ISSN: 2687-3729

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Year (Yıl): 2025, **Volume** (Cilt):8, **Number** (Sayı): **3**

Dergi Sahibi / Owner

Prof. Dr. Turgay UZUN

Rektör

Sorumlu Müdür / Director

Prof. Dr. Hasan DEMİR

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

Baş Editör / Editor in Chief

Prof. Dr. Tugay AYAŞAN

Yardımcı Editorler / Associate Editors

Doç. Dr. Muhammed ORDU
Doç. Dr. Özge SÜFER
Dr. Öğretim Üyesi Aybüke LEBA

ISSN: 2687-3729

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. Çağdaş AKPINAR	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	cagdasakpinar@osmaniye.edu.tr
Prof. Dr. Mehmet BİLGİLİ	Çukurova Üniversitesi, ADANA	mbilgili@cu.edu.tr
Prof. Dr. İsa COŞKUN	Kırşehir Ahievran Üniversitesi, KIRŞEHİR	isa.coskun@ahievran.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. Hakan İNCİ	Bingöl Üniversitesi, BİNGÖL	hakaninci2565@hotmail.com
Prof. Dr. Murat KÖKSAL	Cumhuriyet Üniversitesi, SİVAS	mkoksal@cumhuriyet.edu.tr
Prof. Dr. Başak DOĞRU MERT	Adana Alpaslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, ADANA	bdogrumert@atu.edu.tr
Prof. Dr. Hüsniye Aka SAĞLIKER	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	hasagliker@osmaniye.edu.tr
Prof. Dr. Aslıhan SEZGİN	Amasya Üniversitesi, AMASYA	aslihan.sezgin@amasya.edu.tr
Prof. Dr. Bahri Devrim ÖZCAN	Çukurova Üniversitesi, ADANA	dozcan@cu.edu.tr
Prof. Dr. Esra UÇAR SÖZMEN	Cumhuriyet Üniversitesi, SİVAS	eucar@cumhuriyet.edu.tr
Doç. Dr. Behçet DÜNDAR	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	behcetdundar@osmaniye.edu.tr
Doç. Dr. Esra GÜRSOY	Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, AĞRI	egursoy@agri.edu.tr
Doç. Dr. Pembe SABANCIGİL ÖZDER	Doğu Akdeniz Üniversitesi, KKTC	pembe.sabancigil@emu.edu.tr
Doç. Dr. Behlül SEVİM	Aksaray Üniversitesi, AKSARAY	behluls68@gmail.com
Doç. Dr. Mustafa SEVİNDİK	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	mustafasevindik@osmaniye.edu.tr
Doç. Dr. Dilek TEKDAL	Mersin Üniversitesi, MERSİN	dilektekdal@mersin.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Hediye Kirli AKIN	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	hediyeakin@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Hayriye Serra ALTINOLUK	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, MUĞLA	serraltinoluk@mu.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Betül GIDIK	Bayburt Üniversitesi, BAYBURT	betulgidik@bayburt.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Sevda İNAN	Namık Kemal Üniversitesi, TEKİRDAĞ	sevdainan@nku.edu.tr
Dr. Mihaela SARACILA	National Research-Development Institute for Animal Biology and Nutrition, ROMANIA	mihaela.saracila@yahoo.com
Prof. Dr. Vincenzo TUFARELLİ	University of Bari Aldo Moro, ITALY	vincenzo.tufarelli@uniba.it

Alan Editörleri-Konu Editörleri/Subject Editors

Prof. Dr. Ertaç HÜRDOĞAN	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	ehurdogan@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	seydasahin@cumhuriyet.edu.tr
Doç. Dr. Nermin MERVE YALÇINKAYA	Çukurova Üniversitesi, ADANA	nbaykan@cu.edu.tr
Doç. Dr. Sadrettin YÜKSEL	Atatürk Üniversitesi, ERZURUM	sadrettin71@hotmail.com
Dr. Öğretim Üyesi Mansur Seymen SEĞMENOĞLU	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	mansurseymen@gmail.com

Dil Editörleri Language Editors

Doç. Dr. Pınar USTA EVCİ	Isparta Uygulamalı Bilimler Fakültesi, ISPARTA	pinarusta@isparta.edu.tr
Doç. Dr. Kushvar MAMEDOVA	Azerbaijan State Agricultural University, AZERBAİJAN	kgmammadova@gmail.com
Dr. Öğretim Üyesi Fatih ÜNAL BOZDAĞ	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	fatihbozdag@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Beste Gizem ÖZBEY	Ankara Üniversitesi, ANKARA	bozbey@ankara.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Pırıl TEKİN	Adana Alpaslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, ADANA	ptekin@atu.edu.tr

Yazım Editörleri-Spelling Editors

Prof. Dr. Demet ÖZKIR	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, NİĞDE	dozkir@ohu.edu.tr
Doç. Dr. Buse EMİRLER	Çukurova Üniversitesi, ADANA	bemirler@cu.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Dilek ŞENTÜRK DEMİREL	Dicle Üniversitesi, DİYARBAKIR	senturk@dicle.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Oğuzhan DER	Bandırma Onyedi 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 Nursel ÇÖL KESKİN	Selçuk Üniversitesi, KONYA	nurselcol@selcuk.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

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

Mizanpaj Editörleri-Layout Editors

Prof. Dr. Özen ÖZER	Kırklareli Üniversitesi, KIRKLARELİ	ozenozer@klu.edu.tr
Doç. Dr. Nehir TOKGÖZ	Sakarya Üniversitesi, SAKARYA	nehirtokgoz@sakarya.edu.tr
Doç. Dr. Hatice TÜRKTEN	Ondokuz Mayıs Üniversitesi, SAMSUN	hatice.turkten@omu.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Benian Pınar AKTEPE	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	benianaktepe@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Nuray İnan ÇANKIR	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	nurayinan@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim Gör. Burcu Sünbül AYHAN	Türk-Alman Üniversitesi, İSTANBUL	burcu.ayhan@tau.edu.tr
Ar. Gör. Esra Zeynep ŞENSOY	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	ezeynepsensoy@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 Orhan ERMETİN	Yozgat Bozok Üniversitesi, YOZGAT	orhan.ermetin@yobu.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Valiollah PALANGİ	Ege Üniversitesi, İZMİR	valiollah.palangi@ege.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	emriyecinar@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Cavidan GÜL VARIŞ	Adıyaman Üniversitesi, ADIYAMAN	cgul@adiyaman.edu.tr
Dr. Ar. Gör. Kadriye KURŞUN	Çukurova Üniversitesi, ADANA	kadriyehatipoglu01@gmail.com
Öğretim Gör. Tuba SAYGILI YILDIRIM	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	tubasaygiliyildirim@osmaniye.edu.tr

*Birden fazla rolü olan editörler, tek bir kısımda yazılmıştır

ISSN: 2687-3729

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 Üniversitesi, Osmaniye-TÜRKİYE

e-mail: tugayayasan@osmaniye.edu.tr

Web link: https://dergipark.org.tr/tr/pub/okufbed

ISSN: 2687-3729

The referees list (Hakem listesi)

Year 2025, Volume 8, Issue **3** list of referees is given below.
(2025 yılı, Cilt 8, Sayı ***3****'deki hakemlerin listesi aşağıda verilmiştir).*

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

Hakemler	**Kurum**
Prof. Dr. Hüseyin AKBULUT	Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı, AFYONKARAHİSAR
Prof. Dr. Hasan Altan AKKAN	Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Veteriner Fakültesi Klinik Bilimler Bölümü Veterinerlik İç Hastalıkları Anabilim Dalı, BURDUR
Prof. Dr. Levend COSKUNTUNA	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü Yemler Ve Hayvan Besleme Anabilim Dalı, TEKİRDAĞ
Prof. Dr. Serpil DEMİR DÜŞÜNCELİ	İnönü Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Anorganik Kimya Anabilim Dalı, MALATYA
Prof. Dr. Yakut GEVREKÇİ	Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü, İZMİR
Prof. Dr. Elif KAÇAR	Kocaeli Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Yüksek Enerji Ve Plazma Fiziği Anabilim Dalı, KOCAELİ
Prof. Dr. Köksal KARADAŞ	Iğdır Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü Tarım İşletmeciliği Anabilim Dalı, IĞDIR
Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN	İstanbul Gelişim Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü İnşaat Mühendisliği Pr. İSTANBUL
Prof. Dr. Yılmaz KILIÇASLAN	Mudanya Üniversitesi Mühendislik, Mimarlık Ve Tasarım Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Bilgisayar Mühendisliği Pr. Mudanya-BURSA
Prof. Dr. Muhammet KÖSE	Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü Anorganik Kimya Anabilim Dalı, KAHRAMANMARAŞ
Prof. Dr. Kadir ÖNK	Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Zootekni Ve Hayvan Besleme Bölümü Veterinerlik Zootekni Anabilim Dalı, KARS
Prof. Dr. Humar KAHRAMANLİ ÖRNEK	Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı, KONYA
Prof. Dr. Emel CEYHUN SABIR	Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Tekstil Teknolojisi Anabilim Dalı, ADANA
Prof. Dr. Rıdvan SARAÇOĞLU	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı, VAN
Prof. Dr. Alper YILDIRIM	Ankara Medipol Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, ANKARA

