde dağıldığı, sadece boyutlarında farklılık olduğu Şekil 7'de verilen TEM görüntülerinden anlaşılmıştır. Hidrojeldaki manyetik Fe(II) partiküllerin hidrojel içerisindeki miktarı arttıkça manyetik Fe partiküllerinin de büyüdüğü Şekil 7'de verilen TEM görüntülerinden tespit edilmiştir (Sahiner, 2006).



Şekil 7. a) % 0,5 b) % 0,75 c) % 1 Fe(II) partikülü içeren AMPS hidrojellerinin TEM görüntüleri

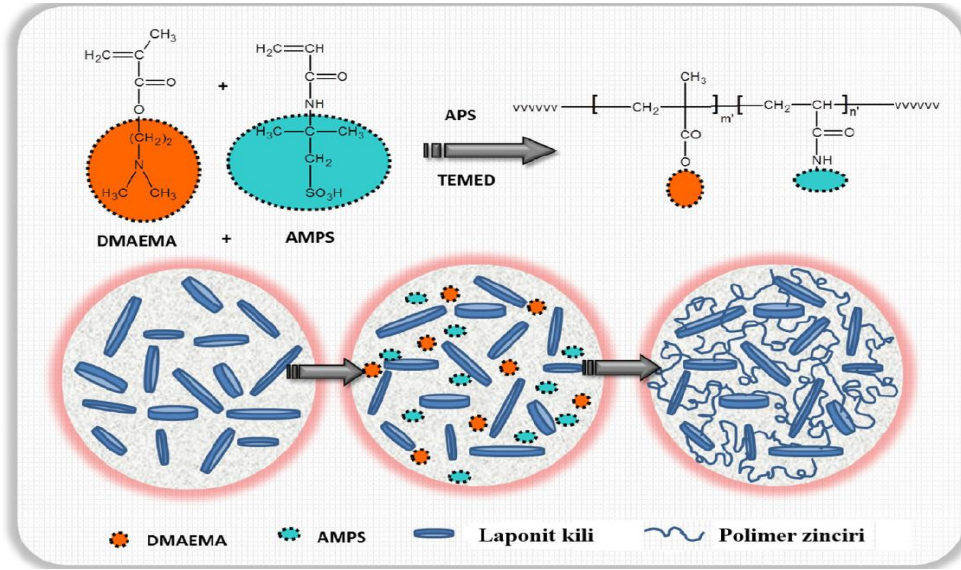
Wang ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, silika yüzeyini metakriloksipropiltrimetoksisilan ve AMPS ile muamele ederek Cu(II) adsorpsiyonunda kullanılmak üzere adsorban bir malzeme geliştirmişler ve bu adsorbani termal açıdan karakterize etmek için Termogravimetrik analiz (TGA)

kullanmışlardır. Şekil 8’de verilen TGA analizinden AMPS-silikajelin termal açıdan kararlı olduğunu tespit etmişlerdir (Wang ve ark., 2009).



Şekil 8. AMPS-Silikajelin TGA görüntüleri

Boyacı ve arkadaşının yapmış olduğu çalışmada, N,N-dimetilaminoetilmetakrilat (DMAEMA) monomeri ve AMPS yardımcı monomeri ile Laponit kilini kullanarak DMAEMA/AMPS/Laponit hidrojelini sentezlemişlerdir. Şekil 9’da DMAEMA/AMPS/Laponit hidrojelinin şematik gösterimi verilmiştir (Boyacı ve Orakdogen, 2016).



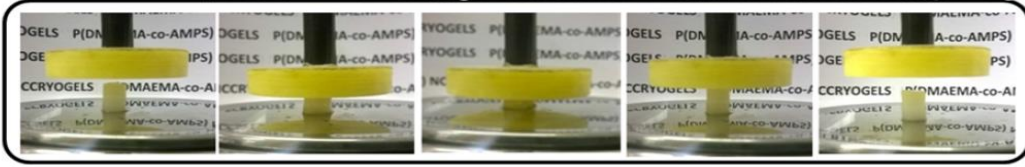
Şekil 9. DMAEMA/AMPS/Laponit hidrojel sentezinin şematik gösterimi (Boyacı ve Orakdogen, 2016).

%2 Laponit kili içeren DMAEMA/AMPS/Laponit hidrojelini ile DMAEMA/AMPS/Laponit kriyojellerini sentezlemişler ve karakterizasyonunda mekanik ölçümlerden yararlanmışlardır. Şekil 10’da DMAEMA/AMPS/Laponit hidrojel ve kriyojellerin mekanik özelliklerinin gösterimi verilmiştir. DMAEMA/AMPS/Laponit kriyojellerinin mekanik yönden daha dayanıklı olduğu Şekil 10’da verilen kriyojellerin mekanik özelliklerinin gösteriminden anlaşılmıştır (Boyacı ve Orakdogen, 2016).

### T=21 °C P(DMAEMA-co-AMPS)/laponit kil-polimer nanokompozit hidrojel

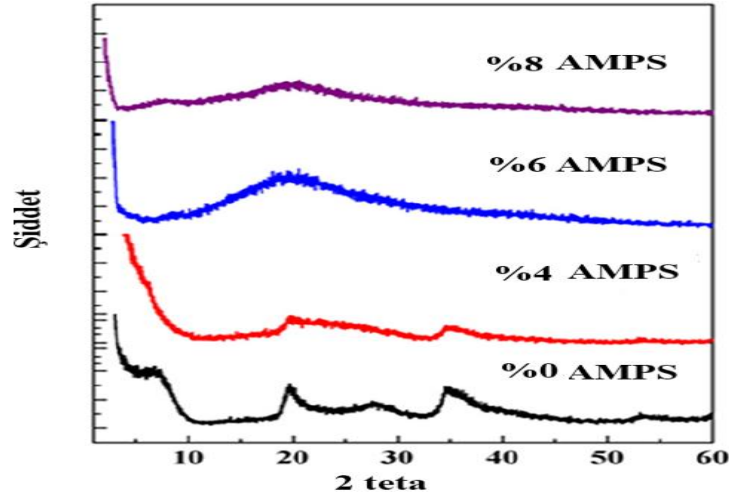


### T= -18 °C P(DMAEMA-co-AMPS)/laponit kil-polimer nanokompozit kriyojeli



Şekil 10. DMAEMA/AMPS/Laponit hidrojel ve kriyojellerin mekanik özelliklerinin gösterimi

Li ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, farklı miktarlarda (%0, %2, %4, %6, %8) AMPS içeren Laponit/AMPS hidrojellerini sentezlemişler ve yapısını X-Işınları Kırınım Spektrofotometresi (XRD) ile karakterize etmişlerdir. Şekil 11’de verilen XRD spektrumu incelendiğinde %6’dan fazla kil içeren hidrojellerin kil tabakalarının düzensiz istiflendiği spektrumda görülen keskin piklerin yayvanlaşmasından anlaşılmıştır (Li ve ark., 2017).

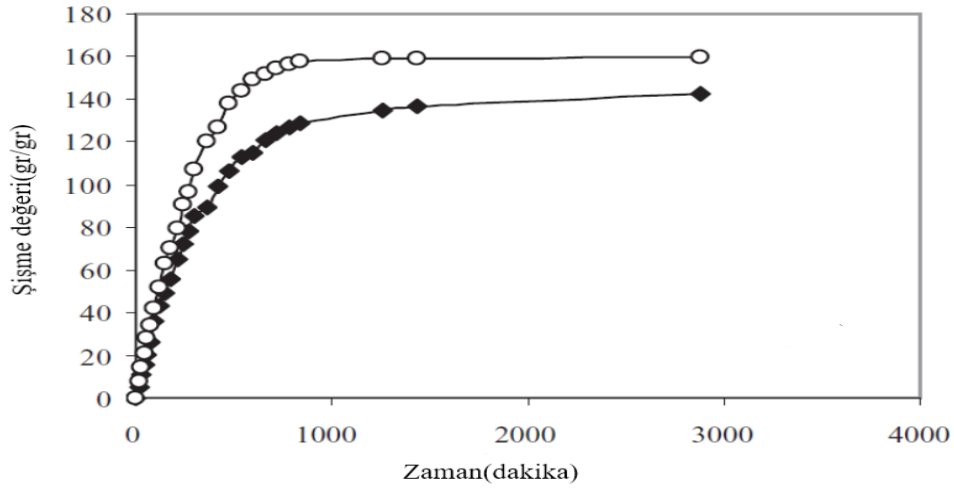


Şekil 11. Laponit /AMPS hidrojellerinin XRD spektrumu

### 3.1. AMPS İçeren Hidrojellerin Şişme Davranışları

AMPS içeren hidrojellerin su tutma kapasitesi hidrojellerin yapısındaki monomerlerin oranına, çapraz bağın yoğunluğuna, çözeltideki tuz konsantrasyonuna ve iyonik yük miktarına bağlı olarak değişir (Bera ve ark., 2017). Tuz konsantrasyonunun artması AMPS içeren hidrojellerin şişmesini düşürür. Hidrojellerde bulunan alkil grupları arasındaki hidrofobik etkileşimler, hidrojele heterojen bir yapı kazandırır ve ozmotik basıncı düşürür (Durmaz ve Okay, 2000). AMPS içeren hidrojeller aynı konsantrasyonda farklı tuz içeren çözeltilerde ve saf suda bekletildiğinde en yüksek şişmenin saf suda

bekletilen hidrojelde olduğu tespit edilmiştir (Pourjavadi ve ark., 2005). Kullanılacak çapraz bağ kimyasal yapısı ve çapraz bağ miktarı da hidrojin maksimum su tutması için önemlidir. Çapraz bağ miktarı fazla kullanıldığında hidrojin şişmesi azalır. Çapraz bağın kimyasal yapısında bulunan fonksiyonel grubun çok olması hidrojin şişmesini artırır (Laftah ve ark., 2011). AMPS içeren hidrojellerin şişmesi elektriksel alandan etkilenmektedir. Elektriksel alan uygulandığında hidrojel büzülürken, elektriksel alan kaldırıldığında hidrojel yeniden şişme davranışı gösterir. Elektriksel alandan etkilenen AMPS içeren hidrojeller biyomateryal olarak kullanılabilir. Bu tür hidrojeller polielektrolit özellik gösterir (Kim ve ark., 2004). Liu ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada AM/AMPS hidrojellerinde maksimum şişme değeri pH 5-10 arasıdayken, pH arttığında hidrojin şişme değerinin sabit olduğunu tespit etmişlerdir. Bu durum hidrojin yapısında bulunan AMPS'nin sülfon gruplarının tampon görevi görmesinden kaynaklanmıştır. pH 5'ten küçük ya da pH 10'dan büyük olduğunda AM/AMPS hidrojinin su tutma kapasitesinin düştüğü tespit edilmiştir (Liu ve ark., 2003). Kaşgöz ve Durmuş yapmış oldukları çalışmada, AM/AMPS hidrojel ile AM/AMPS/MMT hidrojel kompozitini sentezlemişler ve bu hidrojellerin denge şişme değerini gösteren grafik Şekil 12'de verilmiştir. AM/AMPS/MMT hidrojel nanokompozitin şişme değeri, AM/AMPS hidrojinin denge şişme değerinden büyüktür. Polimer matrisine eklenen MMT kili hidrofil olduğundan hidrojel kompozitteki şişme kapasitesini etkilemiştir. MMT kilinde bulunan OH<sup>-</sup> grupları ile AMPS monomerinde bulunan SO<sub>3</sub><sup>-</sup> grupları arasındaki etkileşim, şişme kapasitesini arttırmıştır (Kaşgöz ve Durmuş, 2008a).



**Şekil 12.** AM/AMPS ve AM/AMPS/MMT hidrojellerinin denge şişme grafiği

Kabiri ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada farklı oranlarda MMT kili (%0, %2, %4, %6, %8) kullanarak Kitosan/AMPS/MMT hidrojel kompozitlerini sentezlemişler ve çapraz bağlayıcı olarak polietilen glikol dimetakrilat (PEGDMA) kullanmışlardır. % Kil miktarının artmasının hidrojin şişme değerini düşürdüğünü tespit etmişlerdir (Kabiri ve ark., 2010). Yüksek miktarda kil içeren hidrojel kompozitlerde, kil tabakaları çapraz bağ yoğunluğunu arttırdığından polimer zincirlerinin

esnekliğini azaltarak şişmeyi azaltıcı yönde etki yaptığı tespit edilmiştir. Üzüm ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada ise, EGDMA ve trimetilpropantriakrilat (TMPTA) çapraz bağlayıcıları ile değişen oranlarda (%0, %2, %4, %6, %8) AMPS kullanarak, AM/AMPS hidrojenlerini sentezlemişler ve araştırmışlardır. Her iki çapraz bağlayıcıda AMPS miktarı arttıkça şişme artarken, TMPTA çapraz bağlayıcıda şişmenin daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Üzüm ve ark., 2006).

#### **4. AMPS İçeren Hidrojellerin Metal Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi**

##### **4.1. Adsorpsiyonda Kullanılan Bazı Ağır Metaller ve Özellikleri**

İnsan vücudunda bulunan Cr, Cu, Co, Ni, Fe gibi ağır metaller insan metabolizmasında önemli rol oynamaktadır. Cr lipit ve protein metabolizmasında, Co B12 vitaminin yapısında, Fe enzim ve proteinlerin yapısında ve hücrelerin büyümesinde kullanılırken, Zn sindirim sistemi rahatsızlıklarında, yaraların iyileşmesinde, üremede ve bağışıklık sisteminin güçlü olması için insan vücudunda belli seviyelerde bulunmaktadır (Daşbaşı ve ark., 2018). Endüstriyel faaliyetler sonucu açığa çıkan ağır metal içeren atık sular kontrolsüz şekilde doğaya bırakılarak çevre kirliliğine sebep olmaktadır. İnsan vücudunda belirli seviyelerde bulunması gereken ağır metaller toprağa ve suya karışarak insan vücuduna tekrar geçmektedir. İnsan vücudunda fazla biriken bu ağır metaller organların işlevini bozarak çeşitli hastalıklara ve kansere yol açmaktadır (Cao ve ark. 2017; Arslan ve ark., 2021).

Cr çoğunlukla Cr(III) ve Cr(VI) formunda ve farklı oksidasyon durumlarında da bulunabilen toksik ağır metallerden biridir. Ancak, insan vücudunda aşırı Cr birikimi, sindirim sistemi kanseri, mide veya akciğer tahrişi gibi ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir. Cr(III), Cr(VI)'ya göre daha az toksik olmasına rağmen, doğası gereği kanserojen olan oldukça toksik Cr(VI) durumuna kolayca oksitlenebilir. Ayrıca Cr metali, atık suda aminopolikarboksilik asitler, tartarik asitler, sitrik asitler ve diğer organik maddelerle kararlı şelatlar oluşturabilir (Ekinci ve İlter, 2021).

Cu elementi kolaylıkla dövülüp şekillendirilebilir ve soğuk işleme vasıtası ile sertliği arttırılabilir. Cu elektrik ve yapı endüstrisi, iletim araçları, endüstriyel makinalar, silâh ve savunma sanayisi, gıda endüstrisi, hassas alet ve optik malzeme yapımı gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Cu atıkları kara, su ve hava kirliliğine yol açmaktadır. Bu durum çevresi ile temas halinde bulunan insan ve diğer canlılara zarar vermekte ve aşırı doz alımında ise toksik ve kanserojen etki gösterebilmektedir (Dal ve ark., 2021). Düşük Cu miktarı Avrupa Birliğine göre 2 mg/L olmalıdır. Yüksek miktardaki bakır insan vücudunda karaciğer ve kornealarda birikerek, çeşitli nörolojik belirtilerle karakterize edilen Wilson hastalığına sebep olmaktadır (Böck ve ark., 2022).

Pb metal oksitleri ve tuzları şeklinde hava, su ve toprak yoluyla, solunum ve besinlere karışarak biyolojik sistemlere giren zehirleyici bir ağır metaldir. Yumuşak ve kolay dövülebilen özelliklere sahip olan Pb metali akülerde, kablolarda, alaşımlarda ve renk verici maddeler olan pigmentlerin eldesinde, kristal cam üretiminde, aşındırıcı sıvıların saklanacağı kapların yapımında, renkli lenslerin yapımında, akü ve pil fabrikalarında, petrol rafinerilerinde boya endüstrisi ve patlayıcı sanayisinde kurşun metali yüksek derişimlerde kullanılmaktadır (Daşbaşı, 2013). Pb ağır metalinin belirlenen



sınırların üzerinde olması insan vücudunda beyin, böbrek, karaciğer ve merkezi sinir sisteminin hasar görmesine neden olur (Karmakar ve ark., 2019). Bazı ağır metaller ortamda bulunan organik maddelerle kararlı bileşik oluşturup, toksik ve kanserojen etki oluşturmaktadır. Cd ve Pb metalleri belirlenen seviyelerin üzerinde bulunduğu böbrek rahatsızlığına, yüksek tansiyona ve kemik lezyonlarına sebep olmaktadır. Ni ise karaciğerin düzgün çalışması için gerekli olan bir metaldir. Nikelsülfür ve nikelkarbonil bileşikleri çok toksik ve kanserojen maddelerdir (Daşbaşı ve ark., 2018). Uranyumun (U) nükleer enerji endüstrisinde yakıt olarak kullanılması madenciliğinin de artış göstermesine sebep olmuştur. Bu sebeple sulara karışan U oranında da artış görülmektedir. Öte yandan, nükleer enerjinin en önemli sorunlardan birisi radyoaktif kirlilik oluşturan kullanılmış yakıt atıklarıdır. Radyoaktif U ve bileşikleri insan vücudunda ciddi hasarlara, böbrek yetmezliğine ve ölümlere neden olmaktadır (Kanmaz, 2022).

## 4.2. AMPS İçeren Hidrojellerin Ağır Metallerle Yapılan Adsorpsiyon Çalışmaları

### 4.2.1. Kil/AMPS İçeren Hidrojellerle Yapılan Ağır Metal Adsorpsiyon Çalışmaları

Literatür taramamız sonucunda, AMPS ve kil içeren hidrojellerde çoğunlukla MMT, organomontmorillonit (OMMT) ve halloysit (HNT) ve atapulgit(APT) kullarının metal tutma adsorpsiyonunda kullanıldığı tespit edilmiştir. Kullanılan kil türlerine, ve kullanılan ağır matallere göre adsorbanın adsorpsiyon kapasitesinin değiştiği tespit edilmiştir. APT kili içeren hidrojelin Pb(II) adsorpsiyon kapasitesinin en yüksek olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1).

**Tablo 1.** Kil/AMPS içeren hidrojellerin ağır metal adsorpsiyon çalışmaları

Adsorban olarak kullanılan Hidrojel	Adsorsiyonda kullanılan metal	Adsorpsiyon kapasitesi	Kaynaklar
AM/AMPS/MMT	Pb(II)	0,89 mmol/gr	Kaşgöz ve ark., 2008b
	Cu(II)	0,97 mmol/gr	
	Cd(II)	0,98 mmol/gr	
Ksantan Gam	Cu(II)	24,57 mg/gr	Jalali ve ark., 2016
Ksantan Gam/AMPS		39,06 mg/gr	
Ksantan Gam/AMPS/MMT		29,49 mg/gr	
AM/HNT/AMPS	Cu(II)	1,45 mmol/gr	Sökmen ve Çankaya, 2023
AM/CMC/HNT/AMPS		0,18 mmol/gr	
AM/AMPS/OMMT	Cd (II)	301,50 mg/gr	Bakr ve ark., 2020
NIPAM/AMPS/MMT	Ni(II)	45 mg/gr	Atta ve ark., 2015
Sodyum aljinat /AA/AMPS/APT	Pb(II)	1016,77 mg/gr	Zhu ve ark., 2014
	Cu(II)	406,71 mg/gr	
	Cd(II)	79,38 mg/gr	
	Zn(II)	294,86 mg/gr	

Ortaboy ve arkadaşları terpolimer üzerine yaptıkları çalışmada, 2-(N,N-dimetilamino)etilmetakrilat (DMAEMA), AMPS, 2-hidroksietilmetakrilat (HEMA) monomerleri ve MMT kilini kullanarak terpolimer/MMT hidrojel nanokompozitini sentezlemişler ve bu hidrojin U(VI) uzaklaştırılmasında kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Hidrojel nanokompozitlerdeki kil miktarı %1'den %6'ya çıkarıldığında adsorpsiyonda azalma olduğu gözlemlenirken, pH 3-6 aralığında pH'ın artmasıyla U adsorpsiyonunun arttığını tespit etmişlerdir. Terpolimer/MMT hidrojel nanokompozitinin desorpsiyon çalışmasını 4 kez tekrarlamışlardır (Ortaboy ve ark., 2013).

#### 4.2.2. Biyopolimer/AMPS İçeren Hidrojellerle Yapılan Ağır Metal Adsorpsiyon Çalışmaları

AMPS monomerine biyopolimer eklenerek sentezlenen hidrojinlerin sulu çözeltideki ağır metal adsorpsiyonuna bakıldığında genellikle Pb(II), Cu(II), Cd(II), Ni(II), Co(II) ve Cr(VI) metalleri kullanılmış olup, en yüksek adsorpsiyon kapasitesinin hidrojin türüne göre Pb(II), Cu(II) ve Cd(II) metallerinde olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2).

**Tablo 2.** Biyopolimer/AMPS içeren hidrojinlerin ağır metal adsorpsiyon çalışmaları

Adsorban olarak kullanılan Hidrojel	Adsorpsiyonda kullanılan metal	Adsorpsiyon kapasitesi (mg/gr)	Kaynaklar
Kitosan/AA/AMPS	Pb(II)	673,8	Yu ve ark., 2016
	Cu(II)	235,0	
	Cd(II)	358,3	
	Co(II)	176,7	
	Ni(II)	171,7	
Pektin/AM/AMPS/Ag	Pb(II)	130,0	Kodoth ve Badalamoole, 2020
	Cu(II)	111,0	
Sodyum aljinat/AM/AMPS/ Grafen oksit	Cu(II)	230,8	Pishnamazi ve ark., 2021
Kitosan-g-tetrapolimer (AMPS ve AMPS türevli monomerler)	Pb(II)	1554,1	Karmakar ve ark., 2019
	Cu(II)	1521,1	
	Cd(II)	1374,4	
	Cr(VI)	47,8	
Sodyum aljinat/AMPS/NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Cu(II)	22,8	El-Saied ve Motawea, 2020
AM/AMPS/Pektin	Fe(III)	11,9	Bhuyan ve ark., 2019
	Cr(III)	11,5	
	Al(III)	11,3	
	Ga(III)	11,6	
	In(III)	17,7	
HEC/AA/AMPS	Pb(II)	1970,5	Wang ve ark., 2012
	Cu(II)	975,4	
	Cd(II)	1535,5	
	Ni(II)	974,8	
	Hg(II)	1879,5	

Bhuyan ve arkadaşları AM/AMPS/Pektin hidrojelini sentezleyerek yaptıkları yarışmalı adsorpsiyon çalışmasında, +3 değerlikli olan Fe, Cr, Al, Ga, ve In metallerinde hidrojinin metal seçme adsorpsiyonunu büyükten küçüğe  $In>Ga=Fe=Cr>Al$  olduğunu bulmuşlardır. Aynı değerlikli metallerin adsorpsiyonunda In metalinin yüksek Al metalinin düşük olmasının sebebi, metallerin iyon yarıçapına bağlanmıştır. In yarıçapı 94 pm, Al yarıçapı 68 pm olarak verilmiştir. AM/AMPS/Pektin hidrojinin desorpsiyon çalışması yaklaşık %80 verimle gerçekleşmiştir (Bhuyan ve ark., 2019). Kumar ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, Pektin/AMPS/Fe(II) manyetik hidrojelini sentezlemişler, bu manyetik hidrojinin As(V) adsorpsiyonunda kullanılabileceğini tespit etmişlerdir. Hidrojellerin şişme davranışına çapraz bağlayıcıların etkisi incelenmiş olup, şişmeye etkisi büyükten küçüğe NMBA>GA>EGDMA olarak tespit edilmiştir (Kumar ve ark., 2009).