Prof. Dr. Burcu YILMAZ	Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Tekstil Boyama Ve Bitim İşlemleri Anabilim Dalı, İSTANBUL
Prof. Dr. Serhan URUŞ	Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü Anorganik Kimya Anabilim Dalı, KAHRAMANMARAŞ
Doç. Dr. Füsun AKGÜL	Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Moleküler Biyoloji Ve Genetik Bölümü Biyoteknoloji Anabilim Dalı, BURDUR
Doç. Dr. Suna AKKOL	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü Biyometri Ve Genetik Anabilim Dalı, VAN
Doç. Dr. Nil ARAS	Eskişehir Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı, ESKİŞEHİR
Doç. Dr. Vildan ATEŞ	Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi İşletme Fakültesi Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı, ANKARA
Doç. Dr. Nurcan ALKIŞ BAYHAN	Başkent Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Teknoloji Ve Bilgi Yönetimi Bölümü Teknoloji Ve Bilgi Yönetimi Pr. ANKARA
Doç. Dr. Sinan BAYRAM	Bayburt Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Tıbbi Hizmetler Ve Teknikler Bölümü Tıbbi Laboratuvar Teknikleri Pr. BAYBURT
Doç. Dr. Mehmet BÜYÜK	Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Elektrik Makinaları Anabilim Dalı, ADIYAMAN
Doç. Dr. Keziban SEÇKİN CODAL	Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi İşletme Fakültesi Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı, ANKARA
Doç. Dr. Şenol ÇELİK	Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü, BİNGÖL
Doç. Dr. Ekin EKİNCİ	Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, SAKARYA
Doç. Dr. Songül ERDOĞAN	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Klinik Bilimler Bölümü Veterinerlik İç Hastalıkları Anabilim Dalı, AYDIN
Doç. Dr. Sertaç GÖRGÜLÜ	Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı, BURDUR
Doç. Dr. Burak GÜLMEZ	Mudanya Üniversitesi Mühendislik, Mimarlık Ve Tasarım Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Endüstri Mühendisliği Pr. Mudanya-BURSA
Doç. Dr. Mehtap GÜNEY	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü Yemler Ve Hayvan Besleme Anabilim Dalı, VAN
Doç. Dr. Gülşah EKİN KARTAL	Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Tekstil Bilimleri Anabilim Dalı, İZMİR
Doç. Dr. Burçin TEZCANLI KAYMAZ	Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Temel Tıp Bilimleri Bölümü Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı, İZMİR
Doç. Dr. Esin KIRAY	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Tıbbi Hizmetler Ve Teknikler Bölümü Tıbbi Laboratuvar Teknikleri Pr. KIRŞEHİR
Doç. Dr. Mehmet KOÇ	Eskişehir Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Bilgisayar Bilimleri Anabilim Dalı, ESKİŞEHİR
Doç. Dr. Seyrani KONCAGÜL	Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü Hayvan Yetiştirme Anabilim Dalı, ANKARA

Doç. Dr. Büşra ÖZDENİZCİ KÖSE	Gebze Teknik Üniversitesi İşletme Fakültesi Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı, Gebze-KOCAELİ
Doç. Dr. Halil ÖZDEMİR	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Osmaniye Meslek Yüksekokulu Tekstil, Giyim, Ayakkabı Ve Deri Bölümü Tekstil Teknolojisi Pr. OSMANİYE
Doç. Dr. Tuğba PARLAR	Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Antakya Meslek Yüksekokulu Bilgisayar Teknolojileri Bölümü Bilgisayar Programcılığı Pr. ANTAKYA
Doç. Dr. Gökhan SEVİNÇ	Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Elektrik Ve Enerji Bölümü Alternatif Enerji Kaynakları Teknolojisi Pr. BİLECİK
Doç. Dr. Canan BATUR ŞAHİN	Malatya Turgut Özal Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Yazılım Mühendisliği Bölümü Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı, MALATYA
Doç. Dr. Selma TEKİR	İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, İZMİR
Doç. Dr. Serap TEPE	Sağlık Bilimleri Üniversitesi Hamidiye Sağlık Bilimleri Fakültesi Sosyal Hizmet Bölümü Sosyal Hizmet Anabilim Dalı, İSTANBUL
Doç. Dr. Güray TONGUÇ	Akdeniz Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü Bilişim Teknolojileri Anabilim Dalı, ANTALYA
Doç. Dr. Hümeyra BOLAKAR TOSUN	Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı, AKSARAY
Doç. Dr. Ahmet Engin TÜZÜN	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Koçarlı Meslek Yüksekokulu Bitkisel Ve Hayvansal Üretim Bölümü Organik Tarım Pr. AYDIN
Doç. Dr. Engin YARALI	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Çine Meslek Yüksekokulu Gıda İşleme Bölümü Gıda Teknolojisi Pr. AYDIN
Doç. Dr. Musa YAVUZ	Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü Yemler Ve Hayvan Besleme Anabilim Dalı, ISPARTA
Dr. Öğretim Üyesi Nazan KEMALOĞLU ALAGÖZ	Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Uluborlu Selahattin Karasoy Meslek Yüksekokulu Bilgisayar Teknolojileri Bölümü Bilişim Güvenliği Teknolojisi Pr. ISPARTA
Dr. Öğretim Üyesi Ezgi AVCI	Ankara Üniversitesi Yapay Zeka Enstitüsü Robotik Anabilim Dalı, ANKARA
Dr. Öğretim Üyesi Demet ÇANGA BOĞA	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı, NİĞDE
Dr. Öğretim Üyesi Zeynep ÖZMEN BOL	Düzce Üniversitesi Gümüşova Meslek Yüksekokulu Mülkiyet Koruma Ve Güvenlik Bölümü İş Sağlığı Ve Güvenliği Pr. DÜZCE
Dr. Öğretim Üyesi Serenay ÇALIŞ	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Niğde Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Mülkiyet Koruma Ve Güvenlik Bölümü İş Sağlığı Ve Güvenliği Pr. NİĞDE
Dr. Öğretim Üyesi Orhan ERMETİN	Yozgat Bozok Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü Hayvan Yetiştirme Ve Islahı Anabilim Dalı, YOZGAT
Dr. Öğretim Üyesi Seda ERMİŞ	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Elektromanyetik Alanlar Ve Mikrodalga Tekniği Anabilim Dalı, OSMANİYE
Dr. Öğretim Üyesi Zeynep Feride OLCAY	İstanbul Aydın Üniversitesi Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Mülkiyet Koruma Ve Güvenlik Bölümü İş Sağlığı Ve Güvenliği Pr. İSTANBUL
Dr. Öğretim Üyesi Hüseyin Ali SARIKAYA	Mudanya Üniversitesi Mühendislik, Mimarlık Ve Tasarım Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Endüstri Mühendisliği Pr. Mudanya-BURSA
Dr. Öğretim Üyesi İclal ÇETİN TAŞ	Başkent Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Bilgisayar Mühendisliği Pr. ANKARA
Dr. Öğretim Üyesi Derya ÇEVİK	Gaziantep Üniversitesi Oğuzeli Meslek Yüksekokulu Yönetim Ve

TAŞDEMİR	Organizasyon Bölümü İşletme Yönetimi Pr. GAZİANTEP
Dr. Tuğçe KAYA	Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü Tarım Politikası Ve Yayım Anabilim Dalı, ADANA
Dr. Hilal YILMAZ	Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, ADANA

ISSN: 2687-3729

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

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Year (Yıl): 2025, **Volume** (Cilt):8, **Number** (Sayı): **3**

CONTENTS (İçindekiler)

RESEARCH ARTICLES (ARAŞTIRMA MAKALELERİ)	**Sayfalar**
Fatma ATLI, Çağrı KANDEMİR, Turgay TAŞKIN, Sezgin ŞENTÜRK **Change of Diseases in Semi-Intensively Raised Saanen Goats by Year in İzmir** *Entansif Yetiştirilen Saanen Keçilerinde Yıllara Göre Hastalıkların Değişimi*	1000-1008
Izzet GÜZELKARA, Veli Tayfun KILIC **Bandwidth Optimization of an Ultra Wide Band Vivaldi Antenna Design with Its Feed Alignment** *Ultra Geniş Bant Vivaldi Anten Tasarımında Besleme Hattının Hizalanması ile Bant Genişliği Optimizasyonu*	1009-1023
Caner KARA, Ecir Uğur KÜÇÜKSİLLE, Nazan KEMALOĞLU ALAGÖZ **Analysis of Turkish Academic Papers in Computer Science Using Natural Language Processing Techniques** *Bilgisayar Bilimleri Alanındaki Türkçe Akademik Makalelerin Doğal Dil İşleme Teknikleri Kullanılarak Analizi*	1024-1041
Tolga DEMİRHAN **Öğrenci Başarısı Tahmininde Scikit-Learn Kullanımı** *Using Scikit-Learn in Student Achievement Prediction*	1042-1060
Soner ÖZEN **Akdağmadeni Restoran İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Aydınlanma Düzeylerinin Ölçülmesi** *Measurement of Illumination Levels in Terms of Occupational Health and Safety in Akdağmadeni Restaurant Enterprises*	1061-1073
Işıl TULUM **Analysis of *Mycoplasma pneumoniae* Protein-Protein Interactions by Yeast Two-Hybrid Method** *Mycoplasma pneumoniae Protein-Protein Etkileşimlerinin Maya İkili-Hibrid Yöntemi ile Analizi*	1074-1088
Esra Tuğçe GÜL, Behlül SEVİM **Determination of Alfalfa Silage Quality with Different Levels of Corn Flakes Addition** *Farklı Seviyelerde Mısır Flake İlavesinin Yonca Silaj Kalitesine Etkilerinin Belirlenmesi*	1089-1099