#### **4.2.3. Sentetik Polimer/AMPS İçeren Hidrojeller ile Yapılan Ağır Metal Adsorpsiyon Çalışmaları**

Monomerler farklı fonksiyonel gruplara sahip olduğundan, AMPS ve sentetik polimer içeren hidrojellerin adsorpsiyon kapasiteleri de birbirlerinden farklı olacaktır. Sentetik polimerlerden üretilen bu hidrojeller yarışmalı adsorpsiyonda kullanıldığında metal türüne göre de seçici davranacaktır. AMPS içeren hidrojellere Fe ve grafen oksit eklenmesi manyetik özelliği artırırken, hidrojinin tuttuğu metal adsorpsiyon kapasitesini de arttırabilmektedir (Ozay ve ark., 2009; Ozay ve ark., 2010; Badsha ve Lo, 2020; Sahraei ve ark., 2016). Tablo 3'te AMPS içerikli farklı polimer türleri kullanılarak sentezlenen hidrojellerin farklı metal türlerini tutma kapasiteleri kıyaslamalı olarak verilmektedir. Elgueta ve arkadaşlarının yaptığı yarışmalı adsorpsiyon çalışmasında, HEMA/AMPS hidrojelini farklı çapraz bağlayıcı ve farklı başlatıcılar kullanarak sentezlemişler ve bu hidrojinin Cu(II), Zn(II), Cd(II), Pb(II), Ni(II) metallerini içeren bir çözelti sistemindeki ağır metal adsorpsiyon kapasitelerini tespit etmişlerdir. Hidrojel sentezinde kullanılan maddeler aynı olmasına rağmen başlatıcının ve çapraz bağlayıcının farklı olması, metallerin adsorpsiyon kapasitesini etkilediğini ortaya koymuşlardır (Elgueta ve ark., 2019). Li ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada 2-hidroksietilakrilat (HEA) ve %60, %70, %80 oranında AMPS monomerini kullanarak, HEA/AMPS hidrojellerini sentezlemişlerdir. En çok şişme gösteren %70 oranında AMPS içeren HEA/AMPS hidrojinde Pb(II), Cd(II), Cu(II), Fe(III) ve Cr(III) iyonlarının adsorpsiyonunu incelemişlerdir. Adsorpsiyon önceliğinin büyükten küçüğe  $Cr(III)>Fe(III)>Cu(II)>Cd(II)>Pb(II)$  şeklinde değiştiğini tespit etmişlerdir (Li ve ark., 2013). Chauhan ve arkadaşının yapmış oldukları çalışmada, AMPS monomerini, EGDMA ve NMBA çapraz bağlayıcıları kullanılarak homopolimer AMPS hidrojellerini sentezlemişlerdir. İki hidrojelde pH 1,1'de minimum şişerken, pH 4'te iki hidrojelde maksimum şişme gözlemlenmiştir. pH 4'te çapraz bağlı olmayan AMPS homo polimerinde Cr(VI) adsorpsiyonu azalırken, AMPS-EGDMA hidrojinin pH 4'te Cr(VI) adsorpsiyonunda artma gözlemlenmiştir. AMPS homopolimer hidrojinin Cr(VI) adsorpsiyonu farklı polimerler için %90 bulunmuştur (Chauhan ve Garg, 2009). Hui ve arkadaşının yapmış oldukları çalışmada, PVA/AA/AMPS hidrojelini sentezlemişler ve bu hidrojinin Pb(II)

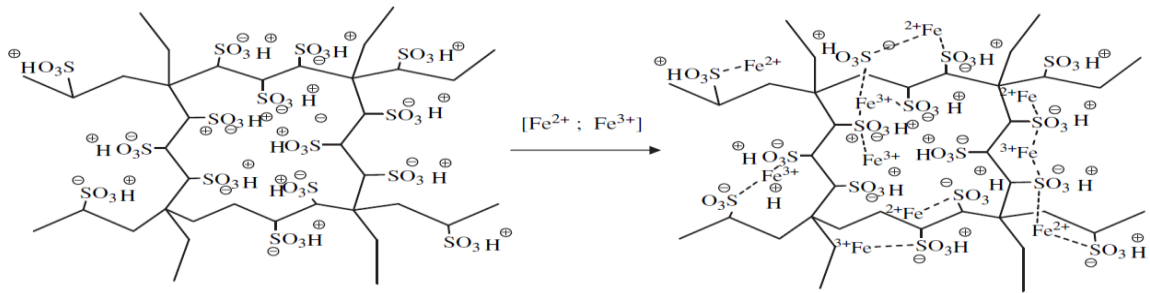
adsorpsiyonunda kullanılabilceğini tespit etmişlerdir. Hidrojeldaki AMPS miktarının artması daha düzgün ve yoğun gözenekli bir ağ oluşmasını sağlarken, hidrojelin mekanik özelliklerinde de iyileşme sağlamıştır. Elde edilen adsorpsiyon verileriyle Langmuir izotermine uygun olup Pb(II) adsorpsiyonunun homojen ve tek tabakalı olduğunu göstermişlerdir. Bu çalışmada, PVA/AA/AMPS hidrojelinin desorpsiyon çalışması 4 kez tekrarlanmıştır (Hui ve Ye, 2016).

**Tablo 3.** Sentetik polimer/AMPS içeren hidrojellerin ağır metal adsorpsiyon çalışmaları

Adsorban olarak kullanılan hidrojel	Adsorsiyonda kullanılan metal	Adsorpsiyon kapasitesi	Kaynaklar
İA/AMPS	Pb(II)	1,74 mmol/gr	Çavuş ve Gürdağ, 2009
	Cu(II)	1,25 mmol/gr	
	Cd(II)	1,15 mmol/gr	
HEA/AMPS	Pb(II)	208,0 mg/gr	Li ve ark., 2013
	Cu(II)	105,0 mg/gr	
	Cd(II)	167,0 mg/gr	
	Fe(III)	123,0 mg/gr	
	Cr(III)	103,0 mg/gr	
NVP/AA/HEMA/AMPS-TU	Pb(II)	38,46 mg/gr	Fırlak ve ark., 2010
	Cd(II)	62,50 mg/gr	
NVP/AA/HEMA/AMPS-U	Pb(II)	33,33 mg/gr	
	Cd(II)	37,04 mg/gr	
AN/AAx/AMPS	Cd(II)	250,0 mg/gr	Atta ve ark., 2011
	Fe(III)	200,0 mg/gr	
	Cu(II)	200,0 mg/gr	
HEMA/AMPS	Pb(II)	174,0mg/gr	Elgueta ve ark., 2019
	Cu(II)	136,2mg/gr	
	Cd(II)	139,5 mg/gr	
	Ni(II)	115,6 mg/gr	
	Zn(II)	105,1 mg/gr	
PVA/AA/AMPS	Pb(II)	219,8 mg/gr	Hui ve Ye, 2016
AM/AMPS/Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Pb(II)	321,0 mg/gr	Mahmoud, 2013
	Cu(II)	470,0 mg/gr	
	Cd(II)	436,0mg/gr	
AMPS/Fe(II)/Fe(III)	Pb(II)	126,4 mg/gr	Ozay ve ark., 2009
	Cu(II)	105,6 mg/gr	
	Cd(II)	131,0 mg/gr	
	Fe(II)	98,3mg/gr	
	Ni(II)	105,5 mg/gr	
	Co(II)	110,1 mg/gr	
	Cr(III)	76,9 mg/gr	
AMPS-N-VIM	Pb(II)	88,5 mg/gr	Ozay ve ark., 2010
	Cu(II)	65,8 mg/gr	

Fe(II)/Fe(III)	Cd(II)	83,3 mg/gr	
	Fe(II)	59,5 mg/gr	
NVP/AA/AMPS	Cd(II)	74,1 mg/gr	Kök Yetimoğlu ve ark., 2007
	Cu(II)	62,7mg/gr	
	Fe(III)	25,3 mg/gr	
AMPS/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cu(II)	102,0 mg/gr	Badsha ve Lo, 2020
	Ni(II)	93,0 mg/gr	
AM/AMPS/ZnO	Pb(II)	125,0 mg/gr	Krishna ve Vishalakshi, 2017
	Cu(II)	77,0 mg/gr	
GO-APTS/AMPS/Maleik anhidrit/Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Pb(II)	310,1 mg/gr	Sahraei ve ark., 2016
	Cu(II)	282,3 mg/gr	
	Co(II)	238,4 mg/gr	
PVA/AMPS/NIPAM	Pb(II)	510,2 mg/gr	Shoueir ve ark., 2017a
PVA/AMPS/NIPAM	Fe(III)	320,0 mg/gr	Shoueir ve ark., 2017b
AA/AMPS	U(VI)	526 mg/gr	Atta ve ark., 2010.
AM/AMPS(EGDMA)	U(VI)	2,11 mmol/gr	Kundakcı ve ark., 2009
AM/AMPS(BDMA)		2,06 mmol/gr	
AM/AMPS	Cu(II)	480,5 mg/gr	Atta ve ark., 2012
	Cd(II)	510,8 mg/gr	
	Fe(III)	400,2 mg/gr	
AM/AMPS	Cu(II)	2,0 mmol/g	Sökmen ve Çankaya, 2023

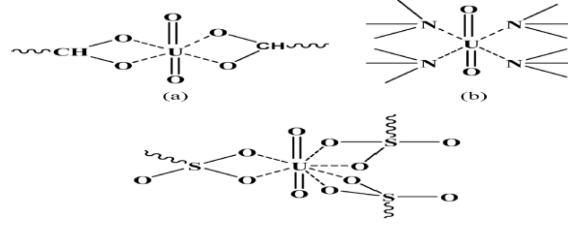
Ozay ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada AMPS/Fe(II)/Fe(III) manyetik hidrojellerini sentezlemişler (Şekil 13) ve metal adsorpsiyon kapasitelerinin büyükten küçüğe Cd(II)>Pb(II)>Co(II)>Cu(II)>Ni(II)>Fe(II)>Cr(III) şeklinde olduğunu tespit etmişlerdir (Ozay ve ark., 2009).



Şekil 13. Manyetik AMPS/Fe(II)/Fe(III) hidrojelinin sentezi

Atta ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, AA/AMPS hidrojelinin sentezlemişler ve U(VI) adsorpsiyonunda kullanmışlardır. AA/AMPS hidrojel kopolimerinin U(VI) adsorpsiyonunun öngörülen etkileşim türleri Şekil 14'te verilmiştir. Kopolimerdeki AMPS oranının artması U(VI) adsorpsiyonunun artmasına sebep olmuştur. Hidrojel kopolimerindeki AA ve AMPS miktarı eşit tutularak çapraz bağ %0,5-%4 oranında arttırıldığında U(VI) adsorpsiyonundaki artmanın az olduğu

gözlemlenmiştir. AA/AMPS hidrojelinin desorpsiyon çalışması üç kez tekrarlanmış ve desorpsiyon verimi %100 olarak hesaplanmıştır (Atta ve ark., 2010).



**Şekil 14. a)** Karboksilik grup oksijeniyle, **b)** amit grubundaki azot ile **c)** sülfonik asit grubundaki oksijen ile AA/AMPS hidrojel kopolimerinin U adsorpsiyonunun öngörülen etkileşim türleri

Fırlak ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, NVP, AA, HEMA ve AMPS monomerini kullanarak NVP/AA/HEMA/AMPS hidrojelini hem üre hem de tiyoüre ile muamele ederek iki farklı hidrojel sentezlemişler ve bu hidrojellerin Pb(II) ve Cd(II) iyonları adsorpsiyonunda kullanılabileceğini tespit etmişlerdir. Optimum şartları pH 5, başlangıç konsantrasyonu 300 mg/L, süre 24 saat belirlenerek adsorpsiyon işlemi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermlerine göre değerlendirilmiştir. HNO<sub>3</sub> içerisinde gerçekleştirilen desorpsiyon işlemini 5 kez tekrarlayarak yapmışlar, Cd(II) için %85 ve Pb(II) için %100 desorpsiyon olduğunu ifade etmişlerdir (Fırlak ve ark., 2010).

Kundakcı ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, EGDMA ve 1,4-bütandioldimetakrilat (BDMA) çapraz bağlayıcıları kullanılarak AM/AMPS hidrojellerini sentezlemişlerdir ve bu hidrojin U(VI) adsorpsiyonunda kullanılabileceğini tespit etmişlerdir. Çapraz bağlayıcı olarak hidrojel sentezinde EGDMA kullanıldığında, BDMA çapraz bağlayıcısına göre daha fazla şişme olduğu görülmüştür. Hidrojellerin AMPS içeriğine bakılarak (60, 120, 180, 240, 300 mg ) şişme ve U(VI) adsorpsiyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. EGDMA ile çapraz bağlanmış AM/AMPS hidrojelinde AMPS oranı 180 mg olan hidrojel seçilmiş ve konsantrasyon değiştirilerek de U(VI) adsorpsiyonu incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda AM/AMPS hidrojellerinin U(VI) adsorpsiyonu %9,05-%29,92 arasında bulunmuştur (Kundakcı ve ark., 2009).

## 5. Sonuç

AMPS ucuz, toksik olmaması ve kolayca iyonlaşabilme özelliğinden dolayı tercih edilen bir monomer türüdür. Literatürde AMPS yardımcı monomerine biyopolimer, sentetik polimer ya da kil eklenerek farklı özellikte hidrojel adsorbanlar sentezlenmiş olup, bu hidrojellerin Pb(II), Cu(II), Cd(II), Co(II), Ni(II), Cr(III), Cr(VI), As(V), U(VI), Fe(II), Fe(III) gibi metallerin adsorpsiyonunda kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmalara bakıldığında pH, başlangıç metal konsantrasyonu, zaman, sıcaklık gibi parametreler değiştirilerek AMPS içeren hidrojellerin metal tutma özelliklerinin araştırıldığı görülmüştür. Kil içeren AMPS hidrojellerinde kil miktarı arttıkça metal adsorpsiyonunda azalma

olduğu tespit edilmiştir. Hidrojel sentezinde kullanılacak kimyasalların ya da parametrelerin değiştirilmesi farklı sonuçlar doğuracaktır. Desorpsiyon çalışmalarında AMPS'nin kullanılması yeniden-tekrar kullanılabilir AMPS içerikli hidrojellerin sentezine olanak sağlamaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, çapraz bağ miktarları uygun seviyede tutularak ve çalışılacak pH aralığı tespit edilerek, hidrojellere eklenen monomer türü ve/veya kil türü de değiştirilerek farklı metal ya da boya türleriyle adsorpsiyon çalışmalarının yapılması literatüre katkı sağlayacaktır. Tek bir parametrenin bile değiştirilmesi adsorpsiyon kapasitesinin değişimine sebep olacağından, kullanılan adsorbentin ya da adsorpsiyonu yapılan maddelerin (metal, boya, ilaç vb.) değiştirilmesi farklı sonuçların meydana gelmesini sağlayacaktır. Bu derleme çalışmasının gelecekte doğa dostu ürünlerle sentezlenecek olan malzemelere yol gösterici olacağını ve yeni adsorpsiyon çalışmalarına ışık tutacağını öngörmekteyiz.

## **SEMBOL LİSTESİ**

**AN:** Akrilonitril

**AAx :**Akrilamidoksim

**CMC:** Karboksimetil selüloz

**NIPAM:**N-izopropilakrilamid

**NVP:** N-Vinilpiroliden

**N-VIM:**N-Vinilimidazol

**HEMA:** 2-Hidroksietilmetakrilat

**AMPSTU:** Tiyöüre ile muamele edilmiş 2-Akrilamido-2-metil-propan-sülfonik asit

**AMPSU :**Üre ile muamele edilmiş 2-Akrilamido-2-metil-propan-sülfonik asit

**GO-APTS:**3-Aminopropil-trietoksisilan ile muamele edilmiş grafen oksit

**HEC:**Hidroksietilselüloz

## **Teşekkür**

Bu tez çalışmasına destek veren Uşak Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: 2017/TP018) teşekkür ederiz. Bu çalışma, Özlem Sökmen'in Uşak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kimya Ana Bilim Dalı doktora tezinin literatür özeti kısmından üretilmiştir.

## **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

- Abd El-Aziz ME., Kamal KH., Ali KA., Abdel-Aziz MS., Kamel S. Biodegradable grafting cellulose/clay composites for metal ions removal. *International Journal of Biological Macromolecules* 2018; 118: 2256-2264.
- Akay G. Katanyonik surfaktan çözeltilerinde sentezlenen kendini onarabilen hidrojel. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:90, İstanbul, Türkiye, 2013.
- Arslan H., Çalışkan N., Gün M. Investigation of the use of activated peach kernel in Cr(VI), adsorption from aqueous solution. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2021; 31(1): 481-486.
- Atta AM., Al-Lohedan HA., ALOthman ZA., Abdel-Khalek AA., Tawfeek AM. Characterization of reactive amphiphilic montmorillonite nanogels and its application for removal of toxic cationic dye and heavy metals water pollutants. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 2015; 31: 374-384.
- Atta AM., Ismail HS., Elsaed AM. Application of anionic acrylamide-based hydrogels in the removal of heavy metals from waste water. *Journal of Applied Polymer Science* 2012; 123(4): 2500-2510.
- Atta AM., Sayed SA., Farag AB., Ismail HS., Mohamed ZM., Eraky AM. Application of crosslinked acrylamidoxime/2-acrylamido-2-methylpropane sulfonic acid copolymer in wastewater treatment. *Journal of Dispersion Science and Technology* 2011; 32(9):1285-1295.
- Atta AM., Wahab ZHAE., Shafey ZAE., Zidan WI., Akl ZF. Uranyl ions uptake from aqueous solutions using crosslinked ionic copolymers based on 2-acrylamido-2-methylpropane sulfonic acid copolymers. *Journal of Dispersion Science and Technology* 2010; 31(12):1601-1610.
- Babaladimath G., Badalamoole V. Pectin-graft-poly(2-acrylamido-2-methyl-1-propane sulfonic acid) silver nanocomposite hydrogel beads: evaluation as matrix material for sustained release formulations of ketoprofen and antibacterial assay. *Journal of Polymer Research* 2018; 25(9): 202.
- Badsha MAH., Khan M., Wu B., Kumar A., Lo IMC. Role of surface functional groups of hydrogels in metal adsorption: From performance to mechanism. *Journal of Hazardous Materials* 2021; 408: 124463.
- Badsha MAH., Lo IMC. An innovative pH-independent magnetically separable hydrogel for the removal of Cu(II) and Ni(II) ions from electroplating wastewater. *Journal of Hazardous Materials* 2020; 381: 121000.
- Bakr AA., Al-Shafey HI., Arafa EI., El Naggar AMA. Synthesis and characterization of polymerized acrylamide coupled with acrylamido-2-methyl-1-propane sulfonic acid-montmorillonite structure as a novel nanocomposite for Cd (II) removal from aqueous solutions. *Journal of Chemical & Engineering Data* 2020; 65(8): 4079-4091.



- Bal A., Özkahraman B., Gök MK., Acar I. Sodyum akrilat esaslı hidrojel ve kriyojellerin şişme, adsorpsiyon ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi 2014; 20(7): 258-265.
- Bao Y., Ma J., Li N. Synthesis and swelling behaviors of sodium carboxymethyl cellulose-g-poly(AA-co-AM-co-AMPS)/MMT superabsorbent hydrogel. Carbohydrate Polymers 2011; 84(1): 76-82.
- Bera R., Dey A., Chakrabarty D. Tuning of the swelling and dye removal efficacy of poly(acrylamide-AMPS)-based smart hydrogel. Separation Science and Technology 2017; 52(4): 743-755.
- Bhuyan MM., Adala OB., Okabe H., Hidaka Y., Hara K. Selective adsorption of trivalent metal ions from multielement solution by using gamma radiation-induced pectin-acrylamide-(2-Acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid) hydrogel. Journal of Environmental Chemical Engineering 2019; 7(1): 102844.
- Boyacı T., Orakdoğru N. Poly(N,N-dimethylaminoethyl methacrylate-co-2-acrylamido-2-methylpropanesulfonic acid)/Laponite nanocomposite hydrogels and cryogels with improved mechanical strength and rapid dynamic properties. Applied Clay Science 2016; 121-122: 162-173.
- Böck FC., Helfer GA., da Costa AB., Dessuy MB., Ferrão MF. Low cost method for copper determination in sugarcane spirits using Photometrix UVC® embedded in smartphone. Food Chemistry 2022; 367: 130669.
- Cao J., Cao H., Zhu Y., Wang S., Qian D., Chen G., Sun M., Huang W. Rapid and effective removal of Cu<sup>2+</sup> from aqueous solution using novel chitosan and laponite-based nanocomposite as adsorbent. Polymers 2017; 9(1): 5.
- Chauhan GS., Garg G. Study in sorption of Cr<sup>6+</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> on poly (2-acrylamido-2-methylpropane-1-sulfonic acid) hydrogels. Desalination 2009; 239(1-3): 1-9.
- Cheng WM., Hu XM., Wang DM., Liu GH. Preparation and characteristics of corn straw-co-AMPS-co-AA superabsorbent hydrogel. Polymers 2015; 7(11): 2431-2445.
- Çankaya N., Sökmen Ö. Polimerler-kil nanokompozitlerinde kullanılan bazı yüzey analiz yöntemleri. Teknik Bilimleri Dergisi 2021; 11(1): 20-32.
- Çavuş S., Gürdağ G. Noncompetitive removal of heavy metal ions from aqueous solutions by poly[2-(acrylamido)-2-methyl-1-propanesulfonic acid-co-itaconic acid] hydrogel. Industrial & Engineering Chemistry Research 2009; 48(5): 2652-2658.
- Dal MC., Onursal N., Arıca E., Yavuz Ö. Diyarbakır karacadağ kırmızı tepe skoryası ile Cu(II) adsorpsiyon kinetiğinin incelenmesi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi 2021; 12(2): 337-346.
- Daşbaşı T. Katı faz zenginleştirmeli akışa enjeksiyonlu FAAS ile Pb, Ag ve Au tayini. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no:141, Kayseri, Türkiye, 2013.