Aslı ÖRGERİM, Tuğba TUNÇ ABUBAKAR, Mahmut TOKMAK **Performance Comparison of Neural Networks: A Case of Data Scientists' Job Change Prediction** *Sinir Ağlarının Performans Karşılaştırması: Veri Bilimcilerinin İş Değişikliği Tahmini Örneği*	1100-1119
İsmail GÖK, Mustafa ŞAHİN **Türkiye'de Tavuk Eti Üretiminin Genel Durumu ve Üretim Projeksiyonu** *General Situation and Production Projection of Chicken Meat Production in Türkiye*	1120-1128
Efdal ÇİMEN, Kenan GÖREN, Veysel TAHİROĞLU, Ümit YILDIKO **1-(1-(4-hidroksibütil)-6-metil-4-fenil-2-tioksoheksahidropirimidin-5-il)etan-1-on Bileşiğinin Moleküler Doking, ADME Analiz ve DFT Yöntemi ile Teorik Hesaplamalar** *The Theoretical Calculations by DFT Method and Analysis ADME, Molecular Docking of 1-(1-(4-hydroxybutyl)-6-methyl-4-phenyl-2-thioxohexahydropyrimidin-5-yl)ethan-1-one (pyrimidine-thiones) Compound*	1129-1145
Şule ERYÜRÜK **Bir Tarım Makineleri Üreticisi için SARIMA Modeli ile Tahminleme** *Forecasting with SARIMA Model for an Agricultural Machinery Manufacturer*	1146-1168
Alper GÜVEN, Murat ÇİMEN **Milk Production Curves Obtained from Cows Raised in Türkiye According to Years and Determination of Production Differences with the Help of Cluster Analysis and Friedman Test** *Türkiye'de Yetiştirilen İneklerden Elde Edilen Süt Verimi Eğrilerinin Yıllara Göre İncelenmesi ve Kümeleme Analizi ve Friedman Testi Yardımıyla Üretim Farklılıklarının Belirlenmesi*	1169-1186
Navruz ÜDÜRGÜCÜ, Onur BALCI, Burcu SANCAR BEŞEN **Improvement A Sustainable Pretreatment Process Including Enzymatic Treatment and Ozone Bleaching for The Jigger Machine** *Jıgger Makinesi İçin Enzimatik ve Ozon Ağartma İşlemleri İçeren Sürdürülebilir Ön Terbiye Prosesi Geliştirilmesi*	1187-1209
Özlem İŞCAN **Bazı Organik ve İnorganik Bileşiklerin Entos-Envision Yazılımıyla Kuantum Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi** *Quantum Chemical Investigation of Selected Organic and Inorganic Compounds via Entos-Envision Software*	1210-1226
Yavuzkan PAKSOY, Özlem GÜCÜYENER HACAN, Nazan KOLUMAN **Binicilik Tesislerinin Düzenlenmesi, Konforu ve Çalışma Koşulları** *Arrangement, Comfort and Working Conditions of Equestrian Facilities*	1227-1239
Semih DEMİREL, Azer ÇELİKTEN, Andaç AKPULAT, Kerem DEMİR, Ece BİNGÖL, İdris GÜLTEKİN, Abdulkadir BUDAK, Hakan KARATAŞ **Real-Time Polyp Detection: A Speed and Performance Analysis of Yolov5 and Yolov6** *Gerçek Zamanlı Polip Tespiti: Yolov5 ve Yolov6'nın Hız ve Performans Analizi*	1240-1257
Sıla SEZGİN, Ahmet YÖNETKEN, Tolga ÖZER **Güneş Panellerinde Gölgelenme Durumunda Maksimum Güç Noktası ile Verim Arttırımı** *Maximum Power Point Tracking Analysis in Case of Shading in Solar Panels*	1258-1277
Tacettin GEÇKİL, Talha SARICI, Bahadır KARABAŞ **Metakaolin ile Stabilize Edilen Yol Taban Zeminlerinin Donma-Çözülme Direncinin Araştırılması** *Investigation of the Freeze-Thaw Resistance of Road Subgrade Soils Stabilized Using Metakaolin*	1278-1300
Burcu KÜLEY AĞIR, Ercan EFE **Survival and Cox Regression Analysis: An Application in Animal Science** *Sağkalım ve Cox Regresyon Analizi: Hayvancılık Alanında Bir Uygulama*	1301-1313

Aleyna TAŞKIN, Elif IŞIK, Mahmut Can ŞENEL **Al7075-B_4C Kompozitlerin Tribolojik Özelliklerinin ve Mikroyapısının İncelenmesi** *Investigation of Tribological Properties and Microstructure of Al7075-B_4C Composites*	1314-1332
İbrahim BULDUK, Erten AKBEL, Serdar GÜNGÖR, Süleyman GÖKÇE **Development and Validation of A Green HPLC Method for Determination of Empagliflozin in Pharmaceutical Products** *Farmasötik Ürünlerde Empagliflozin Tayini İçin Yeşil bir HPLC Yönteminin Geliştirilmesi ve Validasyonu*	1333-1352
Tuğçe DEMİRDELEN, Sefa KIRMIZI **Performance Evaluation of WireGuard and IPSec Protocols in Various Network Configurations** *WireGuard ve IPSec Protokollerinin Çeşitli Ağ Konfigürasyonlarında Performans Değerlendirmesi*	1353-1369
M. Alev ATEŞ, Pelin ACAR, Seher KARAMAN **A RAPD-Based Exploration of Genetic Variation in the Some taxa of *Astragalus* L. Genus: Implications for Conservation and Taxonomy** *Astragalus L. Cinsinin Bazı Taksonlarındaki Genetik Çeşitliliğin RAPD Tekniği ile Araştırılması: Koruma ve Taksonomiye Yönelik Çıkarımlar*	1370-1383
Özlem ÖZER ALTUNDAĞ **Cinsiyet ve Antropometrik Ölçümlerin Hedonik Açlık Belirteci Olan Besin Gücüne Etkisi** *The Effect of Food Power on Hedonıc Hunger and Anthropometrıc Measurements by Gender*	1384-1404
Onur ŞAHİN, Rıdvan YAYLA **Metin Özetleme ve Benzerlik Analizi Üzerine Prototip Bir Çalışma: Google Scholar Örneği** *A Prototype Study on Text Summarization and Similarity Analysis: Google Scholar Example*	1405-1426
Osman HANSU, Aydın OĞUZ **Seismic Risk, Structural Vulnerabilities, and Retrofitting Solutions: Lessons from the 2023 Kahramanmaraş Earthquake** *Sismik Risk, Yapısal Zafiyetler ve Güçlendirme Çözümleri: 2023 Kahramanmaraş Depreminden Çıkarılan Dersler*	1427-1452
Halil İbrahim KAYA **Isolation and Identification of Bacteriocin Producers from Bayburt Local Fermented Dairy and Characterization of Bacteriocins** *Bayburt Yöresel Fermente Süt Ürünlerinden Bakteriyosin Üreticilerinin İzolasyonu, Tanımlanması ve Bakteriyosinlerin Karakterizasyonu*	1453-1463
Filiz AYGÜN ERTÜRK, Eren SUYABATMAZ **Ağır Metal Stresi Altındaki Buğday Bitkisinde Kurkuminin Antioksidan Enzim Profiline Etkisi** *Effect of Curcumin on Antioxidant Enzyme Profile in Wheat Plants Under Heavy Metal Stress*	1464-1477
REVIEWS	
İlknur GÜÇ **Mitokondrinin İşlevsel Rolleri** *Functional Roles of Mitochondria*	1478-1487
Mehmet Akif BUZPINAR **Fall Detection and Prevention Systems: Sensor Type Perspective** *Sensör Tipleri Perspektifinden: Düşme Algılama ve Önleme Sistemleri*	1488-1524

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1000-1008, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1000-1008, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Change of Diseases in Semi-Intensively Raised Saanen Goats by Year in İzmir

Fatma ATLI[1]*, Çağrı KANDEMİR[2], Turgay TAŞKIN[3], Sezgin ŞENTÜRK[4]

[1,2,3]Ege University Faculty of Agriculture, Department of Animal Science, Bornova-İzmir

[4]Bursa Uludag University Faculty of Veterinary, Department of Internal Medicine, Nilüfer-Bursa

[1]https://orcid.org/0000-0001-6536-5594
[2]https://orcid.org/0000-0001-7378-6962
[3]https://orcid.org/0000-0001-8528-9760
[4]https://orcid.org/0000-0002-2465-9913
*Corresponding author: atli.fatma@ege.edu.tr

Research Article

Article History:
Received: 22.10.2024
Accepted: 03.02.2025
Published online: 16.06.2025

Keywords:
Saanen goat
Health-protection
Bacterial and viral disease
Preventive medicine

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the prevalence of important infectious and metabolic diseases in goats kept on a farm from 2019 to 2022, as well as the data acquired from the implementation of prophylactic strategies to mitigate these diseases. The study included animals of various ages and genders from the breeding Saanen herd, which is kept in a private enterprise in Izmir. The most common disease in this herd is toxoplasmosis (20.2%), which is followed by pneumonia (19.1%) and border disease (9.52%). However, following the introduction of appropriate immunization and biosecurity protocols, the pneumonia incidence rate dropped dramatically (to 3.57%) the next year. It has been found that the year that the cat population grows is when toxoplasmosis peaks (2022). Pregnancy toxaemia, a metabolic disease with a modest prevalence (1.06-3.44%) in all years except 2022, is another important concern. Except for the flea problem (5.31%) in 2021, no cases were encountered in other years. Preventive strategies have been observed to have a consistent downward trend in the incidence of pregnancy toxaemia, enteritis, and mastitis throughout time. According to this study, biosecurity, preventative, and protective veterinary care can significantly help to uphold timely and regular medical procedures, reduce expenses, and boost output and milk quality.