- Daşbaşı T., Muğlu H., Soykan C., Ülgen A. SPE and determination by FAAS of heavy metals using a new synthesized polymer resin in various water and dried vegetables samples. *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry* 2018; 55(3): 288-295.
- Drozдов AD. Equilibrium swelling of multi-stimuli-responsive superabsorbent hydrogels. *Mechanics of Soft Materials* 2021; 3: 1.
- Durmaz S., Okay O. Acrylamide/2-acrylamido-2-methylpropane sulfonic acid sodium salt-based hydrogels: synthesis and characterization. *Polymer* 2000; 41(10): 3693-3704.
- Ekici S., Çetik Erkol M. Farklı çapraz bağlayıcılar ile hazırlanmış poliakrilamid hidrojellerinin değerlendirilmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2017; 19(2): 177-191.
- Ekinci S., İlter Z. Poliamidoamin dendrimeri ile modifiye edilen demir oksit nanopartiküllerle hazırlanmış MNPs-G1-Mu adsorbantı tarafından Cr(III) iyonlarının adsorpsiyonunun incelenmesi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2021; 10(2): 111-123.
- Elgueta E., Rivas BL., Mancisidor A., Núñez D., Dahrouch M. Hydrogels derived from 2-hydroxyethyl-methacrylate and 2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid, with ability to remove metal cations from wastewater. *Polymer Bulletin* 2019; 76(12): 6503-6528.
- El-Saied HA., Motawea EA. Optimization and adsorption behavior of nanostructured NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/Poly AMPS grafted biopolymer. *Journal of Polymers and the Environment* 2020; 28(9): 2335-2351.
- Fırlak M., Kök Yetimoğlu E., Kahraman MV., Kayaman Apohan N., Deniz S. Removal of lead and cadmium ions from aqueous solutions using sulphur and oxygen donor ligand bearing hydrogels. *Separation Science and Technology* 2010; 45(1): 116-128.
- Hui B., Ye L. Structure of polyvinyl alcohol-g-acrylic acid-2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid hydrogel and adsorption mechanism for advanced Pb(II) removal. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 2016; 35: 309-317.
- Ibrahim AG., Elkony AM., El-Bahy SM. Methylene blue uptake by gum arabic/acrylic amide/ 3-allyloxy-2-hydroxy-1-propanesulfonic acid sodium salt semi-IPN hydrogel. *International Journal of Biological Macromolecules* 2021; 186(12): 268-277.
- Jalali MA., Koochi AD., Sheykhani M. Experimental study of the removal of copper ions using hydrogels of xanthan, 2-acrylamido-2-methyl-1-propane sulfonic acid, montmorillonite: Kinetic and equilibrium study. *Carbohydrate Polymers* 2016; 142: 124-132.
- Kabiri K., Mirzadeh H., Zohuriaan-Mehr MJ. Chitosan modified MMT-Poly(AMPS) nanocomposite hydrogel: heating effect on swelling and rheological behavior. *Journal of Applied Polymer Science* 2010; 116(5): 2548-2556.
- Kabiri K., Omidian H., Zohuriaan-Mehr MJ., Doroudiani S. Superabsorbent hydrogel composites and nanocomposites: a review. *Polymer Composites* 2011; 32(2): 277-289.
- Kanmaz N. Hidrojel bazlı biyokompozit adsorbantların sulu çözeltilerden uranyum(VI) adsorpsiyon kapasiteleri üzerine derleme. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 12(3): 1436-1455.

- Karadağ E., Nalbantoğlu A., Kundakcı S., Üzüm ÖB. Highly swollen polymer/clay composite sorbent-based AAm/AMPS hydrogels and semi-IPNs composed of carboxymethyl cellulose and montmorillonite and cross-linked by PEGDA. *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 2014a; 53(1): 54-64.
- Karadağ E., Kundakcı S., Üzüm ÖB., Saraydın D., Güven O. Akrilamid esaslı yarı-IPN ve kompozit hidrojenlerin su soğurum çalışmaları ve adsorpsiyon özellikleri. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry* 2014b; 42(1): 71-79.
- Karadağ E., Nalbantoğlu A., Kundakcı S., Üzüm ÖB. Uranyl ion sorption characteristics of novel polymer/montmorillonite/carboxymethyl cellulose-composite biosorbent-based AAm/AMPS hydrogels and semi-IPNs. *Advances in Polymer Technology* 2018; 37(2): 575-585.
- Karmakar M., Mondal H., Ghosh T., Chattopadhyay PK., Maiti DK., Singha NR. Chitosan-grafted tetrapolymer using two monomers: pH-responsive high-performance removals of Cu(II), Cd(II), Pb(II), dichromate, and biphosphate and analyses of adsorbed microstructures. *Environmental Research* 2019; 179: 108839.
- Kaşgöz H., Durmuş A. Dye removal by a novel hydrogel-clay nanocomposite with enhanced swelling properties. *Polymers for Advanced Technologies* 2008a; 19(7): 838-845.
- Kaşgöz H., Durmuş A., Kaşgöz A. Enhanced swelling and adsorption properties of AAm-AMPSNa/clay hydrogel nanocomposites for heavy metal ion removal. *Polymers for Advanced Technologies* 2008b; 19(3): 213-220.
- Kim SJ., Lee CK., Kim SI. Electrical/pH responsive properties of poly(2-acrylamido-2-methylpropane sulfonic acid)/hyaluronic acid hydrogels. *Journal of Applied Polymer Science* 2004; 92(3): 1731-1736.
- Kodoth AK., Badalamoole V. Pectin based graft copolymer-ZnO hybrid nanocomposite for the adsorptive removal of crystal violet. *Journal of Polymers and the Environment* 2019; 27(9): 2040-2053.
- Kodoth AK., Badalamoole V. Silver nanoparticle-embedded pectin-based hydrogel for adsorptive removal of dyes and metal ions. *Polymer Bulletin* 2020; 77(2): 541-564.
- Kök Yetimoğlu E., Kahraman MV., Ercan Ö., Akdemir ZS., Kayaman Apohan N. *N*-vinylpyrrolidone/acrylic acid/2-acrylamido-2-methylpropane sulfonic acid based hydrogels: synthesis, characterization and their application in the removal of heavy metals. *Reactive & Functional Polymers* 2007; 67(5): 451-460.
- Krishna KA., Vishalakshi B. Pectin based ZnO nanocomposite hydrogel: evaluation as adsorbent for divalent metal ions from aqueous solutions. *Elixir Nanotechnology* 2017; 107: 47326-47331.
- Kumar R., Kumar A., Chauhan K., Gupta R., Ahn JH., Chauhan GS. Removal of As(V) from water by pectin based active hydrogels following geochemical approach. *Bioresource Technology* 2009; 100(3): 1474-1477.

- Kundakci S., Üzümler ÖB., Karadağ E. Behaviors of chemically crosslinked CAAMPS hydrogels in uptake of uranyl ions from aqueous solutions. *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 2009; 48(1): 69-74.
- Kundakci S., Üzümler ÖB., Karadağ E. Swelling and dye sorption studies of acrylamide/2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid/bentonite highly swollen composite hydrogels. *Reactive & Functional Polymers* 2008; 68(2): 458-473.
- Laftah WA., Hashim S., Ibrahim AN. Polymer hydrogels: a review. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 2011; 50(14): 1475-1486.
- Lehto J., Vaaramaa K., Vesterinen E., Tenhu H. Uptake of zinc, nickel, and chromium by N-isopropyl acrylamide polymer gels. *Journal of Applied Polymer Science* 1998; 68(3): 355-362.
- Lee WF., Hsu CH. Superabsorbent polymeric material. V. Synthesis and swelling behavior of sodium acrylate and sodium 2-acrylamido-2-methylpropanesulfonate copolymeric gels. *Journal of Applied Polymer Science* 1998; 69(2): 229-237.
- Li N., Du J., Tan Y., Ling J., Yang X., Ma J., Wu R., Xu S., Zhang Y. Dispersion and rheological behaviors of laponite in 2-acrylamido-2-methylpropanesulfonic acid solution. *Applied Clay Science* 2017; 137: 94-100.
- Li Z., Wang Y., Wu N., Chen Q., Wu K. Removal of heavy metal ions from wastewater by a novel HEA/AMPS copolymer hydrogel: preparation, characterization, and mechanism. *Environmental Science and Pollution Research* 2013; 20(3): 1511-1525.
- Liu Y., Xie JJ., Zhang XY. Synthesis and properties of the copolymer of acrylamide with 2-acrylamido-2-methylpropanesulfonic acid. *Journal of Applied Polymer Science* 2003; 90(13): 3481-3487.
- Lu T., Zhu Y., Qi Y., Wang W., Wang A. Magnetic chitosan-based adsorbent prepared *via* Pickering high internal phase emulsion for high-efficient removal of antibiotics. *International Journal of Biological Macromolecules* 2018; 106: 870-877.
- Mahmoud GA. Adsorption of copper(II), lead(II), and cadmium(II) ions from aqueous solution by using hydrogel with magnetic properties. *Monatshefte für Chemie - Chemical Monthly* 2013; 144(8): 1097-1106.
- Maity J., Ray SK. Competitive removal of Cu(II) and Cd(II) from water using a biocomposite hydrogel. *The Journal of Physical Chemistry B* 2017; 121(48): 10988-11001.
- Nakhjiri MT., Marandi GB., Kurdtabar M. Effect of bis[2-(methacryloyloxy)ethyl] phosphate as a crosslinker on poly(AAm-co-AMPS)/Na-MMT hydrogel nanocomposite as potential adsorbent for dyes: kinetic, isotherm and thermodynamic study. *Journal of Polymer Research* 2018; 25(11): 244.
- Nesic A., Panic V., Ostojic S., Micic D., Pajic-Lijakovic I., Onjia A., Velickovic S. Physical-chemical behavior of novel copolymers composed of methacrylic acid and 2-acrylamido-2-methylpropane sulfonic acid. *Materials Chemistry and Physics* 2016; 174: 156-163.

- Ortaboy S., Acar ET., Atun G., Emik S., İyim TB., Güçlü G., Özgümüş S. Performance of acrylic monomer based terpolymer/montmorillonite nanocomposite hydrogels for U(VI) removal from aqueous solutions. *Chemical Engineering Research and Design* 2013; 91(4): 670-680.
- Ozay O., Ekici S., Baran Y., Aktas N., Sahiner N. Removal of toxic metal ions with magnetic hydrogels. *Water Research* 2009; 43(17): 4403-4411.
- Ozay O., Ekici S., Baran Y., Kubilay S., Aktas N., Sahiner N. Utilization of magnetic hydrogels in the separation of toxic metal ions from aqueous environments. *Desalination* 2010; 260(1-3): 57-64.
- Özeroğlu C., Korkmaz Ö. Synthesis and swelling behaviors of hydrogels containing LiMA groups and its use in Cu(II) adsorption from aqueous solution. *Biointerface Research in Applied Chemistry* 2022; 12(3): 3618-3637.
- Phetphaisit CW., Yuanyang S., Chaiyasith WC. Polyacrylamido-2-methyl-1-propane sulfonic acid-grafted-natural rubber as bio-adsorbent for heavy metal removal from aqueous standard solution and industrial wastewater. *Journal of Hazardous Materials* 2016; 301: 163-171.
- Pishnamazi M., Ghasemi S., Khosravi A., ZabihiSahebi A., Hasan-Zadeh A., Borghei SM. Removal of Cu (II) from industrial wastewater using poly (acrylamide-co-2-acrylamide-2-methyl propane sulfonic acid)/graphene oxide/sodium alginate hydrogel: isotherm, kinetics, and optimization study. *Journal of Water Process Engineering* 2021; 42(7): 102144.
- Pourjavadi A., Hosseinzadeh H., Mazidi R. Modified carrageenan. 4. synthesis and swelling behavior of crosslinked  $\kappa$ C-g-AMPS superabsorbent hydrogel with antisalt and pH-responsiveness properties. *Journal of Applied Polymer Science* 2005; 98(1): 255-263.
- Saçmacı Ş., Saçmacı M., Soykan C., Kartal Ş. Synthesis and characterization of new chelating resin: adsorption study of copper(II) and chromium (III) ions. *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry* 2010; 47(6): 552-557.
- Sahiner N. In situ metal particle preparation in cross-linked poly(2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid) hydrogel networks. *Colloid and Polymer Science* 2006; 285(3): 283-292.
- Sahraei R., Hemmati K., Ghaemy M. Adsorptive removal of toxic metals and cationic dyes by magnetic adsorbent based on functionalized graphene oxide from water. *RSC Advances* 2016; 6: 72487-72499.
- Saikia AK., Aggarwal S., Mandal UK. Preparation and controlled drug release characteristics of thermoresponsive PEG/Poly (NIPAM-co-AMPS) hydrogels. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials* 2013; 62(1): 39-44.
- Shoueir KR., Akl MA., Sarhan AA., Atta AM. New core@shell nanogel based 2-acrylamido-2-methyl-1-propane sulfonic acid for preconcentration of Pb(II) from various water samples. *Applied Water Science* 2017a; 7: 3729-3740.
- Shoueir KR., Atta AM., Sarhan AA., Akl MA. Synthesis of monodisperse core shell PVA@P(AMPS-co-NIPAM) nanogels structured for pre-concentration of Fe(III) ions. *Environmental Technology* 2017b; 38(8): 967-978.

- Sökmen O., Çankaya N. Remediation of toxic Cu (II) with acrylamide-based hydrogels. *Advances in Clinical Toxicology* 2023; 8(3): 000278.
- Tanan W., Saengsuwan S. A one-pot microwave-assisted synthesis of IPN hydrogels based on HEMA/AM/PVA blend for enhancing Cu(II) and Pb(II) ions removal. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2020; 8(2): 103469.
- Üzüm ÖB., Kundakcı S., Karadağ E. Polymeric absorbent for water sorption based on chemically crosslinked poly (acrylamide/2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid sodium salt) hydrogels. *Polymer Bulletin* 2006, 57(5): 703-712.
- Vijitha R., Nagaraja K., Hanafiah MM., Rao KM., Venkateswarlu K., Lakkaboyana SK., Rao KSVK. Fabrication of eco-friendly polyelectrolyte membranes based on sulfonate grafted sodium alginate for drug delivery, toxic metal ion removal and fuel cell applications. *Polymers* 2021; 13(19): 3293.
- Wang H., Kang J., Liu H., Qu J. Preparation of organically functionalized silica gel as adsorbent for copper ion adsorption. *Journal of Environmental Sciences* 2009; 21(11): 1473-1479.
- Wang X., Gao J., Yang W. Polymeric superabsorbing composite prepared using a glow-discharge electrolysis plasma for the removal of divalent heavy metal ions from aqueous solutions and its swelling properties. *Polymer Engineering and Science* 2012; 52(10): 2217-2227.
- Xiong J., Tao J., Guo K., Jiao C., Zhang D., Lin H., Chen Y. A rational modification route to an amphiprotic cotton fiber as adsorbent for dyes. *Fibers and Polymers* 2015; 16(7): 1512-1518.
- Yu J., Zheng J., Lu Q., Yang S., Wang X., Zhang X., Yang W. Reusability and selective adsorption of Pb<sup>2+</sup> on chitosan/P(2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid-co-acrylic acid) hydrogel. *Iranian Polymer Journal* 2016; 25: 1009-1019.
- Zauro SA., Vishalakshi B. Amphoteric gellan gum-based terpolymer-montmorillonite composite: synthesis, swelling, and dye adsorption studies. *International Journal of Industrial Chemistry* 2017; 8: 345-362.
- Zhu L., Zhang L., Tang Y., Kou X. Synthesis of sodium alginate graft poly (acrylic acid-co-2-acrylamido-2-methyl-1-propane sulfonic acid)/attapulgate hydrogel composite and the study of its adsorption. *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 2014; 53(1): 74-79.

## Hayvanlarda Önemli Ekonomik Özellikler için Genom Çapında İlişkilendirme Çalışmaları: Derleme

Mubeen ul HASAN<sup>1\*</sup>, Ayhan CEYHAN<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Department of Animal Production and Technologies, Nigde Omer Halisdemir University, 51240, Nigde, Türkiye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-7435-4619>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-2862-7369>

\*Corresponding author: mrmubeen.hassan@gmail.com

### Derleme

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 06.12.2022

Kabul tarihi: 26.11.2023

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Genomik çalışmalar

Tek nükleotid polimorfizmi (SNP)

Genom Çapında İlişkilendirme

Çalışmaları (GWAS)

Hayvan Islahı

Kantitatif özellik lokusları (QTL)

### ÖZ

Genom Çapında İlişkilendirme Çalışmaları (GWAS), çiftlik hayvanlarında üretim özellikleriyle ilişkili önemli Kantitatif Özellik Lokuslarını (QTL) belirlemek için önemli bir araç olduğunu kanıtlamıştır. GWAS, genomda bulunan Tek Nükleotid Polimorfizmini (SNP) tanımlamaya ve daha sonra tanımlanan SNP'leri ekonomik açıdan önemli özelliklerle ilişkilendirmeye yardımcı olur. Hayvan yetiştiriciliğinde süt üretimi, et üretimi, yağ ve protein içeriği, et kalitesi, yavru verimi, büyüme oranı, doğurganlık, yapağı kalitesi vb. ile ilgili birçok SNP daha önce tanımlanmıştır. Bu önemli SNP'ler koyun, sığır, keçi, tavuk, manda ve yak gibi ekonomik açıdan önemli hayvanlarda tanımlanmıştır. GWAS, bir DNA çipi yardımıyla büyük popülasyon genomlarının taranmasına ve hayvan ıslah programı için gerekli olan genomik bölgelerin belirlenmesine yardımcı olur. Belirlenen bu SNP'ler, bireysel hayvanlar arasındaki üretim farklılıklarını anlamak için bir popülasyondaki hayvanların genomları arasındaki fark hakkında bilgi sağlayabilir. İnsan nüfusundaki hızlı artış ve kişi başına düşen üretimin artması, hayvansal ürünlerin veriminde uygun bir artış gerektirmektedir. Bu önemli QTL'lerin tanımlanması, küresel gıda talebini karşılamak üzere hayvansal ürün veriminin artırılması için gereklidir. Bu derleme tavuk, sığır, keçi ve koyunlarda GWAS ile ilgili genomik çalışmalara odaklanacaktır. Ayrıca, bu çalışma GWAS'ın artan gıda talebini karşılamak için hayvanlarda önemli ekonomik özelliklerin üretim seviyesini artırmaya nasıl yardımcı olduğunu vurgulayacaktır.

## Genome-Wide Association Studies for Important Economic Traits in Animals: A Review

### Reviews

#### Article History:

Received: 06.12.2022

Accepted: 26.11.2023

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

Genomic studies

Single nucleotide polymorphism (SNP)

Genome-Wide Association Studies

Animal breeding, Quantitative trait loci

### ABSTRACT

Genome-Wide Association Studies (GWAS) have proved to be an important tool to identify the important Quantitative Trait Loci (QTL) associated with production traits in farm animals. GWAS helps to identify the Single Nucleotide Polymorphism (SNP) present in the genome and then correlate those identified SNPs to economically important traits. In animal breeding, many SNPs related to milk production, meat production, fat and protein content, meat quality, litter size, growth rate, fertility, wool quality, etc have been identified

(QTL)

previously. These important SNPs have been identified in economically important animals, such as sheep, cattle, goats, chicken, buffalo, and yak. GWAS help to scan large population genomes with the help of a DNA chip and identify genomic regions that are essential for the animal breeding program. These identified SNPs can provide information about the difference between the genomes of animals in a population to understand the production differences among the individual animals. The rapid increase in the human population and increasing per capita production requires a proper increase in the yield of animal products. Identification of these important QTLs is necessary for increasing animal product yield to meet the global food demand. This review will focus on the genomic studies related to GWAS in chicken, cattle, goats, and sheep. Furthermore, this study will emphasize how the GWAS has helped to increase the production level of important economic traits in animals to meet the increasing food demand.

---

**To Cite:** Ul-Hasan M., Ceyhan A. Genome-Wide Association Studies for Important Economic Traits in Animals: A Review. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(3): 1399-1412.

## **Introduction**

The food security of the world is under threat due to rising temperatures, climate change, floods, and other environmental factors. Lower production and rising inflation are also making the price of milk, meat, cheese, and other animal products increase. The goal of today's dairy and meat industry is to increase milk, meat, and cheese production in order to overcome the food shortage and help to reduce commodity prices. The breeding programs in the animal industry are focused on the improvement of the genetics of animals which will lead to an increase the production. Therefore, the identification of important animals that have superior genetic makeup is necessary for breeding programs (Zhang et al., 2013).

The important goal for flock improvement in animal production is to identify animals that have superior genetic makeup which can help to get better economic benefits. To achieve this goal of selecting genetically superior animals to increase flock productivity traditional breeding techniques can be combined with modern biotechnological tools (Jahuey et al., 2014). The animal genetic markers present in the DNA sequence of the animals can be identified by using DNA sequence technologies, single nucleotide polymorphism (SNP) is one of these unique technologies that can be useful to identify economically important production traits (Niño et al., 2012; Bejarano et al., 2016).

Next-Generation Sequencing gives genome-wide coverage with high-quality results, making possible the identification of mutations that can be potentially disease-related or high-risk in the genome (Ceballos et al. 2018). However, in another scenario these mutations can be signatures due to natural or artificial selection pressure or anthropogenic or evolutionary process, leading to the development of new possible lines or special breeds of animals (Boitard et al., 2016). The genome of bovine, ovine, and chicken has gone through this process of evolution and selection leading to the naturally occurring breeds. Therefore, sequencing the genomes of industrial animals like cattle, sheep, chickens, and goats and identifying these selection signatures can be helpful to identify the complex process that leads to the development of new naturally occurring breeds. Several methods and techniques have been developed to understand the process of genome modification due to evolution and selection and to



identify the signature of selection and evolution. These methods use the hierarchical structure and genomic kinship between the populations to understand the relationship between different breeds (Fariello et al., 2013; Boitard et al., 2016; Yurchenko et al., 2018).

Single nucleotide polymorphism (SNP) is screened as a genetic marker in the target genes to detect changes in the phenotypic traits. These SNP can be identified in larger numbers in the target genome or a few SNPs in the single gene by using different biotechnological techniques. Genome-Wide Association Studies (GWAS) can be used to detect a large number of SNPs present in any organism's genome. GWAS has been an important tool to identify the candidate SNPs in the target potentially important genes related to many economic traits in the animal's genome. GWAS as compared to conventional techniques which are used to identify quantitative trait locus (QTL) can detect mutations in the smaller genetic range with better efficiency (Hirschhorn et al., 2005). In

the last few years, GWAS has been used in genetic selection programs involving sheep, cattle, pigs, goat, chicken, horse, and other animals, and have helped to identify many candidate SNPs in the economically important traits in commercial livestock (Gao et al., 2019; Li et al., 2019; Ghasemi et al., 2019; Liu et al. 2019). An example of one of these economic traits SNP detection in important economic traits is sheep. In sheep important genes involved in meat production, milk production, wool production, body weight, weaning weight, and yearling have been screened by using GWAS, and many important mutations SNPs have been identified in the important regions of these genes that can be used in the genetic selection program (Wei and Liu 2014).

Improving the important production trait performance in animals to gain monetary benefits, a comprehensive understanding of the genetic structure and its manipulation for phenotypic advantage is necessary. Furthermore, to underline the phenotype with genetic marker SNP short, medium, and high-density SNP panels can be used for identification and then followed by GWAS can be a complete and comprehensive strategy to increase the production performance in a genetic program in livestock (Korte and Farlow 2013). In addition, gene set enrichment, and gene prioritization analyses post-GWAS analyses have been used along with genome-wide association studies to increase the understanding of molecular mechanisms present in the genes of interest in commercial animals (Otto et al., 2020). These approaches combined helped to understand the mechanism involved around the gene working together in different biological pathways to control complex quantitative traits and help to pass the limitations of GWAS (Dadousis et al., 2017). In the dairy industry traits involving milk yield, milk fat and protein percentage and milk solids are the pivot target for breeding programs. Consequently, a large number of studies have been carried out in recent years to detect the potential QTLs by using GWAS and QTL mapping in dairy cattle (Li et al., 2020b; Otto et al., 2020), goats (Mucha et al., 2018; Guan et al., 2020), and sheep (García-Gómez et al., 2012a; Li et al., 2020a). Furthermore, many studies involving the GWAS to identify the potential SNP present in the milk-producing genes in dairy animals have successfully generated results in the genetic breeding programs (Sanchez et al., 2019; Otto et al., 2020). Present genotyping techniques can detect small amounts of

low-frequency variants for separate animal breeds. These current genotyping arrays combined with GWAS provide the opportunity to identify high-priority variants in animal populations (Lee et al., 2014).

This review goes through some of the studies carried out to detect the single nucleotide polymorphism (SNP) in the economically important genes in sheep, cattle, goats, and chickens. Furthermore, this review will emphasize the importance of GWAS to detect the SNP present in the target genes for economical traits in commercial milk and meat-producing animals.

### **GWAS in Cattle**

Increasing milk production from cattle is pivotal for some countries' dairy production sectors, therefore identifying the candidate genes involved in milk production can be beneficial to increase milk production through genetic breeding programs. Otto et al. (2020) screened the genome of Brazilian Girolando cattle to map the QTL related to milk production. Genome-Wide Association Study (GWAS) was conducted to identify the genomic regions related to 305-d milk yield in Holstein and Gir breeds. 7 candidate genes were identified on chromosomes 1, 4, 6, and 26 related to milk traits which can be targeted in breeding programs to increase milk production. A whole-genome association study was conducted to identify some candidate SNPs related to milk yield, fat yield, protein yield, fat percentage, and protein percentage in Braunvieh cattle (Max et al., 2012). Two SNPs affecting milk yield on BTA4, one SNP affecting fat percentage on BTA1, and two SNPs affecting fat yield on BTA23 and BTA14 were identified. Atashi and Hadi (2022) estimated genomic regions linked to milk production traits in Dual purpose Belgian Blue Cows by using GWAS. They were able to discover a negative relationship between somatic cell score and milk yield traits (FY, PY, MY). Gershoni et al. (2021) were able to correlate the yearling weight gain to production traits in cows the analysis showed a positive correlation of yearling weight gain with milk, protein, fat production, and cow survival while a negative correlation of yearling weight gain was seen with female fertility in Holstein cattle. Saowaphak et al. (2017) estimated Holstein cattle genomes to find candidate regions related to 305-d milk yield, length of productive life LPL, and days open. The cattle genome was genotyped by using Illumina bovine SNP50 bead chip. The GWAS resulted in the identification of 23 QTL on chromosome numbers 1, 4, 5, 8, 15, X, and 26 related to candidate genes of desired traits DOCK11, IL13RA1, SYT1, KLHL 13, GNA14, LRRC4C, and PRKG1. These QTL regions can serve the target of breeding programs to increase milk production in cattle.

Animal behavior is a complex trait that needs to be genetically characterized to develop successful breeding programs. Single-step genome-wide association study (ssGWAS) was conducted to genetically characterize the genes for yearling temperament in North American Angus cattle. The detected genes CRISPLD1, ATXN10, CAPRIN1, VAX2, FA2H, ADAM10, PLXNA1, ATP6B1V1, SPEF2, and CACNA2D3 were characterized by the complex biological processes involved in determining the social interaction, aggressiveness, and other behaviors in cattle (Araujo et al., 2021).

Longevity in cattle is characterized by two categories, part of the lifespan for early selection or the full lifespan of the animal. The data shows eight traits are connected to both categories of longevity and can be investigated to characterize the complex genetic processes involved. 150k-SNP panel was used to characterize the genome of 2630 Holstein cows from an initial group of 103,479 cows by GWAS. In total 55 SNPs located on 25 different chromosomes were identified after analysis, of these 55 SNPs 12 SNPs were seen to be influencing more than one trait. The candidate genes related to longevity and related traits identified by the study were *CACNA2D1*, *RPRM*, *DNAJA3*, *GRIA3*, *FGF10*, *CA5A*, and *GTF2H5* (Zhang et al., 2021).

Meat production is a quantitative trait that is controlled by several genes. GWAS-enabled genotyping of genomic regions related to particular traits has enabled the identification of important SNPs in the genes related to meat production. Bedhane et al. (2019) screened the genome of 2110 Hanwoo cattle by GWAS to find important SNPs. The genome-wide association study identified a total of 107 significant SNPs present on the 14 chromosomes related to meat texture, fat, the color of meat, and the marbling of cattle meat. The important genes identified for these meat production-related traits were *BTA2*, 12, 16, 24, *BTA12*, 29 *BTA7*, 10,12, 16, 21, and *BTA2*, 14, 24. Pegolo et al. (2020) carried out GWAS in Piemontese young bulls to characterize carcass-related traits like carcass weight, daily gain, conformation score, and meat quality. The analyses revealed 37 different SNPs related to 12 different traits influencing the carcass and meat quality in bulls. Significant SNPs were detected on *SLC12A1*, *CGNLI*, *PRTG(ADG)*, *LOC513941(CF)*, *NLRP2(CF and DP)*, *CDC155(DP)* genes contributing to average daily gain, carcass freshness, body weight, and dressing percentage by GWAS in Local Alpine breed (Mancin et al., 2021).

### **GWAS in Sheep**

Sheep production is an integral part of the agricultural economy in developing countries due to important products like milk, cheese, meat, and wool. Genetic characterization and identification of SNPs in the important genes related to production traits can play a pivotal role in increasing sheep product yield by selecting animals with superior genetics. Krivoruchko et al. (2021) conducted GWAS in the Karachaevsky sheep breed to look for SNPs and genes related to production traits. GWAS was carried out by using a 600k SNP ovine infimum HD bead chip which resulted in the identification of 15 SNPs related to body size, length, and color of the coat, presence of horns, and live weight. The major candidate genes identified *MAEL*, *EPA4*, *CPT1*, *FCER1A*, *CWC27*, *SHISAL2B*, *SCIN*, *MYO16*, and *ITPKB* on chromosomes 1, 2, and 21. These SNPs and genes can be a point of interest to increase the productivity of the Karachaevsky sheep breed through breeding programs. GWAS study in Churra and Spanish Assaf sheep breeds revealed 71 total genes involved with cheese and milk production traits on different chromosomes. In total 6 milk and 6 cheese traits showed significant associations with 84 to 139 chromosomal regions. The report revealed 71 possible candidate genes in both breeds that can be exploited in genetic breeding programs to increase the yield of milk and

cheese-related traits (Marina et al., 2021). Bolormaa et al. (2018) investigated the reliability of previously identified QTLs in meat quality traits carcass fat depth, post-weaning body weight, post-weaning eye, and SF5 in multi-breed sheep with GWAS, the identification of new QTLs in GWAS was also conducted in their research. The data obtained by GWAS revealed new QTL regions related to meat traits and confirmed the presence of previously reported QTLs on chromosomes 6 and 18. The WGS data revealed clear evidence for the identification of old and new SNPs related to meat quality traits.

Mohammadi et al. (2022) conducted weighted single-step GWAS in Vall del Belice dairy sheep, and candidate genes associated with important economic traits were revealed e.g for somatic cell score MED28, for milk yield MYH9, PPARGC1A, LEP, and LYPLA1, protein yield and percentage ANGPT1, PCSK5, and for fat yield and percentage CACNA1C, ERCC6, CHRM3, ROBO2, and PTPN1. Krivoruchko et al. (2022) detected several SNPs which showed heavily reliable associations between the substitutions rs410503867 and rs428223899 were found on chromosomes 4 and 21, while the animals with super elite scores showed three more substitutions rs413668028, rs402746571, and rs404739757 were linked to nearby NALCN gene. The genomic associations were found in the genes NFATC2, DGKB, NALCN, PAK1, CTTNBP2, and PAK1 related to wool and meat traits in Caucasian sheep. Kizilasan et al., (2022) proposed several candidate genes (MYOM3, PRDM2, SLC44A1, PTGDR, SP1, PTPRG, TLE4, KCND2, FKBP1A, ZNF260, CPE, TMEM50A, GRID2, HCN3, SCD5, ZNF407, and SPIDR related to genetic correlation, phenotype correlation, and genomic heritability after conducting GWAS in Akkarman sheep (Yilmaz et al., 2021).

A genome-wide association study revealed significant SNPs related to body weight in Hu sheep (Cao et al., 2020). Two SNPs revealed were identified in the candidate gene CAPN6 which showed significant variants in weaned (60 days) and in 6-month-old sheep's longissimus dorsi muscle and biceps femoris leading to marker-assisted breeding. Ghasemi et al. (2019) conducted a genome-wide association study for birth weight in meat type Lori-Bakhtiari sheep. The genotype revealed 3 significant SNPs on chromosome 1. Seven genes were identified in the genotyped regions but three genes RAB6B (a member of the RAS oncogene family), GIGYF2 (a GRB10 interacting GYF protein 2), and TF (serotransferrin) could be significant candidate genes for birth weight in Lori-Bakhtiari sheep. A genome-wide association study in Valle Del Blice sheep revealed nine significant SNPs related to milk-related traits. The SNP identified in the gene DCPS gene were found to be affecting both milk protein and milk yield, and the SNPs identified on the genes TTC7B and SUCNR1 were affecting the protein percentage and fat percentage in Valle Del Blice sheep significantly (Sutera et al., 2019). Li et al. (2020) studied the milk production traits in crossbred dairy sheep by GWAS analysis. GWAS analysis was carried out to search for significant SNPs present in the important candidate genes affecting the milk yield, fat yield, and protein yield in crossbred dairy sheep. The analysis revealed 63 SNPs each with a probability >95% and affecting at least 1one of three important milk characters. The important candidate genes were identified on chromosomes 1, 3, 4, 5, 7, and 11 which

can serve as perfect targets for increasing the milk production traits' performance through genetic breeding programs.

### **GWAS in Goat**

The goat is the oldest domesticated livestock animal that has been providing milk, fiber, and meat (Naderi et al., 2008). The largest population of the goat is found in Africa and South-East Asia where it is providing meat as the principal product (Dhanda et al., 2003). The meat demands of the world are increasing with the increasing population and to diversify the meat requirement worldwide, goat meat has been gaining importance rapidly (Pophiwa et al., 2020). Goat genetics has gone through selection pressure with human migration which has influenced the goat genetic structure a lot. The unique biological characteristics are found in the indigenous goat found in Southwest China which is home to one-third of the indigenous goats of the world (Wei et al., 2014). Mankind tends to raise those goat breeds which can provide a better yield of meat, fleece, milk, coat color, and better reproduction rate.

Inner Mongolia Cashmere goats are known for their brilliant fleece quality, and they provide better cashmere yield than other cashmere breeds (Wang et al., 2021). Wang et al. (2021) investigated cashmere yield, fiber length, and fiber diameter of Inner Mongolia Cashmere goats by using genome-wide association studies. They found 4 significant SNPs related to fleece-related traits located in regions of genes SOX5, FGF12, EVPL, and SEMA3D. Nazari-Ghadikolaei et al. (2018) reported significant markers in RALY, ASIP, AHCY, and ITCH genes associated with brown and black coat colors on chromosome 13, and white coat color associations were found on PDGFRA and KIT genes. They analyzed individual mohair traits to find genetic associations for better volume and quality of mohair. Several markers were identified on POU1F1 genes revealed associations to mohair quality on chromosome 1, for mohair volume chromosome 2 gene MREG, DUOX1 gene for yearling fleece weight on chromosome 10, for grease percentage on chromosome 7 gene ADGRV1 were identified. Moaen-ud-Din et al. (2022) identified SNPs related to growth, body weight, and body conformation traits in the goat breeds of the Punjab Pakistan genome by GWAS. Zhang et al. (2021) performed GWAS in Inner Magnolia Cashmere goats and identified 21 SNPs related to body weight in the vicinity genes LDb2, MAPK3, and LRP1B, and these may also be related to muscle growth in Inner Magnolia Cashmere goats.

Islam et al. (2020) identified six loci related to reproduction traits in goats through genome-wide association. Further analysis of their study showed five candidate genes PPP3CA, KISS1, SETDB2, KHDRBS2, and WNT10B related fecundity rates in goats. The fecundity rate variations could be related to several biological pathways shown by gene ontology studies. Guo et al. (2021) collected whole genome sequencing data from two Chinese horned and JT breeds, 14 most significant SNPs distributions showed a correlation to horn status in goats. Their study showed that the chromosome 1 genomic regions are controlling the polled phenotypes of goats. Gu et al. (2022) found 53 SNPs related to body conformation traits, bioinformatics analysis revealed a total of 42 genes SIPA1L,

PSTPIP2, FIGN, C7orf57, FGF9, and CCL19, etc. were related to body conformation trait. Scholtens et al. (2020) found a cluster associated with SCS on chromosome 29 with single-SNP analysis and another cluster associated with PY, MY, and FY on chromosome 19. These genome-wide association studies show that this technique is largely helpful in finding out genomic regions related to economic traits in goats. Furthermore, GWAS can reveal many mutations in the genome that are controlling the outcome of many important genes in the goat genome.

### **GWAS in Chicken**

The most important trait in the chicken industry economically is growth trait and is also greatly related to retail market value and breeding value (Lonergan et al., 2018). Therefore, in industrial chicken breeding identification of genomic regions related to growth traits is a pivotal component. However, the growth traits are affected by multiple genes because they are quantitative traits, which makes it difficult to identify all the genomic regions and design breeding programs to improve the growth performance by using conventional selection techniques (Zhang et al., 2021).

Recent modifications in next-generation sequencing technologies have made it possible to identify important genomic regions which are related to quantitative traits. Genome-wide association studies are one of those advancements in sequencing technologies that have made it easier to look through the genome with ease and efficiency for identifying important economic traits (Zhang et al. 2012). GWAS has made it possible to identify QTLs related to disease resistance and body weight in chickens. Many reports have identified multiple SNPs and QTLs related to BW in the chicken genome. However, chromosomes 1 and 4 are known to be associated with significant regions for BW in chickens (Liu et al., 2013; Sheng et al., 2013; Xie et al., 2012).

Dou et al. (2022) discovered at least 113 QTNs by multiple genome-wide association techniques and showed the genes GATA4, ACTA1, GPR39, IGF2BP1, APCDD1, TAPT1, BAMBI, LDB2, INHBA, PRKCA, SLC16A7, TGFBR2, and GLI3 were related to rapid body growth in chicken. Mebratie et al. (2019) discovered 21 SNPs, and 11 QTLs significantly related to body weight while 5 SNPs and 5 QTLs were found to be related to FE traits. Habimana et al. (2021) discovered 4 SNPs (rs14123334, rs74098018, rs314702371, rs13792572) related to body weight traits on chromosomes 8, 11, and 19. Furthermore, 4 genes MRM1, PBX1, MPHOSPH6, and GPATCH1 were identified in the vicinity of the above-mentioned SNPs. Yang et al. (2021) discovered 25 INDELS and 134 SNPs strongly associated with five comb characters in chicken. The INDEL and SNP-based GWAS showed a region on chromosome 6 significantly associated with the comb trait, one lead INDEL, and 2 SNPs were detected on this chromosome. Additionally, they were able to identify 2 more candidate genes for comb development.

Gao et al., (2022) identified 37 SNPs situated in the vicinity of economically important genes like TTLL, GAL, SLIT3, TFAP2D, PSMB2, CPQ, NCALD, and SLC5A7 related to eggshell thickness, egg weight, Haugh unit weight, body weight, first oviposition, and eggshell strength. Wu et al. (2022)

performed GWAS in Yandang chicken and were able to find one SNP related to keel length. Furthermore, on chromosome number 5 CYB5R2 and FGFR2 related to cell proliferation and migration were identified by using INDEL-based GWAS.

The identification of important SNPs related to economic traits in livestock and other commercial animals can help to assist the breeding programs focused on increasing the yield of animal products. GWAS can help in identifying the significant QTLs and SNP related to commercial traits the meat production, milk production, fecundity, egg laying, live growth, milk content, meat quality, and other important economic traits of commercial animals in the world.

### **Conclusion**

The number of studies using Genome-wide association studies GWAS to analyze the livestock genome has increased in the previous years. The results and findings of these studies provide a serious positive case for the continuation of GWAS for discovering the important SNPs and QTLs related to economical traits in farm animals. Improving the genetics of livestock will not only increase the food production of the world it would also help to increase the farmer's income. GWAS provides promising results which can be employed to increase the genetic potential of farm animals. Though further validation is needed with each of these genetic markers, the current results look very promising for making a positive impact on producers' profits.

### **Conflict of Interest Declaration**

The authors of the article declares that there is no conflict of interest.

### **References**

- Araujo AC., Carneiro PL., Alvarenga AB., Oliveira HR., Miller SP., Retallick K., & Brito LF. Haplotype-based Single-step GWAS for Yearling Temperament in American Angus Cattle. *Genes* 2021; 13(1): 17.
- Atashi H., Wilmot H., Vanderick S., Hubin X., Gengler N. Genome-wide association study for milk production traits in Dual-Purpose Belgian Blue cows. *Livestock Science* 2022; 256, 104831.
- Bedhane M., van der Werf J., Gondro C., Duijvesteijn N., Lim D., Park B., Clark S. Genome-wide association study of meat quality traits in Hanwoo beef cattle using imputed whole-genome sequence data. *Frontiers in genetics* 2019; 10, 1235.
- Bejarano Garavito DH. Estudio de asociación genómica para características de crecimiento en las razas bovinas Criollas Blanco Orejinegro y Romosinuano. Departamento de Ciencias para la Producción Animal. 2016.
- Bolormaa S., Khansefid M., Stothard P., Daetwyler HD., MacLeod IM., Swan AA., Gondro C. Genome-wide association study of meat quality traits using whole-genome sequence data in a

- multi-breed sheep population. In Proceedings of the World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. 2018.
- Cao Y., Song X., Shan H., Jiang J., Xiong P., Wu J., & Jiang Y. Genome-wide association study of body weights in Hu sheep and population verification of related single-nucleotide polymorphisms. *Frontiers in Genetics* 2020; 11, 588.
- Ceballos FC., Hazelhurst S., Ramsay M. Assessing runs of Homozygosity: a comparison of SNP Array and whole genome sequence low coverage data. *BMC Genomics* 2018; 19(1): 1-12.
- Dadousis C., Pegolo S., Rosa GJ., Bittante G., Cecchinato, A. Genome-wide association and pathway-based analysis using latent variables related to milk protein composition and cheesemaking traits in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 2017; 100(11): 9085-9102.
- Dhanda JS., Taylor DG., Murray PJ., Pegg RB., Shand PJ. Goat meat production: Present status and future possibilities. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 2003; 16(12): 1842-1852.
- Dou D., Shen L., Zhou J., Cao Z., Luan P., Li Y., Zhang H. Genome-wide association studies for growth traits in broilers. *BMC Genomic Data* 2022; 23(1): 1-9.
- Fariello MI., Boitard S., Naya H., SanCristobal M., Servin B. Detecting signatures of selection through haplotype differentiation among hierarchically structured populations. *Genetics* 2013; 193(3): 929-941.
- Gao J., Xu W., Zeng T., Tian Y., Wu C., Liu S., Lu L. Genome-wide association study of egg-laying traits and egg quality in LingKun chickens. *Frontiers in Veterinary Science* 2022; 9, 877739.
- Gao N., Chen Y., Liu X., Zhao Y., Zhu L., Liu A., Chen Y. Weighted single-step GWAS identified candidate genes associated with semen traits in a Duroc boar population. *BMC genomics* 2019; 20(1): 1-10.
- Garcia-Gamez E., Gutierrez-Gil B., Sahana G., Sánchez JP., Bayón Y., Arranz JJ. GWAS analysis for milk production traits in dairy sheep and genetic support for a QTN influencing milk protein percentage in the LALBA gene. 2012.
- Gershoni M., Weller JL., Ezra E. Genetic and genome-wide association analysis of yearling weight gain in Israel Holstein dairy calves. *Genes* 2021; 12(5): 708.
- Ghasemi M., Zamani P., Vatankhah M., Abdoli R. Genome-wide association study of birth weight in sheep. *Animal* 2019; 13(9): 1797-1803.
- Gu B., Sun R., Fang X., Zhang J., Zhao Z., Huang D., Zhao Y. Genome-wide association study of body conformation traits by whole genome sequencing in Dazu Black Goats. *Animals* 2022; 12(5): 548.
- Guan D., Landi V., Luigi-Sierra M. G., Delgado J. V., Such X., Castelló A., Amills M. Analyzing the genomic and transcriptomic architecture of milk traits in Murciano-Granadina goats. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 2020; 11(1): 1-19.



- Guo J., Jiang R., Mao A., Liu G. E., Zhan S., Li L., Zhang H. Genome-wide association study reveals 14 new SNPs and confirms two structural variants highly associated with the horned/polled phenotype in goats. *BMC Genomics* 2021; 22(1): 1-10.
- Habimana R., Ngeno K., Okeno T. O., Hirwa C., Keambou Tiambo C., Yao NK. Genome-wide association study of growth performance and immune response to Newcastle disease virus of indigenous chicken in Rwanda. *Frontiers in Genetics* 2021; 1438.
- Hirschhorn JN., Daly MJ. Genome-wide association studies for common diseases and complex traits. *Nature Reviews Genetics* 2005; 6(2): 95-108.
- Islam R., Liu X., Gebreselassie G., Abied A., Ma Q., Ma Y. Genome-wide association analysis reveals the genetic locus for high reproduction trait in Chinese Arbas Cashmere goat. *Genes & Genomics* 2020; 42(8): 893-899.
- Jahuey F. Análisis del genoma completo de caracteres de crecimiento en ganado Charolais de registro: Instituto Politécnico Nacional. 2014.
- Kizilaslan M., Arzik Y., White SN., Piel LM., Cinar MU. Genetic parameters and genomic regions underlying growth and linear type traits in Akkaraman Sheep. *Genes* 2022; 13(8): 1414.
- Korte A., Farlow A. The advantages and limitations of trait analysis with GWAS: A review. *Plant Methods* 2013; 9(1): 1-9.
- Krivoruchko A., Yatsyk O., Kanibolockaya A. New candidate genes of high productivity in North-Caucasian sheep using genome-wide association study (GWAS). *Animal Gene* 2022; 23, 200119.
- Krivoruchko A., Yatsyk O., Kanibolockaya A., Kulintsev V. Genome-wide association study (GWAS) of high productivity classes in the Karachaevsky sheep breed. *Journal of Central European Agriculture* 2021; 22(4): 669-677.
- Lee S., Abecasis GR., Boehnke M., Lin X. Rare-variant association analysis: study designs and statistical tests. *The American Journal of Human Genetics* 2014; 95(1): 5-23.
- Li B., Fang L., Null DJ., Hutchison JL., Connor EE., VanRaden PM., ... & Cole JB. High-density genome-wide association study for residual feed intake in Holstein dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 2019; 102(12): 11067-11080.
- Li H., Wu XL., Tait Jr, RG., Bauck S., Thomas DL., Murphy TW., & Rosa GJM. Genome-wide association study of milk production traits in a crossbred dairy sheep population using three statistical models. *Animal Genetics* 2020; 51(4): 624-628.
- Li Q., Liang R., Li Y., Gao Y., Li Q., Sun D., Li J. Identification of candidate genes for milk production traits by RNA sequencing on bovine liver at different lactation stages. *BMC Genetics* 2020; 21(1): 1-12.
- Liu R., Sun Y., Zhao G., Wang F., Wu D., Zheng M., ... Wen J. Genome-wide association study identifies loci and candidate genes for body composition and meat quality traits in Beijing-You chickens. *PLoS One* 2013; 8(4): e61172.