İzmir'de Entansif Yetiştirilen Saanen Keçilerinde Yıllara Göre Hastalıkların Değişimi

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 22.10.2024
Kabul tarihi:03.02.2025
Online Yayınlanma: 16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Saanen keçi
Sağlık koruma
Bakteriyel ve viral hastalık
Koruyucu hekimlik

ÖZ

Bu çalışmada, 2019-2022 yılları arasında bir çiftlikte yetiştirilen keçilerde saptanan önemli enfektif ve metabolik hastalıkların dağılımı ile bunlara karşı uygulanan koruyucu tedbirler sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın materyalini, İzmir'de özel bir işletmede bulunan, farklı yaş ve cinsiyetteki damızlık Saanen sürüsü oluşturmuştur. Bu sürüde en yaygın görülen hastalık toksoplazmoz (%20,2) olup, bunu pnömoni (%19,1) ve sınır hastalığı (%9,52) takip etmektedir. Aşılama ve biyogüvenlik protokollerinin uygulamaya konmasının ardından, pnömoni görülme oranı bir sonraki yıl önemli ölçüde (%3,57'ye) düşmüştür. Kedi popülasyonunun arttığı yılın toksoplazmozun zirve yaptığı yıl (2022) olduğu tespit edilmiştir. 2022 hariç tüm yıllarda orta düzeyde bir prevalansa sahip (%1,06-3,44) bir metabolik hastalık olan gebelik toksemisi de bir diğer

önemli sorundur. 2021 yılındaki pire sorunu (%5,31) dışında diğer yıllarda herhangi bir vakaya rastlanmamıştır. Uygulanan koruyucu tedbirler doğrultusunda gebelik toksemisi, enteritis ve mastitisin yıllar içinde görülme oranının giderek azaldığı gözlenmiştir. Bu çalışma ile; biyogüvenlik, koruyucu ve önleyici veterinerlik hizmetlerinin hekimlik uygulamalarının düzenli ve zamanında sürdürülmesine, maliyetlerin en aza indirilmesine, üretkenliğin ve süt kalitesinin artmasına önemli katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

To Cite: Atli F., Kandemir Ç., Taşkın T., Şentürk S. Change of Diseases in Semi-Intensively Raised Saanen Goats by Year in İzmir. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1000-1008.

1. Introduction

In poorly managed goat herds, infective diseases such as Caprine Arthritis Encephalitis (CAE), Ecthyma, Akabane, Enterotoxemia, Pseudotuberculosis, Paratuberculosis, Brucella, Leptospirosis, Pasteurella, Contagious caprine pleuropneumonia, Q fever and cestode, trematode nematode invasions, fleas, lice, scabies, ticks, arthropod infestations such as these can be seen very commonly (Senturk, 2012; Reddy et al., 2014). A significant issue for the farm is the occurrences of pneumonia and diarrhoea in kids that result in death and serious infection (Gupta et al., 2023). *Escherichia coli*, Rotavirus, Coronavirus, and other *Cryptosporidium* species have been implicated as the cause of diarrheal diseases in neonates (Senturk, 2017).

Because they result in large financial losses, diseases that affect small ruminants and cause lifelong respiratory issues, weakness, mastitis, abortion, morbidity, and mortality have garnered international attention (Annen et al., 2004; Akkaya et al., 2020). Farm animal herd health is desirable because it ensures the animals' survival and intended purpose. Companies' profitability will also rise if they reach the targeted efficiency level (Leitner et al., 2004; Gökdai et al., 2020).

This study aims to examine the distribution of significant metabolic and infective diseases diagnosed in goats on the farm between 2019 and 2022 and the data gathered due to the preventative measures implemented against them.

2. Material and Method

2.1. Material

The research material includes Saanen goats of different ages and genders from a private farm in Izmir. Since the study utilized the health-protection records of Saanen goats on a farm, an ethics committee document was not required. The company is situated in the Menemen district of Izmir province. The company employs a semi-intensive production approach and has a 200-head capacity. However, an average of 100 animals were studied (Table 1). Births happen once a year, whilst matings take place at the group level. The natural rearing method is used to raise goats, and after an average of 60 days, they are weaned. The weaned kids are given the enterprise's feed resources and some concentrated feed until the fourth month, which is the marketing age, and are sold alive at that point if there is a demand. Depending on the weather, goats are fed a pasture-based diet from 10:00 am to 17:00 in the winter and are given night grazing in the spring and summer Milking is a manual process.

Regular disease vaccinations and internal and exterior parasite management are conducted by a private veterinarian and the District Directorate of Agriculture.

Table 1. Distribution of animals in the farm by years

Years	n	Female	Male
2019	110	76	34
2020	90	72	18
2021	94	72	22
2022	84	73	11

In 2019, 2020, and 2021, the herd was introduced into the buck, but, artificial insemination was applied in 2022. The animals that returned from artificial insemination were injected with the buck.

2.2. Animal Nutrition

All milking goats were given 0.8 kg of pellet feed, 2.0 kg of corn silage, 0.2 kg of wheat straw and 0.6 kg of dry alfalfa hay as a ration. In raising offspring, the dam was with her for the first 3 days and was fed with formula for the next two months. Grazing: It was done every day, twice a day, for 2 hours. During milking, the animals were fed individually according to their milk yield.

2.3. Disease Management and Health-Protection Practices

Sick animals in the enterprise were detected and grouped according to the affected system for diseases in 2019, 2020, 2021, and 2022. A thorough anamnesis and standard clinical examination led to the clinical diagnosis of the afflicted animals. Samples of tissue were obtained from animals that had enteritis and died. In cases of toxoplasmosis, the animals were promptly isolated from the herd to stop the animals' vaginal discharge from spreading to the herd and the toxoplasma agent was found in the blood samples obtained. To evaluate border disease (BDV) antigens, rapid test kits, blood serological test analysis and histopathological staining of the brain and cerebellum were performed on kids with convulsions and dam who had stillbirth/sick birth. After Border Disease, the Bovine Viral Diarrhoea (BVD) vaccine (Hiprabovis®) was administered to the herd once at half dose, and the same vaccine was repeated to the entire herd the following year. Immunochromatographic rapid field test kits (Antigen Rapid, BoviD-4 Ag test Kit, Bionote Inc, Korea) were used to detect *Cryptosporidium*, Rotavirus, Coronavirus, and *E. coli* K 99 antigens for the etiologic diagnosis of neonatal diarrhoea in goats. The herd received a yearly booster shot of the *E. coli* and *Clostridium perfringens type C* (VBR K-99+C®) vaccination to prevent diarrhoea from enteritis and enterotoxemia. Goats with pregnant toxaemia had their blood serum tested to detect the Betahydroxybutyric acid (BHB) values. BHB levels detected (STAT Site® M Spotted with Stanbio, EKF Diagnostics Company, Texas, USA).

In pneumonia cases in the 0-6 month age group, vaccination was not administered because *Pasteurella pneumonia* was not detected in the first years. However, after the disease was detected for the first

time in 2021, regarding the care, feeding and vaccination of the entire herd for protection purposes; those showing clinical signs were removed from the herd and placed in individual pens. Hay, alfalfa hay, and kid growth feed were provided to them along with clean water. Care was taken to ensure that the roughage did not contain large pieces with sharp edges. As vaccination, 2 doses of Pastomix® vaccine were applied to the whole herd, at 3-week intervals, and in the following years, the same vaccine was repeated to the entire herd, once a year. When mastitis cases were seen in 2019, the California Mastitis Test (CMT) solution was used for diagnosis. In addition, the milk samples were screened for agents and *Staphylococci* and *Streptococci* were detected. As vaccination, the Vimco® vaccine was administered to all dairy goats every year, in 2 doses, at 3-week intervals during the middle period of pregnancy. Histopathological evaluation was made with a sample taken from breast tissue in gangrenous mastitis. Vaccinations applied to the herd in question throughout the year: Enterotoxemia, Foot and Mouth, Pasteurella, Plague, Smallpox, Brucella, Contagious caprine pleuropneumonia, Pseudotuberkylosis, Agalaxia, Mastitis, *E.Coli-Cl.perfringens* vaccine. Although the vaccine was administered throughout the year, these vaccinations were repeated for the entire herd if the disease was observed. Goat diseases, signs and symptoms, precautions to take, etc. each animal's process was documented separately from 2019 to 2022. Since data were recorded with the number of sick animals, recurrent diseases were reported as the number of incidents in the study. Control of parasites, both internal and external, was also done. The farm doesn't have a footbathing, but the herd doesn't have any foot issues.