- Liu Z., Yang N., Yan Y., Li G., Liu A., Wu G., Sun C. Genome-wide association analysis of egg production performance in chickens across the whole laying period. *BMC Genetics* 2019; 20(1): 1-9.
- Lonergan SM., Topel DG., Marple DN. The science of animal growth and meat technology. Academic Press. 2018.
- Mancin E., Tuliozi B., Pegolo S., Sartori C., Mantovani R. Genome wide association study of beef traits in local alpine breed reveals the diversity of the pathways involved and the role of time stratification. *Frontiers in Genetics* 2021; 12, 746665-746665.
- Marina H., Pelayo R., Suárez-Vega A., Gutiérrez-Gil B., Esteban-Blanco C., Arranz JJ. Genome-wide association studies (GWAS) and post-GWAS analyses for technological traits in Assaf and Churra dairy breeds. *Journal of Dairy Science* 2021; 104(11): 11850-11866.
- Maxa J., Neuditschko M., Russ I., Förster M., Medugorac I. Genome-wide association mapping of milk production traits in Braunvieh cattle. *Journal of Dairy Science* 2012; 95(9): 5357-5364.
- Mebratie W., Reyer H., Wimmers K., Bovenhuis H., Jensen J. Genome wide association study of body weight and feed efficiency traits in a commercial broiler chicken population, a re-visitation. *Scientific Reports* 2019; 9(1): 1-10.
- Moaeen-ud-Din M., Danish Muner R., Khan MS. Genome wide association study identifies novel candidate genes for growth and body conformation traits in goats. *Scientific Reports* 2022; 12(1): 1-12.
- Mohammadi H., Farahani AHK., Moradi MH., Mastrangelo S., Di Gerlando R., Sardina MT., ... & Tolone M. Weighted Single-step genome-wide association study uncovers known and novel candidate genomic regions for milk production traits and somatic cell score in Valle del Belice Dairy Sheep. *Animals* 2022; 12(9): 1155.
- Mucha S., Mrode R., Coffey M., Kizilaslan M., Desire S., Conington J. Genome-wide association study of conformation and milk yield in mixed-breed dairy goats. *Journal of Dairy Science* 2018; 101(3): 2213-2225.
- Naderi S., Rezaei HR., Pompanon F., Blum M. G., Negrini R., Naghash H. R., ... Taberlet P. The goat domestication process inferred from large-scale mitochondrial DNA analysis of wild and domestic individuals. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2008; 105(46): 17659-17664.
- Nazari-Ghadikolaie A., Mehrabani-Yegane H., Miarei-Aashtiani SR., Staiger EA., Rashidi A., Huson HJ. Genome-wide association studies identify candidate genes for coat color and mohair traits in the Iranian Markhoz goat. *Frontiers in Genetics* 2018; 9, 105.
- Niño CAM., Perdomo CM., Elzo MA. Cattle genetic evaluation: a historical perception. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 2012; 25(2): 293-311.
- Otto PI., Guimarães SE., Calus MP., Vandenplas J., Machado MA., Panetto JCC., da Silva MVG. Single-step genome-wide association studies (GWAS) and post-GWAS analyses to identify

- genomic regions and candidate genes for milk yield in Brazilian Girolando cattle. *Journal of Dairy Science* 2020; 103(11): 10347-10360.
- Pegolo S., Cecchinato A., Savoia S., Di Stasio L., Pauciullo A., Brugiapaglia A., ... Albera A. Genome-wide association and pathway analysis of carcass and meat quality traits in Piemontese young bulls. *Animal* 2020; 14(2): 243-252.
- Pophiwa P., Webb EC., Frylinck L. A review of factors affecting goat meat quality and mitigating strategies. *Small Ruminant Research* 2020; 183, 106035.
- Sanchez MP., Ramayo-Caldas Y., Wolf V., Laithier C., El Jabri M., Michenet A., ... Boichard D. Sequence-based GWAS, network and pathway analyses reveal genes co-associated with milk cheese-making properties and milk composition in Montbéliarde cows. *Genetics Selection Evolution* 2019; 51(1): 1-19.
- Saowaphak P., Duangjinda M., Plaengkaeo S., Suwannasing R., Boonkum W. Genetic correlation and genome-wide association study (GWAS) of the length of productive life, days open, and 305-days milk yield in crossbred Holstein dairy cattle. *Genetics and Molecular Research* 2017; 16(2).
- Scholtens M., Jiang A., Smith A., Littlejohn M., Lehnert K., Snell R., ... Blair H. Genome-wide association studies of lactation yields of milk, fat, protein and somatic cell score in New Zealand dairy goats. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 2020; 11(1): 1-14.
- Sheng Z., Pettersson ME., Hu X., Luo C., Qu H., Shu D., ... Li N. Genetic dissection of growth traits in a Chinese indigenous× commercial broiler chicken cross. *BMC Genomics* 2013; 14(1): 1-12.
- Sutera AM., Riggio V., Mastrangelo S., Di Gerlando R., Sardina MT., Pong-Wong R., ... Portolano B. Genome-wide association studies for milk production traits in Valle del Belice sheep using repeated measures. *Animal Genetics* 2019; 50(3): 311-314.
- Wang FH., Zhang L., Gong G., Yan XC., Zhang LT., Zhang FT., ... Li JQ. Genome-wide association study of fleece traits in Inner Mongolia Cashmere goats. *Animal Genetics* 2021; 52(3): 375-379.
- Wang W., Zhang T., Wang J., Zhang G., Wang Y., Zhang Y., ... Zheng H. Genome-wide association study of 8 carcass traits in Jinghai Yellow chickens using specific-locus amplified fragment sequencing technology. *Poultry Science* 2016; 95(3): 500-506.
- Wei CH., Liu CS. *Encyclopedia of Modern Sheep Production Technology*. 2014.
- Wei C., Lu J., Xu L., Liu G., Wang Z., Zhao F., ... Liu C. Genetic structure of Chinese indigenous goats and the special geographical structure in the Southwest China as a geographic barrier driving the fragmentation of a large population. *PLoS One* 2014; 9(4): e94435.
- Wu C., Dong L., Gan X., Gan F., Xu W., Lu L. Genome-wide association studies and haplotype sharing analysis targeting the growth traits in Yandang partridge chickens. *Animal Biotechnology* 2022; 1-7.

- Xie L., Luo C., Zhang C., Zhang R., Tang J., Nie Q., ... Zhang X. Genome-wide association study identified a narrow chromosome 1 region associated with chicken growth traits. *PloS one* 2012; 7(2): e30910.
- Yang Z., Zou L., Sun T., Xu W., Zeng L., Jia Y., ... Yang X. Genome-wide association study using whole-genome sequencing identifies a genomic region on chromosome 6 associated with comb traits in nandan-yao chicken. *Frontiers in Genetics* 2021; 12.
- Yurchenko A., Yudin N., Aitnazarov R., Plyusnina A., Brukhin V., Soloshenko V., ... Larkin DM. Genome-wide genotyping uncovers genetic profiles and history of the Russian cattle breeds. *Heredity* 2018; 120(2): 125-137.
- Zhang H., Liu A., Wang Y., Luo H., Yan X., Guo X., ... Su G. Genetic parameters and genome-wide association studies of eight longevity traits representing either full or partial lifespan in Chinese Holsteins. *Frontiers in Genetics* 2021; 12, 634986.
- Zhang H., Wang Z., Wang S., Li H. Progress of genome wide association study in domestic animals. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 2012; 3(1): 1-10.
- Zhang L., Liu J., Zhao F., Ren H., Xu L., Lu J., Du L. Genome-wide association studies for growth and meat production traits in sheep. *PloS one* 2013; 8(6): e66569.
- Zhang L., Wang F., Gao G., Yan X., Liu H., Liu Z., ... Su R. Genome-wide association study of body weight traits in inner Mongolia Cashmere Goats. *Frontiers in Veterinary Science* 2021; 1246.
- Zhang Y., Wang Y., Li Y., Wu J., Wang X., Bian C, Kang, X.. Genome-wide association study reveals the genetic determinism of growth traits in a Gushi-Anka F<sub>2</sub> chicken population. *Heredity* 2021; 126(2): 293-307.

## Bitkilerdeki Antosiyaninlerin Etkinliği, Stabilitesi ve *In Vitro* Üretimi

Elif ONAN<sup>1\*</sup>, Hatice ÇÖLGEÇEN<sup>2</sup>, Havva KARAHAN<sup>3</sup>, Cengiz TEMİZ<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Zonguldak

<sup>4</sup>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Alaplı Meslek Yüksek Okulu, Zonguldak

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-1413-2234>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-8246-4279>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0003-0518-6265>

<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-9265-7485>

\*Sorumlu yazar: elifonan@hotmail.com

### Derleme

#### Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 12.08.2023

Kabul tarihi: 07.01.2024

Online Yayınlanma: 25.06.2024

#### Anahtar Kelimeler:

Bitki biyoteknolojisi

Pigment üretimi

Sekonder metabolit

### ÖZ

Bitki sekonder metabolitlerinin büyük bir grubunu oluşturan antosiyaninler, fenolik bileşikler sınıfının flavonoid grubuna ait pigmentlerdir. Antosiyaninler, angiosperm grubu meyve, sebze ve çiçeklere; somon rengi dahil olmak üzere pembeden kırmızıya ve menekşeden koyu maviye kadar değişen birçok rengi veren bileşiklerdir ve bitkilerde; oksinleri taşıma, abiyotik ve biyotik streslere karşı kendini koruma, mikroorganizmalar için sinyalizasyon sağlama, patojenlerden korunma, tozlaşmayı sağlama gibi görevler üstlenmişlerdir. Sentetik renklendirici maddelere ve raf ömrünü artıran katkı maddelerine alternatif doğal bileşikler olan antosiyaninler, uzun yıllardır geleneksel ekstraksiyon yöntemleri kullanılarak elde edilmektedir. Bununla birlikte mevsime bağlı üretim dalgalanması olması, sürekliliğin sağlanmasının güç olması, üretimi için çok fazla bitkisel materyale gereksinim duyulması, elde edilen ürünün saflık derecesinin ve kalitesinin düşük olması antosiyaninlerin elde edilebilmesi açısından sınırlayıcı olmaktadır. Bu nedenle, antosiyaninlerin üretimi için laboratuvar koşullarında aynı özellikte, yüksek saflıkta, her daim üretilebilen ve başlangıç materyalinin az miktarda kullanıldığı biyoteknolojik yöntemler daha avantajlı olarak kabul edilmektedir. Biyoteknolojik metot olarak sıklıkla *in vitro* hücre, doku ve kallus kültürü yöntemleri ile antosiyaninlerin üretimi gerçekleştirilebilir. Bu derlemede antosiyaninlerin bitkilerdeki başlıca görevleri, *in vitro* üretimi ve stabilitesi incelenecektir.

## The Activity, Stability and *In Vitro* Production of Anthocyanins in Plants

### Reviews

#### Article History:

Received: 12.08.2023

Accepted: 07.01.2024

Published online: 25.06.2024

#### Keywords:

Plant biotechnology

Pigment production

Secondary metabolite

### ABSTRACT

Anthocyanins, which form a large group of plant secondary metabolites, are pigments belonging to the flavonoid group of the phenolic compounds class. Anthocyanins in angiosperm group fruits, vegetables and flowers have many colors ranging from pink to red, violet to deep blue and salmon. Anthocyanins have tasks such as transporting auxins in plants, improving biotic and abiotic stresses, being a signal for microorganisms, protection against pathogens, and providing pollination. Anthocyanins, which are natural alternatives to artificial colorants and additives that extend

shelf life, have been obtained using traditional extraction methods for a long time. However, there are limiting factors: there is a seasonal production fluctuation, it is difficult to ensure continuity, the need for a lot of plant material for its production, and the low quality and purity of the obtained product. Therefore, biotechnological methods are used for the production of anthocyanins because of their advantageous: high purity, the same properties, always produced under laboratory conditions and using a small amount of starting material. Anthocyanins can be produced by using *in vitro* cell, tissue and callus culture methods. In this review, the activity, stability and *in vitro* production of anthocyanins in plants will be examined.

**To Cite:** Onan E., Çölgeçen H., Karahan H., Temiz C. Bitkilerdeki Antosiyaninlerin Etkinliği, Stabilitesi ve *In Vitro* Üretimi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(3): 1413-1437.

## 1. Giriş

Antosiyaninler; bitkilerde bulunan en önemli pigment gruplarından biri olarak kabul edilmektedir (Kong ve ark., 2003). Bitkilerin yaprak, gövde, kök, tohum, çiçek ve meyve kısımlarının birbirinden farklı çok geniş bir renk yelpazesinde renk almasını sağlayan, suda çözünen önemli bir flavonoid pigment türüdür (Zhao ve ark., 2020). Antosiyaninler çoğunlukla endoplazmik retikulum içerisinde, flavonoid yolağı boyunca biyosentezlenir ve vakuollerde biriktirilir (Kaur ve ark., 2021). Ortamın asiditesi, ışık, sıcaklık, metal iyonları, oksijen, molekül içi veya moleküller arası ilişki ve diğer bazı bileşikler (kopigmentler, proteinler, şekerler, bozunma ürünleri gibi) çoğunlukla antosiyaninlerin rengini ve stabilitesini etkileyen başlıca faktörlerdir (Andersen ve Jordheim, 2008).

Antosiyaninler, bitkiler için önemli olmanın yanı sıra insan sağlığı, gıda sektörü, endüstri, enerji sektöründe de önemli bir yere sahiptir. Antioksidan özelliğinde olup DNA, protein gibi moleküllerin oksidasyonunu önlemektedir (Xu ve ark., 2017; Xie ve ark., 2021). Bununla birlikte, kronik hastalık riskini azaltmakta ve iltihabı hafifletmektedir (Jennings ve ark., 2014; Cassidy ve ark., 2015; Mohtashami ve ark., 2019; Liu ve ark., 2021). DNA molekülünde oluşan hasarları onardığı, tümör özellikte hücrelerin apoptozunu artırdığı, lipoprofilleri normal hale getirdiği, trombosit reaktivitesini azalttığı, vasküler endotelial fonksiyonunu ve nörotoksisitenin iyileştirilmesine katkı sağladığı görülmüştür (Russo ve ark., 2005; Skupień ve ark., 2006; Soltani ve ark., 2014; Skrovankova ve ark., 2015; Satoh ve Ishihara, 2020). Antosiyaninler; boyar madde (saç boyası, kozmetik ürünleri, kumaş boyası vb.) olarak endüstride, alternatif enerji kaynağı olan boya duyarlı güneş pillerinde hassaslaştırıcı olarak kullanımıyla enerji sektöründe, gıda takviyesi, hastalık önleyici ve tedavi edici olarak tıp alanında, rengi artırma, raf ömrünü uzatma amaçlı olarak gıda sektöründe kullanılmaktadır (Onan ve Çölgeçen, 2023). Gıdalarda rengi ve bununla beraber radikallere karşı etkileri sayesinde gıdaların oksidatif stabilitelelerini de artırmaktadır (Espin ve ark., 2000).

Kontrollü laboratuvar koşullarında, istenen zamanda, standart özellikte ve saflık oranı yüksek olan, az miktarda hammadde kullanılarak fazla miktarda antosiyanin üretilen biyoteknolojik yöntemlerin kullanılması pek çok sektörde antosiyanin kullanımını kolaylaştıracaktır.

### 1.1. Bitkilerde Antosiyaninlerin Başlıca Etkinlikleri

Antosiyaninler, bitkinin büyüme ve gelişmesini sağlamaktadır. Çiçek, meyve ve tohum gibi yapılara verdiği renkler, birçok hayvanı ve tozlayıcıyı kendine çekmektedir (Vermerris ve Nicholson, 2006; Buer ve ark., 2010; Shang ve ark., 2011; Zhang ve ark., 2014). *Arabidopsis* L. polenleri ile yapılan çalışmalarda flavonoidlerin polen çimlenmesini artırıcı özellikte oldukları bildirilmiştir (Taylor ve Grotewold, 2005).

Enfeksiyonlar, düşen hava sıcaklığı, şiddetli ışık, bitki hücrelerinde oluşan oksidatif hasarlar gibi biyotik ve abiyotik stres koşulları, antosiyanin üretimini uyarmaktadır (Tohge ve Fernie, 2017). Bu durum, antosiyaninlerin bu sorunları önleme veya sorunla baş etmede etkili olduğunu düşündürmektedir. Antosiyaninler, patojenik organizmaların, böceklerin sayısını azaltabilmektedir. Domates, patlıcan, biber gibi sebzelere zarar veren bir böcek türü olan *Helicoverpa armigera* L. larvaları antosiyanince zengin tütün yapraklarını tercih etmemiş, tükettiklerinde ise larvaların ölüm oranı önemli ölçüde artmıştır (Malone ve ark., 2009). Biyoteknolojik çalışmalarla antosiyanin bakımından zenginleştirilmiş domates meyvelerinin gri küf duyarlılığı azaldığı görülmüştür (Zhang ve ark., 2013). Başka bir çalışmada antosiyanin üretimi artırılmış transgenik domates bitkileri elde edilmiş ve bu bitkilerin ısı stresine karşı hoşgörüsünün arttığı bildirilmiştir (Meng ve ark., 2015).

Mezofil hücrelerine ait vakuollerde bulunan antosiyaninlerin, hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) ve süperoksit anyonu ( $O_2^-$ ) miktarını azalttığı görülmüştür (Kytridis ve Manetas, 2006). Antosiyaninler, UV radyasyonu ile bitkilerde oluşabilecek hasarlara karşı da korumaktadır (Braidot ve ark., 2008; Gomez ve ark., 2011). Mor biberin antosiyanin açısından zengin yapraklarında antosiyanin olmayan dokulara kıyasla daha yüksek bir foto-oksidasyon tolerans gözlenmiştir (Ou ve ark., 2013).

### 1.2. Antosiyanince Zengin Önemli Bitki Türleri ve Besin Kaynakları

Antosiyaninler, yüksek düzeyde antioksidan aktivitesi ile bilinen şifalı otlar ve baharatlarda, birçok meyve ve sebzede bulunmaktadır (Wang ve Stoner, 2008). *Vaccinium* L. türlerinde (kızılcık, yaban mersini), çilek, kiraz ve üzümde (Muscadines, Concord çeşidi) *Rubus* L. meyvelerinde (kırmızı ve siyah ahududu, böğürtlen) bolca antosiyanin bulunur (Wu ve ark., 2006; de Pascual-Teresa ve Sanchez-Ballesta, 2008). Diğer besin kaynakları arasında kırmızı şarap ve kırmızı lahana, mor renkli pancar, patates ve turp gibi bazı yapraklı ve köklü sebzelerde de bulunduğu bildirilmiştir (Zand ve ark., 2002). Bununla birlikte, antosiyaninler aynı türden bitkiler ve bu bitkilerden elde edilen meyve suları vb. ürünler arasında farklı içerik gösterir. Büyüdükleri ortamlardaki farklılıkların yanı sıra, genetik faktörler, hazırlanmaları ve ekstraksiyon işlemi süreçlerindeki yöntemsel farklılıklar, antosiyaninlerin miktar ve özelliklerinde değişkenliğine neden olur (de Pascual-Teresa ve Sanchez-Ballesta, 2008). Bu bölümde antosiyanince zengin bazı bitki türlerinin ve bitkilerden elde edilen saf meyve sularının içerdiği antosiyanin miktarları Tablo 1’de verilmiştir (Tablo 1).

**Tablo 1.** Bazı bitki türleri ve bitkilerden elde edilen meyve sularında yaklaşık antosiyanin miktarı

Besin ögesi	Antosiyanin miktarı	Kaynaklar
Bleuberry/Yaban mersini ( <i>Vaccinium myrtillus</i> L.)	3-10,15 mg/g	Prior ve ark., 1998; Kähkönen ve ark., 2001, 2003; Franke ve ark., 2004
Black Rasperry/Kara ahududu ( <i>Rubus occidentalis</i> L.)	3,25 mg/g	Wu ve ark., 2006
Cherry/ Kiraz ( <i>Cerasus avium</i> L. <i>Moench</i> )	1,17 mg/g	Harnly ve ark., 2006
Cranberry/ Yaban mersini ( <i>Vaccinium oxycoccus</i> L.)	0,2-3,6 mg/g	Kähkönen ve ark., 2001; Prior ve ark., 2001; Wu ve ark., 2006; Harnly ve ark., 2006
Blackberry/ Böğürtlen ( <i>Rubus ideaeus</i> L.)	0,2-2,2 mg/g	Kähkönen ve ark., 2001; Wu ve ark., 2006
Strawberry/ Çilek ( <i>Fragaria vesca</i> L.)	0,1-0,8 mg/g	Franke ve ark., 2004; Wu ve ark., 2006
Red Grape/ Kırmızı üzüm ( <i>Vitis vinifera</i> L.)	0,45 mg/g	Franke ve ark., 2004; Wu ve ark., 2006
Rice berry/ Kahverengi pirinç ( <i>Oryza sativa</i> L.)	0,37 mg/g DW	Jiamyangyuen ve ark., 2017
Red onion/ Kırmızı soğan ( <i>Allium cepa</i> L.)	0,09-0,2 mg/g	Jackman ve ark., 1996
Red wine/ Kırmızı şarap	100-1000 mg/L	Glories ve ark., 1988
Black currant/ Siyah frenk üzümü ( <i>Ribes nigrum</i> L.)	0,8-8,1 mg/g	Jackman ve ark., 1996; Kähkönen ve ark., 2001, 2003
Stawberry juice /Çilek suyu <i>Chockeberry/ Aronya suyu</i>	21-333 mg/L 3042 mg/L	Timberlake ve ark., 1988 Jakobek ve ark., 2007
<i>Elderberry/ Mürver suyu</i>	4188 mg/L	Jakobek ve ark., 2007
Sweet cerry/Tatlı kiraz suyu ( <i>Cerasus avium</i> L.)	256 mg/L	Jakobek ve ark., 2007
Kırmızı yapraklı hanım tuzluğu/Japon kızamık ( <i>Berberis thunbergii</i> L.)	11,73 mg/g	Schaefer ve ark., 2007
Şans/Kısmet ağacı ( <i>Clerodendrum trichotomum</i> L.)	6 mg/g	Schaefer ve ark., 2007
Kızılcık ( <i>Cornus mas</i> L.)	4 mg/g	Schaefer ve ark., 2007
Dağ muşmulası ( <i>Cotoneaster melanocarpa</i> L.)	28 mg/g	Schaefer ve ark., 2007
Kara dut ( <i>Morus nigra</i> L.)	37 mg/g	Schaefer ve ark., 2007
İncir ( <i>Ficus carica</i> L.)	0,025 mg/g FW	Wallace ve Guisti, 2013
Mısır ( <i>Zea mays</i> L.)	17,34 mg/g FW	Wallace ve Guisti, 2013
Tatlı patates ( <i>Ipomoea batatas</i> L.)	14,07 mg/g FW	Wallace ve Guisti, 2013
Red potatoes/Kırmızı patates ( <i>Solanum tuberosum</i> L.)	5,5 mg/g FW	Wallace ve Guisti, 2013
Purple potatoes ( <i>Solanum tuberosum</i> <i>var. violetta</i> L.)	13,83 mg/g FW	Wallace ve Guisti, 2013
Purple carrots /Mor havuç ( <i>Daucus carota</i> L.)	0,04-17,99 mg/g DW	Wallace ve Guisti, 2013
Erik ( <i>Prunus domestica</i> L.)	0,05-4,49 mg/g DW	Wallace ve Guisti, 2013
Elma ( <i>Malus sylvestris</i> L.)	0,01-1,17 mg/g FW	Wallace ve Guisti, 2013
Apricot/Kayısı ( <i>Prunus armeniaca</i> L.)	0,025 mg/g	Rababah ve ark., 2011
Blood orange/Kan portakalı ( <i>Citrus × sinensis</i> )	0,028 mg/g	Rababah ve ark., 2011



Black currant, Siyah frenk üzümü ( <i>Ribes nigrum</i> L.) 100% meyve suyu	176-1298 mg/L	Weidel ve ark., 2011
Bilberry juice /Yaban mersini ( <i>Vaccinium myrtillus</i> ) 100% meyve suyu	1610-5963 mg/L	Müller ve ark., 2012
Bleuberry ( <i>Vaccinium corymbosum</i> ) 100% meyve suyu	417 mg/L	Müller ve ark., 2012
Crowberry ( <i>Empetrum nigrum</i> L.)	3-5,6 mg/g	Kähkönen ve ark., 2001

\* (FW = taze ağırlık, DW = kuru ağırlık).

### 1.3. Antosiyaninlerin Stabilitesini Etkileyen Faktörler

Antosiyaninler geniş renk yelpazesi ve sağlığa sayısız yararları nedeniyle gıda sektöründe yaygın olarak kullanılan doğal pigmentlerdir. Ancak, antosiyaninlerin kararsız yapıda oluşu, gıdaların işlenmesi sırasında veya sonrasında kolay bozunmalarına, renk kayıplarına ve biyoaktivitelerinin azalmasına yol açmaktadır. Kararlı yapılar oluşturarak antosiyanin stabilitesini artırmak, kullanılmasını da kolaylaştıracaktır. Antosiyaninlerin *in vitro* üretimini sağlamak için yapılarının, biyosentez yolağının ve stabilitesini etkileyen faktörlerin iyi bilinmesi gerekir.

Derlememiz iki bölümden oluşmaktadır. Derlememizin ilk bölümü olan “Antosiyaninlerin Yapısı, Hücrede Biyosentezi, Etkinlikleri ve Kullanım Alanları” başlıklı makalede antosiyaninlerin yapısı ve hücrede biyosentezi ve sağlığa etkileri konusu detaylı olarak verilmiştir (Onan ve Çölgeçen, 2023). Derlememizin bu bölümünde ise *in vitro* üretimi sırasında antosiyaninlerin stabilitesini etkileyen temel bazı faktörlere değinilmiştir. Bu faktörlerin bilinmesi nitelik ve nicelik bakımından istenen özelliklere sahip antosiyanin eldesi için önemlidir.

#### 1.3.1. Işık

Antosiyanin biyosentezi üzerinde elzem olan ışık faktörü, aynı zamanda degradasyonu da tetiklemektedir (Bechtold ve Mussak, 2009). Karanlıkta depolandıklarında renklerini koruyabilme özelliğine sahip antosiyaninlerin, ışıktaki depolandıkları takdirde 1 gün içerisinde renklerinde farklılıklar meydana geldiği görülmüştür (Rein, 2005). Bitki çeşitlerinin ışığa tepkileri farklıdır. Daha açık kırmızı çeşitler genellikle koyu kırmızı, mor ve siyah meyvelere kıyasla daha duyarlıdır (Kliewer, 1970; Steyn ve ark., 2004). Elma, armut, şeftali, nektarin ve kayısı gibi bazı ılıman *Rosa* L. meyvelerinin, kabukta antosiyanin sentezi için mutlak bir ışık gereksinimi olduğu, bununla birlikte, çilek, böğürtlen, üzüm, kiraz ve erik gibi diğer meyvelerin ışık yokluğunda daha az da olsa renk geliştirebildikleri kabul edilir (Allen, 1932). İncirleri olgunlaştırmak için mutlak bir ışık gereksinimi de belgelenmiştir (Puech ve ark., 1976). Kızılıcıktaki antosiyanin seviyelerinin ışığa maruz kalma ile doğru orantılı olarak arttığı bildirilmiştir (Zhou ve Singh, 2002).

#### 1.3.2. Sıcaklık

Sıcaklık antosiyanin sentezini ışıktan sonra, etkileyen en önemli çevresel faktördür. Antosiyanin sentezi için hasattan önce ve/veya hasat sırasında düşük sıcaklıklarda depolama genellikle daha doğrudur (elma,

armut, üzüm, böğürtlen ve kızılıcıkta) (Kliwer, 1970; Naumann ve Wittenburg, 1980; Curry, 1997; Steyn ve ark., 2004). Sıcaklık, antosiyaninlerin degradasyonuna neden olan başlıca faktördür (Patras ve ark., 2010). Aritmetik sıcaklık artışları logaritmik antosiyanin kaybına neden olmaktadır (Dyrby ve ark., 2001; Rhim, 2002; Kırca ve Cemeroglu, 2003; Kırca ve ark., 2007; Castañeda -Ovando ve ark., 2009). Termal stres peroksidaz enzim aktivitesini ve hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) miktarını yüksek düzeyde artırır, bu da antosiyaninin parçalanmasına neden olur (Takahama, 2004). Dondurma veya dondurarak depolamada antosiyanin kaybı olduğu görülmüştür. Bing kirazlarında (*Prunus avium* L.) taze meyvelerde toplam antosiyanin içeriğinin bozunma yüzdesi %12 iken, meyvelerin -23°C’de üç aylık depolanması sonunda toplam antosiyanin içeriğinde %66, altı ay sonunda ise %87; -70°C’de depolandığında üç ay sonunda %90, altı ay sonra %88 bozunma olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin özellikle polifenol oksidaz gibi enzimlerin aktivitesinin artması olduğu düşünülmektedir (Chaovanalikit ve Wrolstad, 2004).

### **1.3.3. Oksijen**

Antosiyaninler oksijenle oksitlenebilme özelliğindedir. Bununla birlikte, ortamdaki çeşitli maddeler de oksitleniyor ve bunun sonucunda antosiyaninler bu maddelerle reaksiyon oluşturarak renksiz ve kahverengi bileşikler oluşturuyor olabilir (Rein, 2005). Oksijen, askorbik asidin otooksidasyonuna ve bunun sonucu olarak hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> tarafından antosiyaninlerde halka açılmasına, renksiz esterlerin ve kumarin türevleri üretilmesine neden olabilmektedir (Özkan, 2002).

### **1.3.4. Enzim**

Polifenol oksidaz (PPO) ve peroksidazlar antosiyaninlerin yıkımına neden olan başlıca enzimlerdir (Kader ve ark., 1997). Bu bozulma peroksidaz nedeniyle gerçekleşen doğrudan bir oksidasyon şeklinde olabileceği gibi, aşamalı da olabilmektedir. Buna göre β-glukosidaz enzimi etkisiyle önce bir deglikosilasyon yaşanmakta, devamında da PPO veya peroksidaz etkisiyle oksidasyon ile bozulma meydana gelmektedir (Barbagallo ve ark., 2007; Oren-Shamir, 2009).

### **1.3.5. Metaller**

Antosiyaninler alüminyum, bakır, kalay ve demirle metal kompleksi oluşturarak stabilitelerini yükseltebilirler (Markakis, 1974). Petunidinin, delfinidin ve siyanidin B halkası yapısında bulunan orto-dihidroksil düzenlenmesi özelliği, antosiyanidin metal-antosiyanin kompleksi ve glikozitleri oluşturmasını sağlarken, pelargonidin, peonidin ve malvidin bu yapıya sahip olmadıklarından metallerle kompleks oluşturamamaktadır (Boulton, 2001).

### 1.3.6. Kopigmentler

Kopigmentler antosiyaninlerle kompleks oluşturur, böylece daha yoğun ve stabil bileşikler elde edilebilir. Bu maddeler tek başına genelde renksizken, antosiyanin içeren çözeltilere girdiklerinde renk yoğunluğunu artırabilmektedirler (Kırca, 2004). Kopigment olma özelliği birçok bileşikte olmakla beraber, flavonoidler, organik asitler, aminoasitler, polifenoller ve alkaloidler en yaygın kopigmentlerdir (Marković ve ark., 2000; Cortez ve ark., 2017). Uygun tipte kopigment seçimi etkili kopigmentasyonu etkileyen kritik bir faktördür. Kopigmentasyon etkileri gösterdiği bildirilen biyopolimerler arasında peynir altı suyu proteini, pektin, arap zıncığı, dekstran sülfat ve guar sakızı (Jeong ve ark., 2012, 2016; de Almeida Paula ve ark., 2018; Selig ve ark., 2018; Qin ve ark., 2018; Fernandes ve ark., 2020) bulunmaktadır.  $Fe^{+2}$ ,  $Fe^{+3}$ ,  $Mg^{+2}$  ve  $Al^{+3}$  gibi metal iyonları, esas olarak antosiyaninlerin glikozitlerindeki katekol halkasını bağlayarak, antosiyaninin asidik ve alkali ortamlarda batokromik ve hiperkromik kaymasını artırmaktadır (Sigurdson ve ark., 2016). Termal bozunma, kopigmente edilmiş komplekslerin çoğunun stabilitesi için başka bir anahtar faktördür.

Yüksek sıcaklıklarda, kopigmentasyonun etkisi önemsiz olabilir veya hatta olumsuz bir sonuçla sonuçlanabilir. Örneğin, ferulik asit ile fenolik asitlerin 50-70°C'de istenen kopigmentasyonu sağladığı, 90°C'de ise bozulmanın hızlandığı görülmüştür (Fan ve ark., 2019). Sinapik asit ile kopigmentasyonda, 88°C'de 2 dakika ısı işlem gören çilek püresinde %60,6-68,7 antosiyanin kaybı meydana gelmiştir (Terefe ve ark., 2019). Başka bir çalışmada, gallik, ferulik ve kafeik asitlerin eklenmesi renk yoğunlaşmasını göstermekte ancak antosiyaninleri 95°C'de olumsuz şekilde kararsız hale getirmektedir (Qian ve ark., 2017).

Genel olarak, kopigmente antosiyaninlerin renk ve kimyasal stabilitesi, gıda işlemede de yer alan bir dizi farklı süreç ve çevre parametresinden önemli ölçüde etkilenir. Bu nedenle, kopigmente edilmiş kompleksler, gıda ürünleri ve ilgili işleme koşulları ile uyumlu olacak şekilde daha dikkatli tasarlanmalıdır. pH ve ısı işlem, gıda endüstrisinde kopigmentasyona ciddi sınırlamalar getirir. Kapsülleme, biyoaktif bileşiklerin fizikokimyasal özelliklerini koruyabilir ve sağlığı geliştirici özelliklerle bağlantılı kontrollü salımı sağlayabilir. Son zamanlarda, antosiyaninlerin nano/mikroenkapsülasyonu üzerine iki kapsamlı inceleme yapılmıştır (Sharif ve ark., 2020; Tarone ve ark., 2020). Antosiyaninler için ana kapsülleme teknikleri; sprey kurutma, dondurarak kurutma, emülsifikasyon, jelleştirme ve kompleksleştirme tekniklerinin kullanımına dayanmaktadır. Sprey kurutma, antosiyaninleri kapsüllemek için en yaygın yöntemlerden biridir. Bu teknikte, maltodekstrin, modifiye nişasta, zıncıklar, proteinler ve bunların karışımları, enkapsüle edici ajanlar olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Püskürterek kurutulmuş partiküllerin su aktiviteleri düşüktür ve ışık, ısı ve nem varlığında kapsüllenmiş antosiyaninlerin bozunmasını yavaşlatan duvar matrislerine sahiptir. Ancak püskürtme işlemi sırasında yüksek sıcaklık, antosiyaninlerin stabilitesini olumsuz yönde etkileyen önemli bir faktördür (Laokuldilok ve ark., 2015).

### **1.3.7. Konsantrasyon**

Antosiyanin konsantrasyonunun artışı, kendiliğinden birleşme interaksyonu sağlamakta ve stabiliteyi pozitif yönde etkilemektedir (Giusti ve Wrolstad, 2003).

### **1.3.8. pH**

Asidik çözeltilerde çözüldüklerinde, antosiyanin yapısı kimyasal olarak değişir ve bu değişimler geri dönüşümlüdür (Jing, 2006). Antosiyaninlerin stabilitesi asit ortamda daha fazla, alkali ortamda daha azdır. Asitle kırmızı, bazla daha mavi mor olurlar (Rein, 2005; Jordheim, 2007; Keleş, 2015). Oksijenin neden olduğu antosiyanin kararsızlığı da asiteden etkilenir; pH ne kadar yüksek olursa, oksijen varlığında antosiyanin parçalanması o kadar güçlü olur (Markakis, 1982). pH, kopigmente antosiyaninlerin bozunmasını etkileyen önemli bir faktördür. Örneğin, pH < 4'te üretilen kopigmente edilmiş kompleksler, pH 7,0'lık fosfat tamponuna dahil edildikten sonra hemen ayrışmaktadır (Buchweitz ve ark., 2012). Ayrışmış antosiyaninler daha sonra daha zayıf renk yoğunluğuna sahip su tarafından nükleofilik saldırı altında yok edilir. pH 4,5'te hazırlanan antosiyanin-polifenol kopigmente komplekslerinin ısıtmaya (80°C, 150 dakika), UV ışınmasına (150 dakika) ve depolamaya (karanlıkta 3 ay) karşı pH 2,5'e göre daha az kararlı olduğu bildirilmiştir (Bąkowska ve ark., 2003).

### **1.3.9. Askorbik asit**

Askorbik asidin antosiyanin üzerinde bozulma sürecini hızlandırdığı bilinmektedir. Pigment polimerleşmeyi artırır ve antosiyanin pigmentlerinde renk azalmasına neden olur. Buna karşın ortamda askorbik asitin olması antosiyaninleri enzimlerin neden olduğu bozulmalara karşı koruyabilir (He ve ark., 2010; Nikkhah ve ark., 2010). Meschter (1953) askorbik asidin parçalanması sonucu oluşan ürünlerden furfural, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve dehidroaskorbik asitin antosiyaninleri parçaladığını bildirilmiştir.

### **1.3.10. Şeker**

Bitkisel hücre kültürleri çoğunlukla heterotrofik olarak karbonu, sükröz, früktoz gibi karbohidratlardan, inorganik maddeleri ise diğer bileşiklerden alarak gelişir. Şeker miktarı sekonder metabolit üretimi yapan kültürlerin üretkenliklerini etkilemektedir (Yağcı ve ark., 2008). Genellikle fazla konsantrasyonda sükröz (%5), hem hücre büyüme hızında hem antosiyanin üretiminde önemli bir artışa neden olur. Muhtemelen, yüksek sükröz konsantrasyonunda hücre zarının geçirgenliğinin artması nedeniyle hücre hattının antosiyanin bırakma özelliği artmaktadır (Zhong ve ark., 1994). Bu özellik antosiyaninlerin büyük ölçekli üretiminde çok faydalı olabilir.

### **1.3.11. Nitrat ve fosfat**

Azot yoğunluğu, hücre süspansiyon kültürlerinde, aminoasit, protein gibi ürünlerin üretim miktarında etkilidir. Bitki için doku kültürü ortamları olan Murashige ve Skoog (MS), Linsmaier ve Skoog (LS), ve Gamborg B5'te nitrat ve amonyum tuzları azot ihtiyacını karşılamaktadır. Burada yapılan tuz

miktarları değişiklikleri, üretim miktarını da etkilemektedir. *Vitis* sp. (Asma) türlerinde azot miktarında artış, antosiyanin üretimini de artırmıştır (Yamakawa, 1983). Bununla birlikte, fosfat konsantrasyonu da antosiyanin üretiminde etkilidir. Fosfatın yüksek konsantrasyonda olması hücre gelişimini hızlandırır, düşük yoğunlukta olması sekonder ürünlerin birikimini artırır (Sasse ve ark., 1982). Zheng ve ark.'a göre (2020) nitrojen eksikliği, fosfor eksikliği ve bu iki elementin birlikte eksikliği, *Vitis* kabuğunun kallusunda antosiyaninlerin sentezini etkiler. Sonuçlara göre nitrojen ve fosfor eksikliğinin yanı sıra nitrojen ve fosforun birlikte eksikliği antosiyaninlerin birikimini önemli ölçüde teşvik ederken kallus büyümesini engellemiştir (Zheng ve ark., 2020).

### **1.3.12. Permeabilize ajanlar**

Bitki hücre kültürlerinde sentezlenen sekonder metabolitler çoğunlukla sitozolde ve vakuollerde depolanır. Metabolitin hücre dışına salgılanması için hem tonoplast hem plazma membranından oluşan iki ayrı membran bariyerinin, hem de hücre çeperinin aşılması gereklidir. Zar geçirgenliği, membran sistemindeki birbirinden farklı moleküllerin hücreye giriş ve çıkışını sağlayan por oluşumlarına bağlıdır. Dimetil sülfoksit (DMSO), kitosan benzeri polisakkaritler ve izopropanol (Van Uden ve ark., 1990) iyonoforetik, elektroporasyon ve ultrasonikasyon salınım gibi düşük akım kaynaklı araçlar (Brodelius ve ark., 1988) ve yüksek akımlı elektrik alanları, çok yüksek basınç da permeabilize edici ajanlar olarak kullanılmıştır (Dornenburg ve Knorr, 1993). Bourgaud ve ark. (1999) flavonoit üretimi için, *Psoralea* L. cinsine ait 7 ayrı türde yaptığı saçak kök kültürü çalışmalarında permeabilize edici ajan ve elisitör olarak kitosan tercih etmiştir.

## **1.4. Antosiyaninlerin İn Vitro Üretimi**

Antosiyanin elde etmede, laboratuvar koşullarında, aynı özellikte olan, yüksek saflıkta, her daim üretilebilen ve başlangıç materyalinin az miktarda olduğu biyoteknolojik metotlar daha avantajlı olarak görülmektedir. Üretim için sıklıkla kullanılan yöntemler hücre, doku ve kallus kültürüdür, böylece az miktarda başlangıç materyali ile kısa zamanda bitkisel materyalin çoğaltılması sağlanarak daha fazla bileşik üretimi artışı sağlanabilmektedir. Farklı besin ortamları veya farklı kombinasyonlar denemek ürün miktarını artırabilir. Antosiyaninlerin *in vitro* üretimi daha çok araştırma ve deneme gerektiren bir alandır. Şimdilik istenen seviyede üretimi gerçekleştirilememiştir (Kim ve ark., 2004).

Sekonder metabolitlerin büyük ölçekli üretilebilmesi için *in vitro* koşulların metabolik yollarının anlaşılması oldukça önemlidir. Genel olarak, biyoteknolojik çalışmalarda, çeşitli faktörlerin antosiyaninler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Verimliliklerini artırmak için üretim ve birçok metodolojiye başvurulmuştur. Işık, antosiyanin biyosentezinde önemli bir kontrol etkeni olarak kabul edilse de bazı bitki türlerinde karanlıkta antosiyanin üreten hücreler elde edilmiştir (Konczak-Islam ve ark., 2000). Karanlık ortamda antosiyanin üreten hücre hatları ekonomik olarak daha kazançlıdır, ancak karanlık koşullar altında kurulan kültürler nekroz ve ölüme daha yatkındır (Cormier ve ark., 1996). Kallus kültürleri için protokoller geliştirilirken sıcaklık çoğu zaman dikkate alınmasa da bu

parametrenin *in vitro* antosiyanin üretimi için önemli bir çevresel faktör olduğu kanıtlanmıştır ve türe bağlı olduğu görülmektedir. *Cleome rosea* L.' nin kallus kültürlerinde en yüksek pigment üretim oranı  $24 \pm 2$  °C'de elde edilirken, daha yüksek sıcaklıklar kallus kahverengileşmesine neden olmuştur (Simões, 2009). Bu, muhtemelen antosiyanin bozunması ve glukozidazlar tarafından glikosidik bağların hidrolizine bağlı olarak kahverengi yoğunlaşma ürünleri oluşumu nedeniyle gerçekleşmiştir. Yüksek antosiyanin üretimi 30°C'de elde edilmiştir (Narayan, 2005).

Fiziksel faktörlere ek olarak, bitki hücre kültürü ortamının besin bileşimindeki değişiklikler *in vitro* koşullar altında sekonder metabolit üretimini uyarmak için etkili bir stratejidir (Collin, 2001). Kültür ortamına eklenen şekerin yapısı ve konsantrasyonu pigment birikimini etkiler. Şekerler temelde karbon kaynağı olarak kullanılsa da aynı zamanda yüksek konsantrasyonlarda ozmotik ajandır. Ayrıca enerji kaynağıdır ve yapısal bileşenler ve çeşitli genlerin ifadesini düzenleyen fizyolojik sinyallerdir (Jang ve ark., 1997). Sükroz *in vitro* kültürlerde en sık kullanılan şekerdir ve antosiyanin üretimine etkisi literatürde bildirilmiştir (Pasqua ve ark., 2005; Simões ve ark., 2009). Bununla birlikte diğer şekerlerin etkisi de değerlendirilmiştir. Bazı çalışmalara göre diğer şekerlerle karşılaştırıldığında fruktoz içeren ortam, en etkili olan ortam olmuştur. *Aralia cordata* L. (Sakamoto, 1993), *Hibiscus sabdariffa* L. (Mizukami, 1991) ve *Fragaria vesca* L. (çilek) kallus kültürlerinde antosiyanin birikimine neden olmuştur (Mori ve Sakurai, 1994). Laktoz ise mutant bir havuç hücre hattında antosiyanin üretimini artırmıştır (Nagarajan, 1989), *Daucus carota* L.' nin kallus kültürlerinde sükroza mannitol takviye edildiğinde antosiyanin miktarında önemli artış olmuştur (Rajendran ve ark., 1992). Beslenme kısıtlaması *in vitro* kültürlerde antosiyanin sentezini uyarmak için etkili bir stratejidir. Genel olarak, bazı besinlerin tükenmesi, sekonder metabolitlerin artmasına yol açmakta, ancak bitkinin büyümesini de sınırlamaktadır (Schiozer ve Barata, 2007).

Bitkilerde fosfor (P), kükürt (S) ve azot (N) başta olmak üzere birçok besin eksikliği, karbohidratların aşırı birikmesi ve dokulardaki fizyolojik bozuklukları antosiyanin artışına neden olmaktadır (Barker ve Pilbeam, 2007). Azot kaynağının yanı sıra, amonyumun ( $\text{NH}_4^+$ ) nitrata ( $\text{NO}_3^-$ ) oranı bitki hücre kültürlerinde antosiyaninlerin üretimini önemli ölçüde etkilemektedir. Murashige ve Skoog (MS) bazal kültür ortamına 70 mM toplam nitrojen molar konsantrasyonu eklendiğinde *Daucus carota*' nın kallus kültürlerinde maksimum antosiyanin birikimi sağlanmıştır (Narayan ve ark., 2005).

*Vitis vinifera*' da en iyi antosiyanin üretim 60 mM nitrojen (Yamakawa ve ark., 1983) ile sağlanmıştır. 30 mM nitrojen, *Euphorbia millii* L. (Yamamoto ve ark., 1989), *Aralia cordata* (Sakamoto ve ark. 1993) ve *Fragaria vesca* hücrelerinde en fazla antosiyanin üretimine neden olmuştur (Mori ve ark., 1994). *Aralia cordata* L. hücre kültürlerinde en yüksek düzeyde antosiyanin, standart 1:4 molar  $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$  oranına sahip MS ortamı yerine, 1:2 modifiye ortamda elde edilmiştir (Sakamoto ve ark., 1993). *Fragaria vesca* (Sato ve ark., 1996), *Daucus carota* (Narayan, 2005) ve *Cleome rosea* L. (Simões ve ark., 2009) kallus kültürlerinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Azotun yanı sıra, fosfat konsantrasyonunda değişiklikler de antosiyanin içeriğini artırmak için kullanılmıştır. *Daucus carota*' nın kallus kültürleri MS ortamında düşük seviyelerde tutulan fosfat katı

MS ortamı kültürlerine kıyasla antosiyanin içeriğinde %7,2'ye kadar bir artış göstermiştir (Rajendran, 1992). Fosfat yoksunluğu altında yüksek antosiyanin birikimi de *Vitis vinifera*'nın hücre süspansiyonlarında görülmüştür (Dedaldechamp ve ark., 1995; Dedaldechamp ve Uhel, 1999).