2.4. Statistical Analysis

This study is a scenario assessment based on the health protection records of Saanen goats raised in the faculty practice unit between 2019 and 2022. This led to only a cursory evaluation of the farm's animal health. Using SPSS 22, a frequency table of illnesses that surfaced during the process was created. The data were briefly presented in a table without accounting for the main factors, such as age, birth type, and year.

3. Results

The diseases seen in the herd between 2019 and 2022 are grouped under two headings: infective and metabolic and summarized in Table 2. While only the case of Pregnancy Toxaemia is seen among metabolic diseases, infective diseases are discussed under four subheadings (bacterial, viral, protozoal and parasitic).

Table 2. Diseases observed in the herd

Infective Diseases	Metabolic Diseases
Bacterial factors*:** -Pasteurella pneumonia, -*E.coli* enteritis, -Mastitis, -Gangrenous mastitis, -Enterotoxemia ***Viral factors: -*Rota-corona* enteritis, -Border disease ***Protozoal factors:*** -Cryptosporidiosis, -Coccidiosis, -Toxoplasmosis, ***Parasitic factors:*** -Scabies-flea infestation	-Pregnancy toxaemia and/or ketosis

The frequency values of the diseases observed in goats on the farm in the study are given in Table 3. As seen in Table 3, protozoal diseases (48%) and bacterial diseases (28.4%) were seen more in the herd than other diseases. Metabolic diseases were detected the least in the herd (5.9%).

Table 3. Frequency table of diseased animals in the farm according to groups

	Status	**n**	**%**
Bacterial diseases	Non-disease	73	71.6
	Disease	29	28.4
	Total	**102**	**100.0**
		n	%
Viral diseases	Non-disease	94	92.2
	Disease	8	7.8
	Total	**102**	**100.0**
		n	%
Protozoal disease	Non-disease	53	52.0
	Disease	49	48.0
	Total	**102**	**100.0**
		n	%
Metabolic diseases	Non-disease	96	94.1
	Disease	6	5.9
	Total	**102**	**100.0**

In the study, respiratory, digestive, nervous system, etc. The incidence rate of diseases in the herd (%) is given in Table 4. The rate of respiratory system diseases varies between 1.11% and 19.1% over the years, and the most was detected in 2021 (19.1%). Digestive diseases were seen at least in 2022, with 2.3%. Nervous system diseases were determined with a rate of 9.52% only in 2022. In other years, there is no disease. Mastitis and gangrenous mastitis cases are respectively, It was determined at a rate of 5.73% (2019) and 2.22% (2020). Pregnancy toxaemia is seen in all years, and this rate varies between 1.06% and 3.44%. It is noteworthy that the incidence of toxoplasmosis and scabies will have the highest value in 2022 at 20.2%.

Table 4. Number of cases observed by year and the ratio of the number of affected animals to the whole herd (%)

Diseases	Incidence rate in 2019 (%)	Incidence rate in 2020 (%)	Incidence rate in 2021 (%)	Incidence rate in 2022 (%)
Respiratory system diseases	1.14	1.11	19.1	3.57
Digestive system diseases	8.02	6.63	6.36	-
Nervous system disease	-	-	-	9.52
Mastitis, gangrenous mastitis	5.73	2.22	-	-
Genital system disease	-	-	3.2	20.2
Pregnancy toxaemia	3.44	2.22	1.06	-

The distribution of diseases by year and age is given in Table 5. While pneumonia, *E. Coli* enteritis and Mastitis were observed in animals of different ages in 2019 and 2020, viral diarrhoea was not observed in 2019. 8 Border disease cases in 2022 attract attention. A similar situation applies to Toxoplasmosis disease (4 cases in 2021; 17 cases in 2022). Except for 2021, there haven't been many flea or scabies issues on the farms. In every year, coccidiosis has been a significant issue.

Table 5. Distribution of diseases by year and age

Disease	Age Range	Year 2019 (n:110)	Year 2020 (n:90)	Year 2021 (n: 94)	Year 2022 (n: 84)
Pneumonia	0-6-month-old kids	1	1	18	3
E. Coli enteritis	0-2-month-old kids	1	-	1	-
Mastitis	Milking goat in 3rd-4th lact.	2	1	-	-
Gangrenous Mastitis	4-5. lactating dairy goat	3	1	-	-
Viral diarrhea (route-corona)	0-1 month-old kids	-	1	2	-
Border disease	Pregnant goats, newborn kids	-	-	-	8
Toxoplasmosis	Pregnant goats, newborn kids	-	-	4	17
Cryptosporidium	0-1 month-old kids	4	3	1	-
Coccidiosis	0-3 month-old kids	2	2	2	-
Scabies/fleas	0-6-month-old kids	-	-	5	-
Pregnancy toxaemia	3-4. lactating goats (pregnant triplets)	3	2	1	-

4. Discussion

Infective and metabolic diseases are common in goats and cause significant economic losses (Valadan et al., 2014). *Pasteurella Pneumonia* is one of the diseases commonly observed all over the world

(Kasap et al., 2018). It was also observed intensively in this herd in 2021. After this disease was seen at a rate of 19.1%, it was taken under control with a regular vaccination program, and by 2022, the incidence of the disease was observed to decrease to 3.57% (Table 4). Since Border Disease, which is an important viral agent in sheep and goats all over the world, does not have a known vaccine or treatment, the incidence of the disease has decreased significantly after the Bovine Viral Diarrhoea (Hiprabovis®) vaccination was administered to the entire herd for protection in the year it was observed in the herd (Table 5) (Akkaya et al., 2022). The scarcity of mastitis cases on the farm in recent years has attracted attention (Table 5). This shows that vaccinations for mastitis are beneficial (Leitner et al., 2004; Yesilmen et al., 2017).

Because ruminants have the lowest levels of immunoglobulin transfer during pregnancy, their offspring are hypogammaglobulinemic at birth, meaning they lack an adequate immune system to defend them against infectious pathogens (Batmaz, 2015). After birth, kids should consume five to six percent of their body weight in colostrum. High-quality colostrum should be yellow-cream and have a dense, sticky consistency (Kasap et al., 2018). Rotavirus, coronavirus and *E. coli* are the most common infections that cause diarrhoea in newborn goats. Goats immunized against these bacteria during the dry period will generate colostrum that is high in antibodies (Senturk, 2012). Furthermore, vaccinations against several diseases, Pasteurellosis, and *Clostridium spp*. can produce high immunoglobulin concentrations in colostrum, allowing young goats to survive the neonatal period and even the first three weeks of life. It was found that the herd in question had virtually no cases of rota-corona diarrhoea or *E. Coli* enteritis (Table 5). This is believed to be caused by the regular injections of enterotoxemia (VBR Colimix 9®) and *E. coli-Clostridium* (VBR K-99®) vaccinations during the goats' pregnancies (Akkaya et al., 2021). Focusing on nutrition during the dry phase can enhance the quality of colostrum, raise its antibody content, and benefit the dam’s health. It has been shown that vaccinations given to all pregnant animals in the last months of pregnancy increase the quality of colostrum (Sentürk, 2017). Additionally, the importance of care and maintenance conditions was emphasized. While *Cryptosporidium* cases were observed at a rate of 4.59% in 2019, it was determined that this disease was not observed at all in 2022. (Table 5). For Cryptosporidiosis and Coccidiosis; like other researchers, the shelter was disinfected by paying attention to hygiene conditions (Ruiz et al., 2012, Paul et al., 2014). The key to effective management of toxoplasmosis is rapid and accurate diagnosis of the disease (Liu et al., 2015). The year in which Toxoplasmosis disease, which progresses with abortion, is most common is 2022, and it is thought that the disease is due to the increase in the cat population on the farm (Awais, 2014). Until that year, the number of cats was normal, but the cat population suddenly increased due to both foreign cats being released near the area and multiple births of cats. By neutering the cats and removing them from that area, a possible cat population was prevented, and the positive animals were excluded from the herd and, the disease was taken under control. To prevent pregnancy toxaemia in goats, it is important to carry out proper feeding, care and nutrition (Kasap et al., 2018). It was determined that the pregnancy toxaemia

observed in the enterprise in 2019 decreased or even did not occur at all by 2022 (Table 4). It is thought that Pregnancy Toxemia can be prevented with proper care and nutrition in twin and triple pregnancies (Simpson et al., 2019). In conclusion, there has been a significant decrease in the disease distribution of animals over the years. Care, food, cleanliness, and prompt immunization against associated diseases are the main causes of these declines.

5. Conclusion

Reduced average milk production and higher veterinary and medical expenses are the outcomes of a herd disease. The animal might eventually be taken out of the herd as a result of this, which would lower revenue. Stated differently, the expenses incurred by the herd to maintain animal health are far less than those associated with medication and medical care. Maintaining therapeutic and preventive veterinarian care on a regular and timely basis can significantly reduce expenses while boosting output and milk quality. Animals that test positive for diseases such as toxoplasmosis and border disease, for which there is currently no vaccination, can be removed from the herd and, selection can be made.

Conflict of Interest Statement

The authors and contributors of the article affirm that we have no conflicts of interest.

References

Annen EL., Collier RJ., McGuire MA., Vicini JL., Ballam JM, Lormore MJ. Effect of modified dry period lengths and bovine somatotropin on yield and composition of milk from dairy cows. Journal of Dairy Science 2004; 87: 3746-3761.