Bitki büyüme düzenleyicilerinin antosiyanin indüksiyonu üzerindeki etkileri değişkendir. Kallus kültürlerinde 2,4-diklorofenoksiasetik asit (2,4-D) veya Indol Asetik Asit (IAA) varlığında elde edilenlerle karşılaştırıldığında, 1-naftalenasetik asit (NAA) içeren ortamda gelişen *Glehnia littoralis* L.'de, antosiyanin miktarında neredeyse iki kat artış sağlanmıştır (Miura ve ark., 1998). Diğer yandan, NAA *Oxalis linearis* L.'in kallus kültürlerinde antosiyanin üretimi baskılanmıştır (Meyer ve Van Staden, 1995). *Camptotheca acuminata* hücre kültürlerinde antosiyanin içeriği benzilaminopurin (BAP) ile karşılaştırıldığında kinetin (KIN) varlığında önemli ölçüde daha yüksek olmuştur (Pasqua ve ark., 2005). *Daucus carota* kallusunda maksimum antosiyanin verimliliği ortamda NAA ve KIN olduğunda gözlenmiştir (Narayan ve ark., 2005). Bazı araştırmacılar 2,4-D'nin antosiyaninler dahil çok çeşitli sekonder metabolitlerin üretimini engellediğini öne sürmüş olsalar da (Ozeki ve Komamine, 1981; Schiozer ve Barata, 2007) bu büyüme düzenleyicileri ile kültür ortamı takviyesi kallusta yüksek antosiyanin üretiminin yanı sıra biyokütle artışı da desteklemek için gerekli olduğunu *Fragaria ananassa* L. (Nakamura, 1998), *Ipomoea batatas* L. (Konczak-Islam, 2000), *Daucus carota* (Ceoldo ve ark., 2005) ve *Cleome rosea* (Simões, 2009) ile yapılan çalışmalar kanıtlamıştır. Antosiyanin sentezinin 2,4-D ile düzenlenmesi havuç hücre süspansiyon kültürlerinde değerlendirilmiştir (Ozeki, 1996). Bu çalışma iki tane fenilalanin amonyak-lyaz (PAL) geninin olduğunu göstermiştir. Bu genlerden biri 2,4-D ile spesifik olarak uyarılırken, diğer geni kısa süreli, hızlı ve stres koşullarında aktiveleştirir *Cleome rosea*'nin kallus kültürlerinde yarı güçte optimize edilmiş bir besiyeri formülasyonu oluşturulmuştur. 1:4 oranında  $\text{NH}_4^+$  /  $\text{NO}_3^-$  içeren  $\frac{1}{2}$  MS ortamı için 70 g/L sakkaroz ve 0,90  $\mu\text{M}$  2,4-D içeren ortama aktarılan pigmentli kalluslar formülasyon yüksek bir biyokütle birikimini sürdürmüş ve kullanılan orijinal MS ortamıyla karşılaştırıldığında antosiyanin içeriğinde %150 artış sağlamıştır (Simões ve ark., 2009).

*Vaccinium corymbosum* L. türü 'Bluecrop' ve 'Duke' çeşitlerinin yapraklarından elde edilen kallus kültürü için 0,1-5,0 mg/L arasında değişen konsantrasyonlarda 2,4-D, BAP, Tidiazuron (TDZ), KIN ve NAA içeren MS veya Woody Plant Medium (WPM) ortamı kullanılan denemelerde 35 gün boyunca gözlenmiştir. Daha sonra seçilmiş kalluslar farklı konsantrasyonlarda ve farklı kombinasyonlarda bitki büyüme düzenleyicisi içeren WPM ortamına da aktarılıp 14 ay büyümesi beklenmiştir. En iyi kallus büyümesi, 0,2 mg/L 2,4-D içeren MS'de gözlenmiştir. Ayrıca MS 1,5 mg/L 2,4-D, 2,0 mg/L BAP, 1,0 mg/L NAA ve 0,1 mg/L TDZ içeren ortam ve 1,0 mg/L 2,4-D, 0,5 mg/L BAP, 2,0 mg/L NAA ve 1,0 mg/L KIN ve 0,5 mg/L 2,4-D ve 0,2 mg/L BAP içeren ortamlarda da iyi büyüme gözlenmiştir (Ramata-Stunda ve ark., 2020).

*Vitis vinifera*'nın *in vitro* kültürü kullanılarak antosiyanin üretimi yapılmakta ve elisitörler veya stres faktörleri kullanılarak verimi artırılmaktadır. Mısır (*Zea mays* L.), yüksek siyanidin-3- $\beta$ -glukozit antosiyanin içeriği nedeniyle önemlidir. Yapılan çalışmada, mor ve beyaz mısır çeşitlerinin *in vivo* ve

*in vitro* kültürleri kullanılarak siyanidin-3- $\beta$ -glukozit üretimi mekanizmaları ile değerlendirilmiştir. Beyaz mısır için en yüksek kallus indüksiyonu (%85), 2 mg/L 2,4-D eklenmiş MS ortamında elde edilirken, mor mısır için (%93) N6 ortamında 2 mg/L 2,4-D ile elde edilmiştir. Her iki çeşit için eksplant olarak çimlenmiş tohum kullanılmıştır. Elisitör olarak metil jasmonat eklendiğinde *in vitro*da siyanidin-3- $\beta$ -glukozitin biriktiği veya üretildiği görülmemiştir. Buna karşılık, beyaz mısırın çimlenmiş tohumları ve kök dokusuna fosfor eksik çözelti uygulandığında en yüksek siyanidin-3- $\beta$ -glukozit birikimi (0,06 mg/g) gözlenmiştir. Bu yöntem mor mısır için kullanıldığında antosiyaninlerin daha fazla üretildiği saptanmamıştır. Bu nedenle *in vivo* yöntemde beyaz mısırı tercih etmek gelecekteki uygulamalar için optimize edilebilecek kararlı bir antosiyanin üretiminde potansiyel bir yöntem olabileceği bildirilmiştir (Leon-Cisneros ve ark., 2019).

Yaban mersinin (*Vaccinium corymbosum* L. cv) den yaprak, kök ve gövde eksplantları alındıktan sonra farklı konsantrasyon ve kombinasyonlarda bitki büyüme düzenleyicileri (1,0 mg/L BAP ve kombinasyon halinde 2,0 mg/L NAA) içeren Woody Plant Medium (WPM) besin ortamında maksimum kallus gelişimi kullanılan tüm eksplantlarda (yaprak için 1,03, kök için 1,0 ve gövde için 0,8 g/kavanoz) kaydedilmiştir. Aynı WPM ortamında dört alt kültürden sonra farklı ışık türlerinin kallus kültüründe antosiyaninlerin birikimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. En yüksek antosiyanin içeriği seviyeleri kontrol olarak karanlıkta yetiştirilen kallus ile karşılaştırıldığında kırmızı ışık altında büyütülen kök (5,7 kat) ve yaprak (4,8 kat) kallusunda gözlenmiştir. Kırmızı ışık, yaprakta elde edilen kallustaki antosiyaninlerin nitel bileşimini kökten elde edilen kallusa göre büyük ölçüde artırmıştır (Abou El-Dis ve ark., 2021).

Tablo 2'de *in vitro* olarak kallus kültürü yöntemi ile antosiyanin üretimi yapılan çalışmalardan bazıları özetlenerek verilmiştir (Tablo 2).

**Tablo 2.** *In vitro* kallus kültürü yöntemi kullanılarak antosiyanin sentezi yapılan bazı çalışmalar.

Kullanılan takson	Eksplant	Bitki büyüme düzenleyicileri	Kültür ortamı, pH ve fotoperiyot	Kaynak
<i>Catharanthus roseus</i> L., <i>Celosia argentea</i> L., <i>Cordyline terminalis</i> L.	İnternod	2,4-D + BAP + NAA + KIN	MS ortam, pH: 5,8 16 saat / 8 saat (aydınlık / karanlık)	Taha ve ark., 2008
<i>Vaccinium corymbosum</i> L. var. bluecrop	Yaprak	2,4-D + KIN	SH ortam	Migas ve ark., 2005
<i>Cleome rosea</i> L.	Yaprak, gövde	NAA + PIC + 2,4-D + IAA	MS ortam, pH: 5,8 16 saat / 8 saat (aydınlık / karanlık)	Simões ve ark., 2009
<i>Crataegus sinaica</i> L.	Sürgün	KIN + 2,4-D + BAP + NAA	MS ortam, pH: 5,7 16 saat / 8 saat (aydınlık / karanlık)	Maharik ve ark., 2009
<i>Bridelia stipularis</i> L.	Yaprak, internod	NAA + 2,4-D + BAP + KIN	MS ortam, pH: 3-6 aralığında denemeler Aydınlık ortamda	Sreenivas ve ark., 2011
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	Yaprak	NAA + BAP + AS	WPM ortam	Bolda, 2011



<i>Rosa hybrida</i> L.	Petal, yaprak	2,4-D	MS ve alt kültürde EM ortam, pH: 5,8 Karanlık ortam, alt kültürde 16 saat / 8 saat (aydınlık / karanlık)	Ram, 2011
<i>Hydrocotyle bonariensis</i> L.	Yaprak	2,4-D + KIN	DKW kültür ortamı, Aydınlık ortamda	Masoumian ve ark., 2011
<i>Citrullus colocynthis</i> L.	Yaprak, internod	BAP + NAA + KIN + 2,4-D	MS ortam	Tanveer ve ark., 2012
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	Yaprak, gövde	NAA + BAP + AS	WPM, AND, MS ortamlar.	Botau ve Bolda, 2013
<i>Rosa gallica</i> L.	Yaprak, yaprak sapı, taç yaprak, anter, pistil	2,4-D + BAP + GA3	MS ortam, pH: 5,7-5,8 16 saat / 8 saat (aydınlık / karanlık)	Tarrahi ve Rezanejad, 2013
<i>Rosa hybrida</i> L.	Yaprak	IBA + KIN + AS	MS ve EM ortam pH: 5,8 Karanlık ortam ve 16 saat / 8 saat (aydınlık / karanlık)	Ram, 2013
<i>Anthocephalus indicus</i> L.	Yaprak	BAP	WPM ortam	Indu ve ark., 2013
<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.	Tohumdan elde edilen kotiledon parçaları, hipokotil segmentleri ve 7 günlük steril fideler	2,4-D + KIN + BAP	MS ortam pH: 5,8 Aydınlık ortamda	Abeda ve ark., 2014
<i>Malus pumila</i> L.	Yaprak	BAP + KIN + NAA + 2,4-D	MS ortam pH: 5,7 Aydınlık ortamda	Zahedzadeh ve ark., 2015
<i>Rumex vesicarius</i> L.	Kotiledon, hipokotil	IBA + NAA + 2,4-D	MS ortam	El-Shafey ve ark., 2016
<i>Sedum telephium</i> L.	Yaprak, yaprak sapı	BAP + IBA + NAA + KIN + 2,4-D	MS ortam, pH: 5,5 16 saat / 8 saat (aydınlık / karanlık)	Ardelean ve ark., 2017
<i>Angelica archangelica</i> L.	Tohum, yaprak, yaprak sapı, tomurcuk	2,4-D + NAA + BAP	MS ortam	Siatka, 2018
<i>Taraxacum officinale</i> L.	Yaprak	NAA + BAP	MS ortam pH: 5,8 16 saat / 8 saat (aydınlık / karanlık)	Martínez ve ark., 2018
<i>Lamprocapnos spectabilis</i> L.	Yaprak, yaprak sapı ve internod	BAP + IAA + NAA + 2,4-D + PIC	MS ortam	Kulus ve Tymoszuk, 2020
<i>Vaccinium corymbosum</i> L.	Gövde, yaprak	N-morfolino etansülfonik asit (MES) + NAA + TDZ + BAP + KIN + 2,4-D	MS ve WPM ortam pH: 5,7 16 saat / 8 saat (aydınlık / karanlık)	Ramata-Stunda ve ark., 2020
<i>V. corymbosum</i> L. cv. Sunt Blue Giant	Yaprak, kök, gövde	NAA + BAP	WPM ortam Karanlık veya farklı renkte ışık	Abou El-Dis ve ark., 2021

\*2,4 D: 2,4-diklorofenoksiasetik asit ; BAP: Benzilaminopurin; NAA: 1-naftalenasetik asit; KIN: kinetin; PIC: 4-amino-3,5,6-trikloropikolinik asit; IAA: indol asetik asit; AS: adenin sülfat; GA3: Gibereellik asit; IBA: indol-3-butirik asit.

## 2. Sonuç

Sekonder metabolitlerin bitkilerin ortama uyum sağlamasında, kendini korumasında ve çoğalmasında pek çok yararlılıkları vardır. İnsanlar için de başta sağlık olmak üzere pek çok kullanım alanı mevcuttur. Ancak sekonder metabolitlerin doğal kaynaklardan ticari olarak üretimi çok verimli değildir. Günümüzde pek çok yararlı maddenin biyoteknolojik yöntem kullanılarak daha ekonomik ve fazla miktarda üretimi mümkündür. Bu üretimin istenen seviyede ve kalitede olabilmesi için kültür ortam şartlarının çok iyi araştırılması ve çalışılması gerekmektedir.

Bundan hareketle, yaptığımız literatür çalışmalarının ışığında elde ettiğimiz verilerin, antosiyaninlerin *in vitro* üretimi ve stabilitesinin sağlanması ile ilgili bölüm bu derlemede siz değerli araştırmacılara kaynak olması amacı ile derlenmiş ve sunulmuştur.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder

## Kaynakça

- Abeda HZ., Kouassi MK., Yapo KD., Koffi E., Sie RS., Kone M., Kouakou HT. Production and enhancement of anthocyanin in callus line of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *International Journal of Recent Biotechnology* 2014; 2(1): 45-56.
- Abou El-Dis GR., Zavdetovna KL., Nikolaevich AA., Abdelazeez WMA., Arnoldovna TO. Influence of light on the accumulation of anthocyanins in callus culture of *Vaccinium corymbosum* L. cv. Sunt Blue Giant. *Journal of Photochemistry and Photobiology* 2021; 8: 100058.
- Allen F. Physical and chemical changes in the ripening of deciduous fruits. *Hilgardia* 1932; 6(13): 381-441.
- Andersen ØM., Jordheim M. The anthocyanins. *Flavonoids: chemistry, biochemistry and applications*. CRC Press, Boca Raton 2008; 471-553.
- Andersen ØM., Jordheim M., Byamukama R., Mbabazi A., Ogweng G., Skaar I., Kiremire B. Anthocyanins with unusual furanose sugar (apiose) from leaves of *Synadenium grantii* (Euphorbiaceae). *Phytochemistry* 2010; 71: 1558–1563.
- Ardelean M., Cachiță-Cosma D., Ardelean A., Lădașu FC., Lobiuc A., Zamfirache M., Rosenhech E. Cytological aspects and anthocyanin accumulation observed in *Sedum telephium* ssp. maximum L. callus. *Romanian Biotechnological Letters* 2017; 22(6): 13125-13134.
- Bąkowska A., Kucharska AZ., Oszmiański J. The effects of heating, UV irradiation, and storage on stability of the anthocyanin–polyphenol copigment complex. *Food Chemistry* 2003; 81(3): 349-355.

- Barbagallo RN., Palmeri R., Fabiano S., Rapisarda P., Spagna G. Characteristic of b-glucosidase from Sicilian blood oranges in relation to anthocyanin degradation. *Enzyme and Microbial Technology* 2007, 41(5): 570–575.
- Barker AV., Pilbeam DJ. *Handbook of plant nutrition*. USA: CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, 2007.
- Bechtold T., Mussak R. *Handbook of natural colorants*. e-book ISBN: 978-0-470- 51199-2, John Wiley & Sons, 2009; 8: 412.
- Bolda VV. Studies on elemental composition and antioxidant capacity in callus cultures and native plants of *Vaccinium myrtillus* L. local populations. *Acta Biologica Szegediensis* 2011, 55(2): 255-259.
- Botau D., Bolda V. The selection of some tissue lines producers of anthocyanins in bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) callus culture. *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies* 2013; 17: 49-52.
- Boulton R. The copigmentation of anthocyanins and its role in the color of red wine: A critical review. *American Journal of Enology and Viticulture* 2001; 52(2): 67-87.
- Bourgaud F., Bouque V., Guckert A. Production of flavonoids by *Psoralea* hairy root cultures. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 1999; 56(2): 96-103.
- Braidot E., Zancani M., Petrusa E., Peresson C., Bertolini A., Patui S., ... Vianello A. Transport and accumulation of flavonoids in grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Plant Signaling & Behavior* 2008; 3(9): 626-632.
- Brodellius P. Permeabilization of plant cells for release of intracellularly stored products: viability studies. *Applied Microbiology and Biotechnology* 1988; 27: 561-566.
- Buchweitz M., Carle R., Kammerer DR. Bathochromic and stabilising effects of sugar beet pectin and an isolated pectic fraction on anthocyanins exhibiting pyrogallol and catechol moieties. *Food Chemistry* 2012; 135(4): 3010-3019.
- Buer CS., Imin N., Djordjevic MA. Flavonoids: new roles for old molecules. *Journal of integrative plant biology* 2010; 52(1): 98-111.
- Cassidy A., Rogers G., Peterson JJ., Dwyer JT., Lin H., Jacques PF. Higher dietary anthocyanin and flavonol intakes are associated with anti-inflammatory effects in a population of US adults. *The American Journal of Clinical Nutrition* 2015; 102(1): 172-181.
- Castañeda-Ovando A., de Lourdes Pacheco-Hernández M., Páez-Hernández ME., Rodríguez JA., Galán-Vidal CA. Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food chemistry* 2009; 113(4): 859-871.
- Ceoldo S., Levi M., Marconi AM., Baldan G., Giarola M., Guzzo F. Image analysis and *in vivo* imaging as tools for investigation of productivity dynamics in anthocyanin-producing cell cultures of *Daucus carota*. *New Phytologist* 2005; 166(1): 339-352.
- Chaovanalikit A., Wrolstad RE. Total anthocyanins and total phenolics of fresh and processed cherries and their antioxidant properties. *Journal of Food Science* 2004; 69(1): 67-72.

- Collin HA. Secondary product formation in plant tissue cultures. *Plant Growth Regulation* 2001, 34: 119-134.
- Cormier F., Brion F., Do CB., Moresoli C. Development of process strategies for anthocyanin-based food colorant production using *Vitis vinifera* cell cultures. In: Di Cosmo F, Misawa M (eds.) *Plant cell cultures secondary metabolism: Toward industrial application*. New York: CRC Press, 1996.
- Cortez R., Luna-Vital DA., Margulis D., Gonzalez de Mejia E. Natural pigments: stabilization methods of anthocyanins for food applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2017; 16(1): 180-198.
- Curry EA. Temperatures for optimum anthocyanin accumulation in apple tissue. *Journal of Horticultural Science* 1997; 72(5): 723-729.
- de Almeida Paula D., Ramos AM., de Oliveira EB., Martins EMF., de Barros FAR., Vidigal MCTR., da Rocha CT. Increased thermal stability of anthocyanins at pH 4,0 by guar gum in aqueous dispersions and in double emulsions W/O/W. *International Journal of Biological Macromolecules* 2018; 117: 665-672.
- de Pascual-Teresa S., Sanchez-Ballesta MT. Anthocyanins: from plant to health. *Phytochemistry Reviews* 2008; 7: 281-299.
- Dedaldechamp F., Uhel C., Macheix J. Enhancement of anthocyanin synthesis and dihydroflavonol reductase (DFR) activity in response to phosphate deprivation in grape cell suspensions. *Phytochemistry* 1995; 40(5): 1357-1360.
- Dedaldechamp F., Uhel C. Induction of anthocyanin synthesis in nonpigmented grape cell suspensions by acting on DFR substrate availability or precursors level. *Enzyme and Microbial Technology* 1999; 25: 316–321.
- Dornenburg H., Knorr D. Cellular permeabilization of cultured tissues by high electric field pulses or ultra high pressure for the recovery of secondary metabolites. *Food Biotechnology* 1993; 7: 35–48.
- Dyrby M., Westergaard N., Stapelfeldt H. Light and heat sensitivity of red cabbage extract in soft drink model systems. *Food chemistry* 2001; 72(4): 431-437.
- El-Shafey NM., Ahmed ES., Sayed M., Hammouda O., Khodary SA. Effect of growth regulators, carbohydrates and antioxidant compounds on biomass, flavonoid accumulation and enzyme activity in callus cultures of *Rumex vesicarius* L. *Egyptian Journal of Botany* 2016; 56: 595-612.
- Espin JC., Soler-Rivas C., Wichers H., Garcia-Viguera C. Anthocyanin based natural colorants: A new Source of Foodstuff, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2000; 48: 1588-1592.
- Fan L., Wang Y., Xie P., Zhang L., Li Y., Zhou J. Copigmentation effects of phenolics on color enhancement and stability of blackberry wine residue anthocyanins: Chromaticity, kinetics and structural simulation. *Food Chemistry* 2019; 275: 299-308.

- Fenger JA., Sigurdson GT., Robbine RJ., Collins TM., Giusti MM., Dangles O. Acylated anthocyanins from red cabbage and purple sweet potato can bind metal ions and produce stable blue colors. *International Journal of Molecular Sciences* 2022, 22(9): 4551.
- Fernandes A., Oliveira J., Fonseca F., Ferreira-da-Silva F., Mateus N., Vincken JP., de Freitas V. Molecular binding between anthocyanins and pectic polysaccharides—Unveiling the role of pectic polysaccharides structure. *Food Hydrocolloids* 2020; 102: 105625.
- Franke AA., Custer LJ., Arakaki C., Murphy, SP. Vitamin C and flavonoid levels of fruits and vegetables consumed in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis* 2004; 17(1): 1-35.
- Giusti MM., Wrolstad RE. Acylated anthocyanins from edible sources and their applications in food systems. *Biochemical Engineering Journal* 2003; 14 (3): 217-225.
- Glories Y. Anthocyanins and tannins from wine: organoleptic properties. *Progress in Clinical and Biological Research* 1988; 280: 123-134.
- Gomez C., Conejero G., Torregrosa L., Cheynier V., Terrier N., Ageorges A. *In vivo* grapevine anthocyanin transport involves vesicle-mediated trafficking and the contribution of anthoMATE transporters and GST. *The Plant Journal* 2011; 67(6): 960-970.
- Harnly JM., Doherty RF., Beecher GR., Holden JM., Haytowitz DB., Bhagwat S., Gebhardt S. Flavonoid content of US fruits, vegetables, and nuts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2006; 54(26): 9966-9977.
- He F., Mu L., Yan GL., Liang NN., Pan QH., Wang J., ... Duan CQ. Biosynthesis of anthocyanins and their regulation in colored grapes. *Molecules* 2010; 15(12): 9057-9091.
- Indu S., Vijaya L., Meeta B., Jossy V., Naresh C. Production of flavonoids in callus culture of *Anthocephalus indicus* A. Rich. *Asian Journal of Plant Sciences* 2013; 12(1): 40-45.
- Jackman RL, Smith JL. Anthocyanins and betalains. *Natural Food Colorants* 1996; 244-309.
- Jakobek L., Seruga M., Medvidovic-Kosanovic M., Novak I. Anthocyanin content and antioxidant activity of various red fruit juices. *Deutsche Lebensmittelrundscha* 2007; 103(2): 58.
- Jang JC., Leon P., Zhou L., Sheen J. Hexokinase as a sugar sensor in higher plants. *The Plant Cell* 1997; 9(1): 5-19.
- Jennings A., Welch AA., Spector T., Macgregor A., Cassidy A. Intakes of anthocyanins and flavones are associated with biomarkers of insulin resistance and inflammation in women. *The Journal of nutrition* 2014; 144(2): 202-208.
- Jeong D., Na K. Chondroitin sulfate based nanocomplex for enhancing the stability and activity of anthocyanin. *Carbohydrat Polymers* 2012; 90 (1): 507-515.
- Jeong D., Bae BC., Park SJ., Na K. Reactive oxygen species responsive drug releasing nanoparticle based on chondroitin sulfate-anthocyanin nanocomplex for efficient tumor therapy. *Journal of Controlled Release* 2016; 222: 78–85.
- Jiamyangyuen S., Nuengchamnong N., Ngamdee P. Bioactivity and chemical components of Thai rice in five stages of grain development. *Journal of Cereal Science* 2017; 74: 136-144.