Akkaya F., Kandemir Ç., Taşkın T. Koyun ve keçi yetiştiriciliğinde uygulanan aşılar. Hayvansal Üretim 2021; 62(2): 157-170.

Akkaya F., Senturk S., Mecitoğlu Z., Kasap S., Ertunc S., Kandemir C. Evaluation of metabolic profiles of Saanen goats in the transition period. Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society 2020; 71(2): 2127-2134.

Akkaya F., Evci FZ., Küpeli ZA., Kandemir Ç., Taşkın T., Koşum N. Border disease in a lamb: A Case Report. Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society 2022; 73(4): 5083-5088.

Awais MA., Ahmed A., Muhammad M., Muhammad A., Saleemi K., Ashraf K., Hiszczynska-Sawicka E. Seroprevalence of toxoplasma gondii in the Backyard chickens of the rural areas of Faisalabad Punjab Pakistan. International Journal of Agriculture and Biology 2014; 16. [Google Scholar]

Batmaz H. Calves health and management. 1st ed., Alfa Aktuel, Bursa, Turkey, 2015.

Gökdai A., Sakarya E., Contiero B., Gottardo F. Milking characteristics, hygiene and management practices in Saanen goat farms: A case of Canakkale province, Turkey. Italian Journal of Animal Science 2020; 19(1): 213-221.

Gupta RK., Niyogi D., Joshi RK., Yadav V., Singh S., Singh JP., Jaiswal S., Mishra A. Pathomorphological alterations in the intestine of goats infected with E. coli and rotavirus in eastern plain zone of Uttar Pradesh. Journal of Experimental Zoology India 2023; 26(2).

Kasap S., Temızel EM., Akgul G., Senturk S. Practical field applications for reducing infectious diseases of 0-6 months calves and their results. Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi 2018; 7(1): 102-110.

Leitner G., Merin U., Silanikove N. Changes in milk composition as affected by subclinical mastitis in goats. Journal of Dairy Science 2004; 87(6): 1719-1726.

Liu Q., Wang ZD., Huang SY., Zhu XQ. Diagnosis of toxoplasmosis and typing of Toxoplasma gondii. Parasites Vectors 2015; 8: 292. [Google Scholar] [CrossRef] [Green Version]

Paul S., Sharma DK., Boral R., Mishra AK., Nayakwadi S., Banerjee PS., Pawaiya RS. Cryptosporidiosis in goats: A review. Advances in Animal and Veterinary Sciences 2014; 2(3S): 49-54.

Reddy GB., Kumari A., Mishra AK., Shivashanarappa N., Paul S., Gupta VK., Sharma DK. Prevalence of group a rotavirus in diarrhoeic goat kids from organized goat farms. Indian Journal of Comparative Microbiology, Immunology and Infectious Diseases 2014; 35(1): 9-12.

Ruiz A., Guedes AC., Muñoz MC., Molina JM., Hermosilla C., Martín S., Hernandez YI., Hernandez A., Perez D., Matos L., Lopez AM., Taubert A. Control strategies using diclazuril against coccidiosis in goat kids. Parasitology Research 2012; 110: 2131-2136.

Senturk S. Internal medicine in calves with controversial case. 2nd ed., Ozsan, Bursa, Turkey, 2012.

Şentürk S. Sığırlar için pratik laboratuvar kitabı. Dora yayıncılık, 2. Baskı, Osmangazi, Bursa, 2017.

Simpson KM., Taylor JD., Streeter RN. Evaluation of prognostic indicators for goats with pregnancy toxemia. Journal of the American Veterinary Medical Association 2019; 254(7): 859-867.

Valadan M., Jabbari AR., Niroumand M., Tahamtan Y., Bani Hashemi SR. Isolation and identification of Pasteurella multocida from sheep & goat in Iran. Archives of Razi Institute 2014; 69(1): 47-55.

Yeşilmen S., Işik N., Özyurtlu N., Küçükaslan İ., Cantekin Z., Ergün Y. Investigation on the effectiveness of mastitis vaccine (Startvac®) in sheep and goat gangrenous mastitis cases caused by Staphylococcus aureus. Dicle Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi 2017; 10(2): 107-114.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1009-1023, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1009-1023, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Bandwidth Optimization of an Ultra Wide Band Vivaldi Antenna Design with Its Feed Alignment

Izzet GÜZELKARA[1*], Veli Tayfun KILIC[2]

[1]Abdullah Gul University, Graduate School of Engineering and Science, Electrical and Computer Engineering, Kayseri
[2]Abdullah Gul University, Faculty of Engineering, Electrical and Electronics Engineering, Kayseri

[1]https://orcid.org/0000-0001-5287-4293
[2]https://orcid.org/0000-0001-6806-9053
*Corresponging author: izzet.guzelkara@agu.edu.tr

Research Article

Article History:
Received: 22.07.2024
Acceptedi:30.01.2025
Published Online: 16.06.2025

Keywords:
Vivaldi
Ultra wide band
Microstrip feed

ABSTRACT

Ultra wide band applications such as medical imaging, surveillance or indoor localization require different bandwidths. The different bandwidth requirements often present a challenge in terms of antenna design. In this paper, a wideband Vivaldi antenna which is suitable for UWB systems is presented. The antenna is designed and optimized using a 3D electromagnetic simulation tool. Then, a parametric study is carried out that investigates the effect of microstrip feed on the antennas bandwidth. It is demonstrated that the bandwidth of the antenna can be manipulated by changing the total length and the positioning of the microstrip feed without the need for changing any other antenna parameter.

Ultra Geniş Bant Vivaldi Anten Tasarımında Besleme Hattının Hizalanması ile Bant Genişliği Optimizasyonu

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 22.07.2024
Kabul tarihi: 30.01.2025
Online yayınlama: 16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Vivaldi
Ultra geniş bant
Mikroşerit besleme

ÖZ

Tıbbi görüntüleme, gözetleme veya iç mekân lokalizasyonu gibi ultra geniş bant uygulamaları farklı bant genişlikleri gerektirir. Farklı bant genişliği gereksinimleri genellikle anten tasarımı açısından zorluk teşkil etmektedir. Bu çalışmada ultra geniş bant sistemlerine uygun geniş bantlı bir Vivaldi anten sunulmaktadır. Anten, 3 boyutlu bir elektromanyetik simülasyon aracı kullanılarak tasarlanmış ve optimize edilmiştir. Daha sonra mikroşerit beslemenin anten bant genişliği üzerindeki etkisinin araştırıldığı parametrik bir çalışma yapılmıştır. Antenin bant genişliğinin, başka herhangi bir anten parametresini değiştirmeye gerek kalmadan, mikroşerit beslemenin toplam uzunluğu ve konumu değiştirilerek değiştirilebileceği gösterilmiştir.

To Cite: Güzelkara I., Kılıc VT. Bandwidth Optimization of an Ultra Wide Band Vivaldi Antenna Design with Its Feed Alignment. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1009-1023.

1. Introduction

Ultra-wideband (UWB) systems have been gaining interest in recent years due to the increasing popularity of applications that require spatial awareness such as indoor localization, secure connection, asset tracking, medical monitoring and imaging, and ranging (Paulson et al., 2005; D'Amico et al., 2010; Allebes et al., 2021; G. Singh et al., 2021; Song et al., 2023). UWB antennas are an essential part of the UWB systems and they are widely being researched (Valderas et al., 2010; Shantz, 2015; Saeidi et al., 2019; Kumar et al., 2022). To comply with the system requirements, UWB antennas must possess certain features. These features include operating in a wide spectrum, having a good impedance

matching and a wide instantaneous bandwidth (Chang, 2008). Federal Communications Commission (FCC) defines UWB bandwidth as the frequency band bounded by the points that are 10 dB below the highest emission radiated by a complete transmission system including the antennas (Federal Communications Commission, 2002). Furthermore, according to FCC, an UWB transmitter should have a fractional bandwidth equal to or greater than 0.2 or have an operating bandwidth equal to or greater than 500 MHz, regardless of the fractional bandwidth. The fractional bandwidth of a system can be found by Equation 1.

$$\text{Fractional Bandwidth} = \frac{2(f_H - f_L)}{f_H + f_L} \quad (1)$$

where f_H is the highest frequency in the band and f_L is the lowest frequency.

In addition to the requirements mentioned above, the frequencies in which a UWB system operates vary depending on the application. For example, FCC mandates that the bandwidth of UWB surveillance systems should be between 1.99 and 10.6 GHz, while the bandwidth for UWB medical imaging systems must be contained between 3.1 to 10.6 GHz (Breed, 2005). Selecting an antenna that can comply with the requirements mentioned above over the frequency range extending from 1.99 till 10.6 GHz is extremely important when designing an UWB system. First introduced by P. Gibson in 1979 and has been improved since, Vivaldi antennas are a natural choice for UWB systems thanks to their wide bandwidth, high directivity, and low cross polarization (Gibson, 1979; Kahar et al., 2015; Singh et al., 2023). Because of their aperiodic continuously scaled structure, Vivaldi antennas have theoretically unlimited instantaneous bandwidth, which gives them an edge in UWB systems. However, in practice, the bandwidth of most UWB antennas is limited by the bandwidth of the feed network being used.

There are a few studies in the literature that investigate the effect of the feed network on antenna performance (Shafieha et al., 2008; Coburn, 2019; Khusna et al., 2019). In their work Khusna et al. (2019) analyze the effect of the microstrip feed lines in rectangular, shell and circular patterns on the antenna performance. Similarly, Shafieha et al. (2008) examine the microstrip feed structure having a shell pattern and several parameters related to such feed structure. The authors showed that the longitudinal and latitudinal displacement of the radial stub, stub angle and stub offset angle have important effects on the antennas cutoff frequencies and reflection loss. These works provide valuable insights regarding the importance of the feed structure on Vivaldi antenna performance. However, to the best of our knowledge, the effect of rectangular microstrip feed on the bandwidth of Vivaldi antennas has not been documented in detail. In this paper, we propose a Vivaldi antenna that is suitable for UWB applications, whose bandwidth can be tuned by changing the parameters and the positioning of the feed structure. The main contributions of this paper are

- filling the aforementioned gap in the literature,
- demonstrating bandwidth optimization with feed alignment,

- providing a layout for Vivaldi antenna design procedure, and
- forming a basis for future research.

The remainder of the paper is divided into 3 sections, in which the proposed antenna design is discussed, simulation results are given and evaluated, and finally, conclusions are drawn.

2. Antenna Design

Vivaldi antennas are a type of end-fire, exponentially tapered slot antennas. A Vivaldi antenna radiates on a metalized dielectric substrate with an exponentially tapered slot and is excited with a microstrip line on the back side of the substrate. Figure 1 shows the structure of the proposed Vivaldi antenna with a rectangular feed line and its geometrical parameters from top, bottom and perspective views. In subfigures (a) and (c) the metal parts made of copper on the top side are painted in yellow and the feed line on the back side is marked with dotted lines, whereas in subfigure (b) the feed line is shown in red. In the past, several studies were carried out to determine how the design parameters affect the antenna performance (Shafieha et al., 2008; Rana et al., 2018). These studies show that the minimum operating frequency of the antenna is inversely proportional to its length and the width of its aperture (Hamzah and Othman, 2011). In theory, the maximum and the minimum aperture widths, i.e., w_{max} and w_{min}, can be calculated as in Equations 2 and 3, respectively,

$$w_{max} = \frac{c}{2f_{min}\sqrt{\varepsilon_r}} \tag{2}$$

$$w_{min} = \frac{c}{f_c\sqrt{\varepsilon_r}} \tag{3}$$

where c is the speed of light, f_{min} is the minimum frequency at which the antenna operates and ε_r is the dielectric constant of the substrate. Also, f_c is the center frequency of the antenna band. Based on these equations, a Vivaldi antenna, which has a bandwidth, as defined above, between 3 and 13 GHz was designed, and its parameters were optimized as summarized in Table 1.

Table 1. Antenna parameters

Parameter	Dimension (mm)	Parameter	Dimension (mm)
a	0.5	L_s	11
T	48	d	1
W_{sub}	60	W_m	3
QW_s	4	QW_m	4
Subh	1.57	MS_t	$QW_m + 2a + W_{sub}/2$

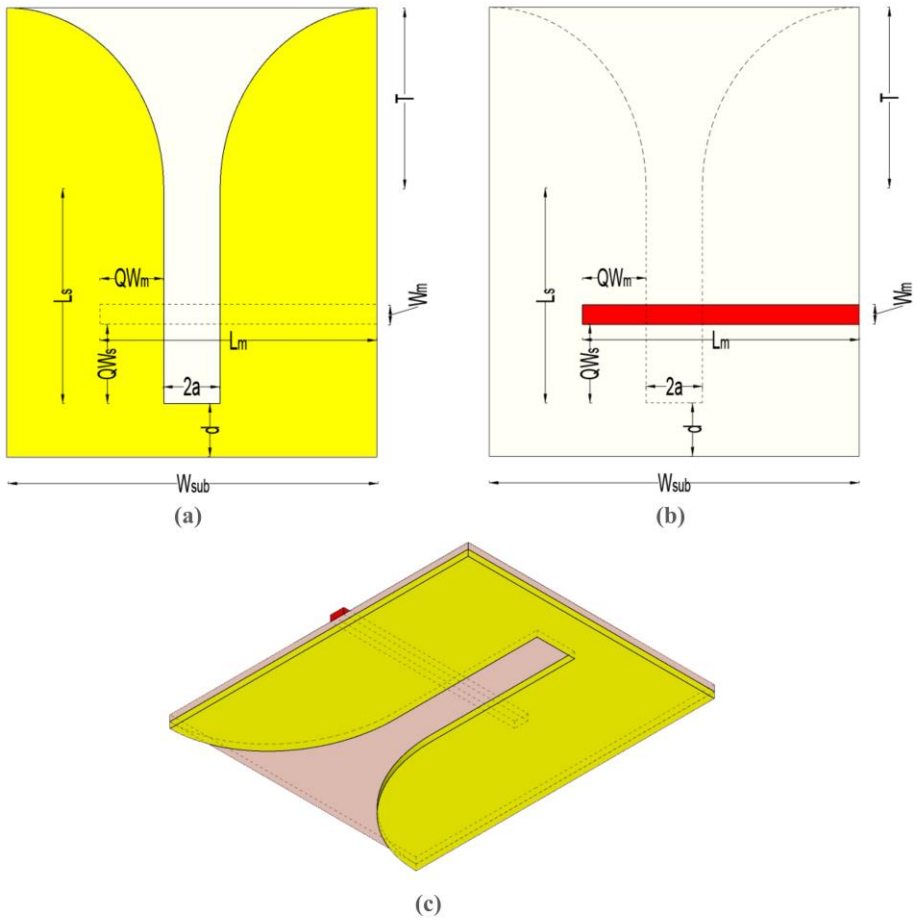


Figure 1. Structure of the proposed antenna and its geometrical parameters from (a) top, (b) bottom and (c) perspective views.

The parameters given in the table are named in coherence with the parameters shown in Figure 1. In the table, the parameter W_{sub} is the width of the FR4 substrate, which is equal to the maximum aperture width calculated by Equation 2. The thickness of the substrate, subh, is 1.57 mm, whereas parameter a is the half width of the linear slot measured from the center of the antenna and its value is 0.5 mm in the designed antenna. The width of the microstrip line, W_m, is chosen as 3 mm to have a 50 Ω impedance matching. Parameters QW_m and QW_s, on the other hand, represent the longitudinal and latitudinal displacements of the microstrip feed starting from the linear slot line. They were initially chosen as the quarter wavelength inside the substrate at the center frequency and were later optimized. L_s is the total length of the linear slot with the offset d valued from the back wall of the antenna. The total length of the tapered flare, T is 48 mm and its profile is determined by Equation 4.

$$y = C_1 e^{rx} + C_2 \quad (4)$$

In the equation, x and y stand for the positions of points on a flare in cartesian coordinates, and r is the opening rate of the flare. Also, C_1 and C_2 are the parameters related to coordinates of the flare's start and end points and are calculated by Equations 5 and 6, respectively,

$$C_1 = \frac{y_2 - y_1}{e^{rx_2} - e^{rx_1}} \tag{5}$$

$$C_2 = \frac{y_1 e^{rx_2} - y_2 e^{rx_1}}{e^{rx_2} - e^{rx_1}} \tag{6}$$

where coordinates (x_1,y_1) and (x_2,y_2) are the start and end points of the flare.

3. Results and Discussion

Once an initial design of the antenna was obtained, the parameters were optimized using a three-dimensional (3D) electromagnetic simulation tool as given in Table 1. The resonance behavior, maximum directivity, and the gain of the antenna were examined. S11 parameter magnitude, i.e., return loss, change of the antenna with frequency calculated in the simulations over the band between 2 GHz and 16 GHz is shown in Figure 2(a). As can be seen from the figure, the antenna has a -10 dB bandwidth, i.e., the S11 parameter is less than or equal to -10 dB, extending from 3.1 to 13.6 GHz. In the figure -10 dB level and the corresponding cutoff frequencies are represented with horizontal and vertical dash-dotted lines, respectively. Although there are some peak points in the S11 trace where the S11 magnitude exceeds -10 dB around the frequencies 3.9 GHz, 7.8 GHz, 9.3 GHz and 10.5 GHz, these excesses are negligibly small. The S11 magnitudes calculated at these frequencies are -9.2 dB, -9.5 dB, -9.7 dB and -9.3 dB, respectively. Moreover, the realized gain of the antenna over the band between 2 GHz and 16 GHz calculated in the simulations is depicted in Figure 2(b). In the figure, it is seen that the realized gain varies between 0.8 and 5.5 dBi over the band spanning from 3.1 GHz to 13.6 GHz.