- Jing P. Purple corn anthocyanins: chemical structure, chemoprotective activity and structure/function relationships. Doctoral dissertation, The Ohio State University, 263 p., USA, 2006.
- Jordheim M. Isolation, identification and properties of pyranoanthocyanins and anthocyanin forms. Journal of Controlled Release. University of Bergen Doctoral Thesis, 108 pp., Norway, 2007.
- Kader F., Rovel B., Girardin M., Metche M. Mechanism of browning in fresh highbush blueberry fruit (*Vaccinium corymbosum* L.). Role of blueberry polyphenol oxidase, chlorogenic acid and anthocyanins. Journal of the Science of Food and Agriculture 1997; 74(1): 31-34.
- Kähkönen MP., Hopia AI., Heinonen M. Berry phenolics and their antioxidant activity. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2001; 49: 4076-4082.
- Kähkönen MP., Heinämäki J., Ollilainen V., Heinonen M. Berry anthocyanins: Isolation, identification and antioxidant activities. Journal Science Food Agricultural 2003; 83: 1403-1411.
- Kaur S., Sharma N., Kapoor P., Chunduri V., Pandey AK., Garg M. Spotlight on the overlapping routes and partners for anthocyanin transport in plants. Physiologia Plantarum 2021, 171(4): 868-881.
- Keleş Y. Antosiyanin pigmentlerin biyokimyası ve analizi. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi 2015; (1): 19-25.
- Kırca A., Cemeroglu B. Degradation kinetics of anthocyanins in blood orange juice and concentrate. Food Chemistry 2003; 81(4): 583-587.
- Kırca A. Siyah havuç antosiyaninlerinin bazı meyve ürünlerinde ısıl stabilitesi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no: 109, Ankara, Türkiye, 2004.
- Kırca A., Özkan M., Cemeroglu B. Thermal stability of black carrot anthocyanins in blond orange juice. Journal of Food Quality 2007; 26(5): 361-366.
- Kim BJ., Gibson DM., Shuler ML. Effect of subculture and elicitation on instability of taxol production in *Taxus* sp. suspension cultures. Biotechnology Progress 2004; 20(6): 1666-1673.
- Kliewer WM. Effect of day temperature and light intensity on coloration of *Vitis vinifera* L. Grapes1. Journal of the American Society for Horticultural Science 1970; 95(6): 693-697.
- Kong JM., Chia LS., Goh NK., Chia TF., Brouillard R. Analysis and biological activities of anthocyanins. Phytochemistry 2003; 64(5): 923-933.
- Konczak-Islam I., Yoshinaga M., Nakatani M., Terahara N., Yamakawa O. Establishment and characteristics of an anthocyanin-producing cell line from sweet potato storage root. Plant Cell Reports 2000; 19: 472-477.
- Kulus D., Tymoszuk A. Induction of callogenesis, organogenesis, and embryogenesis in non-meristematic explants of bleeding heart and evaluation of chemical diversity of key metabolites from callus. International Journal of Molecular Sciences 2020; 21(16): 5826.
- Kytridis VP., Manetas Y. Mesophyll versus epidermal anthocyanins as potential *in vivo* antioxidants: evidence linking the putative antioxidant role to the proximity of oxy-radical source. Journal of Experimental Botany 2006, 57(10): 2203-2210.

- Laokuldilok T., Kanha N. Effects of processing conditions on powder properties of black glutinous rice (*Oryza sativa* L.) bran anthocyanins produced by spray drying and freeze drying. *LWT-Food Science and Technology* 2015, 64(1): 405–411.
- Leon-Cisneros S., Quirola-Garcés A., Alvarez-Santana J., Barriga-Medina N., Ramirez- Villacís D., Caviedes M., Leon-Reyes A. Evaluation of anthocyanin production in white and purple maize (*Zea mays* L.) using methyl jasmonate, phosphorus deficiency and high concentration of sucrose. *Cereal Research Communications* 2019; 47(4): 604-614.
- Liu J., Hao W., He Z., Kwek E., Zhu H., Ma N., ... Chen ZY. Blueberry and cranberry anthocyanin extracts reduce bodyweight and modulate gut microbiota in C57BL/6 J mice fed with a high-fat diet. *European Journal of Nutrition* 2021; 60: 2735-2746.
- Maharik N., Elgengaihi S. Taha H. Anthocyanin production in callus cultures of *Crataegus sinaica* boiss. *International Journal of Academic Research* 2009; 1(1): 30-34.
- Malone LA., Barraclough EI., Lin-Wang K., Stevenson DE., Allan AC. Effects of red-leaved transgenic tobacco expressing aMYB transcription factor on two herbivorous insects, *Spodoptera litura* and *Helicoverpa armigera*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 2009, 133: 117–127.
- Markakis P. Anthocyanins and their stability in food. *CRC Critical Reviews in Food Technology* 1974; 4: 437–456.
- Markakis P. Stability of anthocyanins in foods. *Anthocyanins as Food Colors* 1982; 163: 180.
- Marković D., Petranović NA., Baranac JM. A spectrophotometric study of the copigmentation of malvin with caffeic and ferulic acids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2000; 48(11): 5530-5536.
- Martínez ME., Poirrier P., Prüfer D., Gronover CS., Jorquera L., Ferrer P., ... Chamy R. Kinetics and modeling of cell growth for potential anthocyanin induction in cultures of *Taraxacum officinale* GH Weber ex Wiggers (Dandelion) *in vitro*. *Electronic Journal of Biotechnology* 2018; 36: 15-23.
- Masoumian M., Arbakariya A., Syahida A., Maziah M. Flavonoids production in *Hydrocotyle bonariensis* callus tissues. *Journal of Medicinal Plants Research* 2011; 5(9): 1564-1574.
- Meng X., Wang JR., Wang GD., Liang XQ., Li XD., Meng QW. An R2R3-MYB gene, LeAN2, positively regulated the thermo-tolerance in transgenic tomato. *Journal Plant Physiology* 2015, 175: 1–8.
- Meschter EE. Effects of carbohydrates and other factors on strawberry products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 1953; 1: 574–579.
- Meyer HJ., Van Staden J. The *in vitro* production of an anthocyanin from callus cultures of *Oxalis linearis*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 1995; 40: 55-58.
- Migas P., Cisowski W. Dembińska-Migas W. Isoprene derivatives from the leaves and callus cultures of *Vaccinium corymbosum* var. bluecrop. *Acta Poloniae Pharmaceutica* 2005; 62 (1): 45-51.

- Miura H., Kitamura Y., Ikenaga T., Mizobe K., Shimizu T., Nakamura M., ... Goda Y. Anthocyanin production of *Glehnia littoralis* callus cultures. *Phytochemistry* 1998; 48(2): 279-283.
- Mizukami H., Nakamura M., Tomita K., Higuchi K., Ohashi H. Effects of macronutrients on anthocyanin production in roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) callus cultures. *Plant Tissue Culture Letters* 1991; 8(1): 14-20.
- Mohtashami R., Huseini HF., Nabati F., Hajiaghaee R., Kianbakht S. Effects of standardized hydro-alcoholic extract of *Vaccinium arctostaphylos* leaf on hypertension and biochemical parameters in hypertensive hyperlipidemic type 2 diabetic patients: a randomized, double-blind and placebo-controlled clinical trial. *Avicenna Journal of Phytomedicine* 2019; 9(1): 44.
- Mori T., Sakurai M. Production of anthocyanin from strawberry cell suspension cultures; effects of sugar and nitrogen. *Journal of Food Science* 1994; 59(3): 588-593.
- Müller D., Schantz M., Richling E. High performance liquid chromatography analysis of anthocyanins in bilberries (*Vaccinium myrtillus* L.), blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.), and corresponding juices. *Journal of Food Science* 2012; 77(4): C340-C345.
- Nagarajan RP., Keshavarz E., Gerson DF. Optimization of anthocyanin yield in a mutated carrot cell line (*Daucus carota*) and its implications in large scale production. *Journal of Fermentation and Bioengineering* 1989; 68(2): 102-106.
- Nakamura M., Seki M., Furusaki S. Enhanced anthocyanin methylation by growth limitation in strawberry suspension culture. *Enzyme and Microbial Technology* 1998; 22(5): 404-408.
- Narayan MS., Thimmaraju R., Bhagyalakshmi B. Interplay of growth regulators during solid-state and liquid-state batch cultivation of anthocyanin producing cell line of *Daucus carota*. *Process Biochemistry* 2005; 40: 351-358.
- Naumann WD., Wittenburg U. Anthocyanins, soluble solids, and titratable acidity in blackberries as influenced by preharvest temperatures. In *Symposium on Breeding and Machine Harvesting of Rubus*, 1980, July, page: 183-190.
- Nikkhah E., Khaiamy M., Heidary R., Azar AS. The effect of ascorbic acid and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> treatment on the stability of anthocyanin pigments in berries. *Turkish Journal of Biology* 2010; 34(1): 47-53.
- Onan E. ve Çölgeçen H. Antosiyaninlerin yapısı, hücrede biyosentezi, etkinlikleri ve kullanım alanları. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(1): 982-1005.
- Oren-Shamir M. Does anthocyanin degradation play a significant role in determining pigment concentration in plants? *Plant Science* 2009, 177: 310–316.
- Ou LJ., Zhan, ZQ., Dai XZ., Zou XX. Photooxidation tolerance characters of a new purple pepper. *PLoS ONE* 2013, 8: 63593.
- Ozeki Y., Komamine A. Induction of anthocyanin synthesis in relation to embryogenesis in a carrot suspension culture: correlation of metabolic differentiation with morphological differentiation. *Physiologia Plantarum* 1981; 53(4): 570-577.



- Ozeki Y. Regulation of anthocyanin synthesis in carrot suspension cultured cells. *Journal of Plant Research* 1996; 109(3): 343-351.
- Özkan M. Degradation of anthocyanins in sour cherry and pomegranate juices by hydrogen peroxide in the presence of added ascorbic acid. *Food Chemistry* 2002; 78(4): 499-504.
- Pasqua G., Monacelli B., Mulinacci N., Rinaldi S., Giaccherini C., Innocenti M., Vinceri FF. The effect of growth regulators and sucrose on anthocyanin production in *Camptotheca acuminata* cell cultures. *Plant Physiology and Biochemistry* 2005; 43(3): 293-298.
- Patras A., Brunton NP., O'Donnell C., Tiwari BK. Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science & Technology* 2010; 21(1): 3-11.
- Prior RL., Cao G., Martin A., Sofic E., McEwen J., O'Brien C., Lischner N., Ehlenfeldt M., Kalt W., Krewer G., Mainland CM. Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity, and variety of *Vaccinium* species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 1998; 46: 2686-2693.
- Prior RL., Lazarus SA., Cao G., Muccitelli H., Hammerstone JF. Identification of procyanidins and anthocyanins in blueberries and cranberries (*Vaccinium* spp.) using high-performance liquid chromatography/mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2001; 49(3): 1270-1276.
- Puech AA., Rebeiz CA, Crane JC. Pigment changes associated with the application of Ethephon ((2-chloroethyl) phosphonic acid) to fig (*Ficus carica* L.) fruits. *Plant Physiology* 1976; 57: 504–509.
- Qian BJ., Liu JH., Zhao SJ., Cai JX. Jing P. The effects of gallic/ferulic/caffeic acids on colour intensification and anthocyanin stability. *Food Chemistry* 2017; 228: 526– 532.
- Qin X., Yuan D., Wang Q., Hu Z., Wu Y., Cai J., ... Liu G. Maillard-reacted whey protein isolates enhance thermal stability of anthocyanins over a wide pH range. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2018; 66(36): 9556-9564.
- Rababah TM., Al-Mahasneh MA., Kilani I., Yang W., Alhamad MN., Ereifej K., Al-u'datt M. Effect of jam processing and storage on total phenolics, antioxidant activity, and anthocyanins of different fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2011; 91(6): 1096-1102.
- Rajendran L., Ravishankar GA., Venkataraman LV., Prathiba KR. Anthocyanin production in callus cultures of *Daucus carota* as influenced by nutrient stress and osmoticum. *Biotechnology Letters* 1992; 14: 707-712.
- Ram M., Prasad KV., Kaur C., Singh SK., Arora A., Kumar S. Induction of anthocyanin pigments in callus cultures of *Rosa hybrida* L. in response to sucrose and ammonical nitrogen levels. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)* 2011; 104: 171-179.
- Ram M., Prasad K., Singh S., Hada B. Kumar S. Influence of salicylic acid and methyl jasmonate elicitation on anthocyanin production in callus cultures of *Rosa hybrida* L. *Plant Cell Tissue Organ Culture* 2013; 3: 459-467.

- Ramata-Stunda A., Valkovska V., Boroduškis M., Livkiša D., Kaktiņa E., Silamiķele B., Rostoks N. Development of metabolic engineering approaches to regulate the content of total phenolics, antiradical activity and organic acids in callus cultures of the highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Agronomy Research* 2020; 18(S3): 1860-1872.
- Rein MJ. Copigmentation reactions and color stability of berry anthocyanins. University of Helsinki, Department of Applied Chemistry and Microbiology Academic Dissertation, page: 87, Helsinki, Finland, 2005.
- Rhim JW. Kinetics of thermal degradation of anthocyanin pigment solutions driven from red flower cabbage. *Food Science and Biotechnology* 2002; 11(4): 361-364.
- Russo A., La Fauci L., Acquaviva R., Campisi A., Raciti G., Scifo C., ... Galvano F. Ochratoxin A-induced DNA damage in human fibroblast: protective effect of cyanidin 3-O-β-D-glucoside. *The Journal of Nutritional Biochemistry* 2005; 16(1): 31-37.
- Sakamoto K., Iida K., Sawamura K. Effects of nutrients on anthocyanin production in cultured cells of *Aralia cordata*. *Phytochemistry* 1993; 33(2): 357-360.
- Sasse F., Knobloch KH., Berlin J. Induction of secondary metabolism in cell suspension cultures of *Catharanthus roseus*, *Nicotiana tabacum* and *Peganum harmala*. In *Plant tissue culture 1982: proceedings, 5th International Congress of Plant Tissue and Cell Culture held at Tokyo and Lake*, 11-16 July 1982, Yamanake, Japan, , Akio Fujiwara (Ed.). Tokyo.
- Sato K., Nakayama M., Shigeta JI. Culturing conditions affecting the production of anthocyanin in suspended cell cultures of strawberry. *Plant Science* 1996; 113(1): 91-98.
- Satoh Y., Ishihara K. Investigation of the antimicrobial activity of Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) extract against periodontopathic bacteria. *Journal of Oral Biosciences* 2020; 62(2): 169-174.
- Schaefer HM., McGraw K., Catoni C. *Journal compilation British Ecological Society, Functional Ecology* 2007; 22: 303-310.
- Schiozer AL., Barata LES. Stability of natural pigments and dyes. *Rev Fitos* 2007; 3(2): 6-23.
- Selig MJ., Celli GB., Tan C., La E., Mills E., Webley AD., ... Abbaspourrad A. High pressure processing of beet extract complexed with anionic polysaccharides enhances red color thermal stability at low pH. *Food Hydrocolloids* 2018; 80: 292-297.
- Shang Y., Venail J., Mackay S., Bailey PC, Schwinn KE., Jameson PE., Davies KM. The molecular basis for venation patterning of pigmentation and its effect on pollinator attraction in flowers of *Antirrhinum*. *New Phytologist* 2011, 189(2): 602-615.
- Sharif N., Khoshnoudi-Nia S., Jafari SM. Nano/microencapsulation of anthocyanins; a systematic review and meta-analysis. *Food Research International* 2020; 132: 109077.
- Siatka T. Production of anthocyanins in callus cultures of *Angelica archangelica*. *Natural Product Communications* 2018; 13(12): 1934578X1801301219.

- Sigurdson GT., Robbins RJ., Collins TM., Giusti MM. Evaluating the role of metal ions in the bathochromic and hyperchromic responses of cyanidin derivatives in acidic and alkaline pH. *Food Chemistry* 2016; 208: 26-34.
- Simões C., Bizarri CHB., da Silva Cordeiro L., de Castro TC., Coutada LCM., da Silva AJR., Albarello N. Mansur E. Anthocyanin production in callus cultures of *Cleome rosea*: modulation by culture conditions and characterization of pigments by means of HPLC-DAD/ESIMS. *Plant Physiology and Biochemistry* 2009; 47(10): 895-903.
- Skrovankova S., Sumczynski D., Mlcek J., Jurikova T., Sochor J. Bioactive compounds and antioxidant activity in different types of berries. *International Journal of Molecular Sciences* 2015; 16(10): 24673-24706.
- Skupień K., Oszmiański J., Kostrzewa-Nowak D., Tarasiuk J. *In vitro* antileukaemic activity of extracts from berry plant leaves against sensitive and multidrug resistant HL60 cells. *Cancer Letters* 2006; 236(2): 282-291.
- Soltani R., Hakimi M., Asgary S., Ghanadian M., Keshvari M., Sarrafzadegan N. Evaluation of the effects of *Vaccinium arctostaphylos* L. Fruit extract on serum lipids and hs-CRP levels and oxidative stress in adult patients with hyperlipidemia: a randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* 2014; Article ID 217451.
- Sreenivas VK., Jisha VN., Martin KP., Madhusoodanan PV. *Bridelia stipularis*: a new source for anthocyanin production *in vitro*. *Acta Physiologiae Plantarum* 2011; 33: 2051-2056.
- Steyn WJ., Holcroft DM., Wand SJE., Jacobs G. Anthocyanin degradation in detached pome fruit with reference to preharvest red color loss and pigmentation patterns of blushed and fully red pears. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 2004; 129(1): 13-19.
- Taha HS., Abd El-Rahman RA., Fathalla A., Abd-El-Kareem M., Aly UE. Successful application for enhancement and production of anthocyanin pigment from calli cultures of some ornamental plants. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 2008; 2: 1148-1156.
- Takahama U. Oxidation of vacuolar and apoplastic phenolic substrates by peroxidase: physiological significance of the oxidation reactions. *Phytochemistry Reviews* 2004; 3: 207-219.
- Tanveer H., Safdar A., Asi MR. Appraisal of an important flavonoid, quercetin, in callus cultures of *Citrullus colocynthis*. *International Journal of Agriculture and Biology* 2012; 14(4).
- Tarone AG., Cazarin CBB., Marostica Junior MR. Anthocyanins: new techniques and challenges in microencapsulation. *Food Research International* 2020; 133: 109092.
- Tarrahi R., Rezanejad F. Callogenesis and production of anthocyanin and chlorophyll in callus cultures of vegetative and floral explants in *Rosa gallica* and *Rosa hybrida* (Rosaceae). *Turkish Journal of Botany* 2013; 37(6): 1145-1154.
- Taylor LP., Grotewold E. Flavonoids as developmental regulators. *Current Opinion in Plant Biology* 2005; 8: 317-323.

- Terefe NS., Netzel GA., Netzel ME. Copigmentation with sinapic acid improves the stability of anthocyanins in highpressure-processed strawberry purees. *Journal of Chemistry* 2019; 3138608.
- Timberlake CF., Henry BS. Anthocyanins as natural food colorants. *Progress in Clinical and Biological Research* 1988; 280: 107-121.
- Tohge T. and Fernie AR. Leveraging natural variance towards enhanced understanding of phytochemical sunscreens. *Trends in Plant Science* 2017, 22(4): 308-315.
- Xie Y., Wang H., He Z. Recent advances in polyphenols improving vascular endothelial dysfunction induced by endogenous toxicity. *Journal of Applied Toxicology* 2021; 41(5): 701-712.
- Xu Z., Mahmood K., Rothstein SJ. ROS induces anthocyanin production via late biosynthetic genes and anthocyanin deficiency confers the hypersensitivity to ROS-generating stresses in *Arabidopsis*. *Plant and Cell Physiology* 2017; 58(8): 1364-1377.
- Van Uden W., Pras N., Malingré TM. On the improvement of the podophyllotoxin production by phenylpropanoid precursor feeding to cell cultures of *Podophyllum hexandrum* Royle. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 1990; 23: 217-224.
- Vermerris W., Nicholson R. Phenolic compound biochemistry, ISBN: 978-1-4020-5163-0, Netherlands, Springer 2006; 1-62.
- Wallace TC., Giusti MM. 1st Edition, Anthocyanins in health and disease. ISBN: 9780429067341, e-book, 2013; 368.
- Wang LS., Stoner GD. Anthocyanins and their role in cancer prevention. *Cancer Letters* 2008; 269(2): 281-290.
- Weidel E., Schantz M., Richling E. Anthocyanin contents in blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) juices and fruit drinks. *Fruit processing: Journal for the Fruit Processing and Juice Producing European And Overseas Industry* 2011; 21(3): 102-107.
- Wu X., Beecher GR., Holden JM., Haytowitz DB., Gebhardt SE., Prior RL. Concentrations of anthocyanins in common foods in the United States and estimation of normal consumption. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2006; 54(11): 4069-4075.
- Yağcı C., Toker MC., Toker G. Bitki doku kültürü yoluyla üretilen flavonoidler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* 2008; (1): 47-58.
- Yamakawa T., Kato S., Ishida K., Kodama T., Minoda Y. Production of anthocyanins by *Vitis* cells in suspension culture. *Agricultural and Biological Chemistry* 1983; 47(10): 2185-2191.
- Yamamoto Y., Kinoshita Y., Watanabe S., Yamada Y. Anthocyanin production in suspension cultures of high-producing cells of *Euphorbia millii*. *Agricultural and Biological Chemistry* 1989; 53(2): 417-423.
- Zahedzadeh F., Kakavand F., Mahna N. Effects of carbohydrate, light, nitrogen and magnesium on *in vitro* production of anthocyanin in apple. *International Journal of Biosciences* 2015; 6(5): 250-260.

- Zand RSR., Jenkins DJ., Diamandis EP. Flavonoids and steroid hormone-dependent cancers. *Journal of Chromatography B* 2002; 777(1-2): 219-232.
- Zhang Y., Butelli E., De Stefano R., Schoonbeek HJ., Magusin A., Pagliarani C., Martin C. Anthocyanins double the shelf life of tomatoes by delaying overripening and reducing susceptibility to gray mold. *Current Biology* 2013, 23: 1094-1100.
- Zhang Y., Butelli E., Martin C. Engineering anthocyanin biosynthesis in plants. *Current Opinion in Plant Biology* 2014; 19: 81-90.
- Zhao X., Zhang SS., Zhang XK., He F., Duan CQ. An effective method for the semi-preparative isolation of high-purity anthocyanin monomers from grape pomace. *Food chemistry* 2020; 310: 125830.
- Zheng HZ., Wei H., Guo SH., Yang X., Feng MX., Jin XQ., ... Meng JF. Nitrogen and phosphorus co-starvation inhibits anthocyanin synthesis in the callus of grape berry skin. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)* 2020; 142: 313-325.
- Zhong JJ., Xu GR., Yoshida T. Effects of initial sucrose concentration on excretion of anthocyanin pigments in suspended cultures of *Perilla frutescens* cells. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 1994; 10: 590-592.
- Zhou Y., Singh BR. Red light stimulates flowering and anthocyanin biosynthesis in American cranberry. *Plant Growth Regulation* 2002; 38: 165-171.