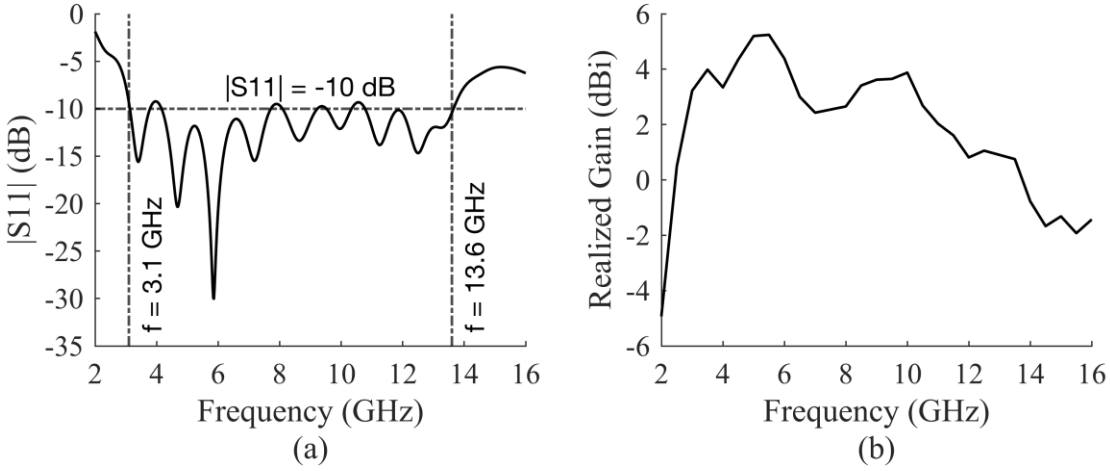


Figure 2. (a) Return loss and, (b) realized gain changes of the optimized antenna with frequency calculated in the simulations over the band between 2 and 16 GHz.

After the optimization, a parametric sweep was carried out on the microstrip feed, where the effects of the feed network parameters QW_s and QW_m that correspond to the position of the feed with respect to the linear slot start point and length of the feed exceeding the linear slot, respectively, on the antenna bandwidth and the gain were observed. As the first step, simulations were obtained for the microstrip feed line with a constant extension length (QW_m) of 4 mm (see Table 1). The microstrip was moved along the linear slot starting from its bottom until 8 mm away from the bottom point with 1 mm increments. In other words, simulations were done for the antenna with a constant QW_m length of 4 mm and different QW_s distances varying from 0 mm to 8 mm. The change in the return loss and the realized gain of the antenna as the microstrip is moved along the aperture axis is shown in Figure 3.

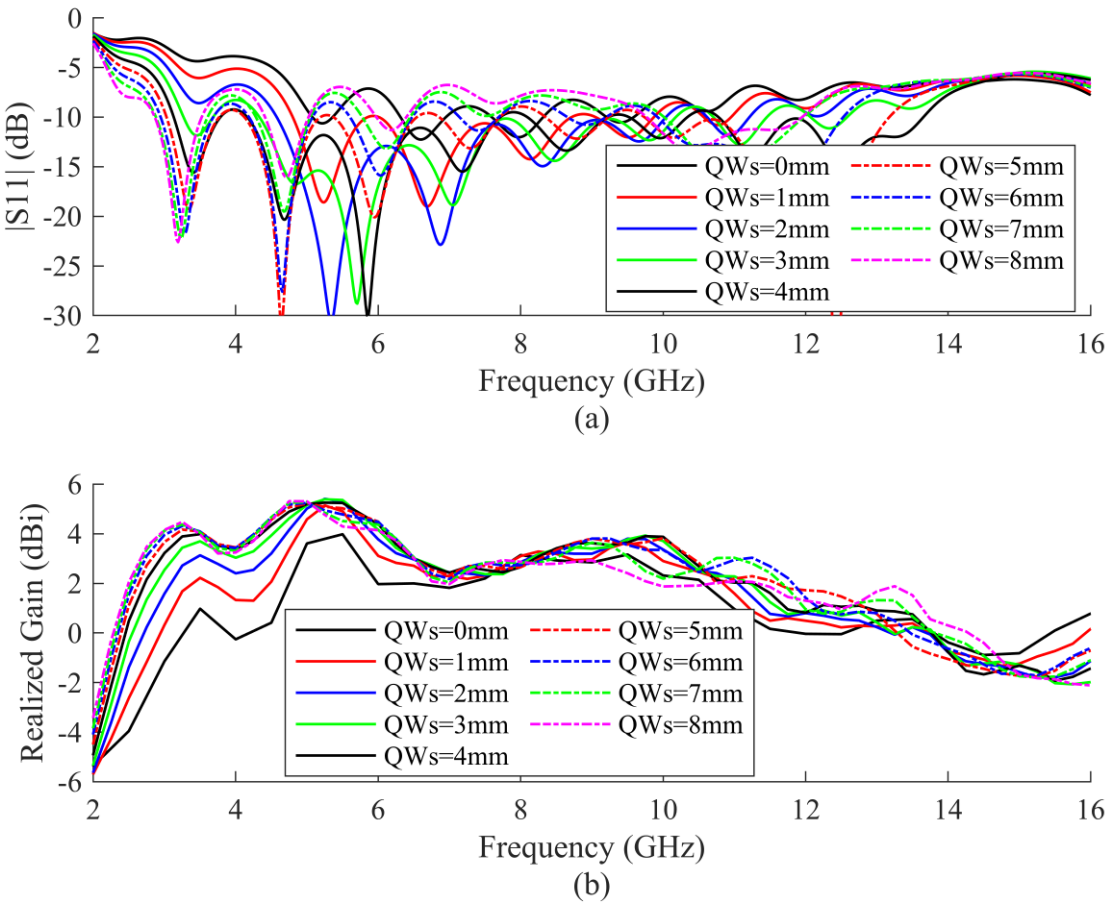


Figure 3. (a) Return loss and, (b) realized gain changes of the designed antenna with frequency calculated in the simulations over the band between 2 and 16 GHz for constant QWm = 4 mm exceed length and different QWs distances.

It is seen from the figure that when the total length of the microstrip is kept constant, moving its position from the bottom of the linear slot until a certain distance (QW_s = 4 mm) increases the total bandwidth of the antenna such that the lower frequency limit of the band shifts to lower frequencies and the upper frequency limit of the band shifts to higher frequencies. On the other hand, as we continue to move the microstrip along the aperture both the lower and the upper limits of the band of the antenna shift to lower

frequencies while the total bandwidth is mostly maintained at first and then it decreases. Furthermore, Figure 3(b) shows that the realized gain of the antenna improves as the QW_s distance increases. The lower and upper cutoff frequency shifts and the bandwidth change of the antenna with constant QW_m = 4 mm and different QW_s distances are plotted in Figure 4. In the figure cutoff frequencies and bandwidths corresponding to -10 dB S11 parameter magnitude are considered. In addition, it has been checked to satisfy minimum 500 MHz bandwidth requirement together with peak levels inside the band being lower than -8 dB. Since the S11 magnitude exceeds -10 dB in the interested band a lot for the cases QW_s = 0 and 8 mm, it is not meaningful to define cutoff frequencies and bandwidths for those cases. Consequently, in Figure 4 QWs values in x-axis start and end at 1 mm and 7 mm, respectively.

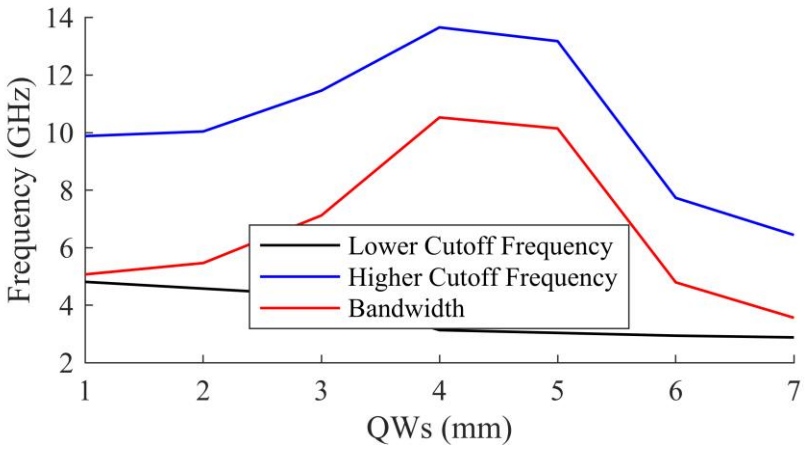


Figure 4. Lower and upper cutoff frequency shifts and bandwidth change of the antenna for constant QWm = 4 mm exceed length and different QWs distances.

Next, simulations were repeated for various exceed lengths of the feed line (QW_m) while keeping the position of the microstrip feed line, i.e., QW_s parameter, constant. Changes in the S11 parameter magnitude and realized gain of the antenna calculated in the simulations over the band between 2 GHz and 16 GHz are shown in Figure 5.

In the figure, it is observed that the lower limit of the antenna band shifts to lower frequencies as the parameter QW_m increases. On the other hand, the upper frequency limit of the antenna band improves until QW_m= 3 mm is reached, and after this point, increasing the length of the microstrip line causes the upper frequency limit to shift to lower frequencies. Moreover, in Figure 5(b) it is seen that as the feed line extends the realized gain of the antenna increases considerably at lower frequencies, i.e., from 2 GHz till 5.5 GHz, while there is no constant increase or decrease at the higher frequencies in the band of the antenna. The lower and upper frequency shifts and the bandwidth change are easily seen in Figure 6 below. In the figure QW_m values in x-axis range between 2 mm and 6 mm because for the cases QW_m = 0, 1 mm, 7 mm, and 8 mm the S11 parameter values are well above -10 dB or exceed this level a lot at many points in the frequency range of interest. Like Figure 4, here while determining cutoff frequencies and bandwidth -10 dB S11 magnitude points are considered. Also, minimum 500 MHz

bandwidth requirement together with the maximum peak levels being lower than -8 dB inside the band were checked.

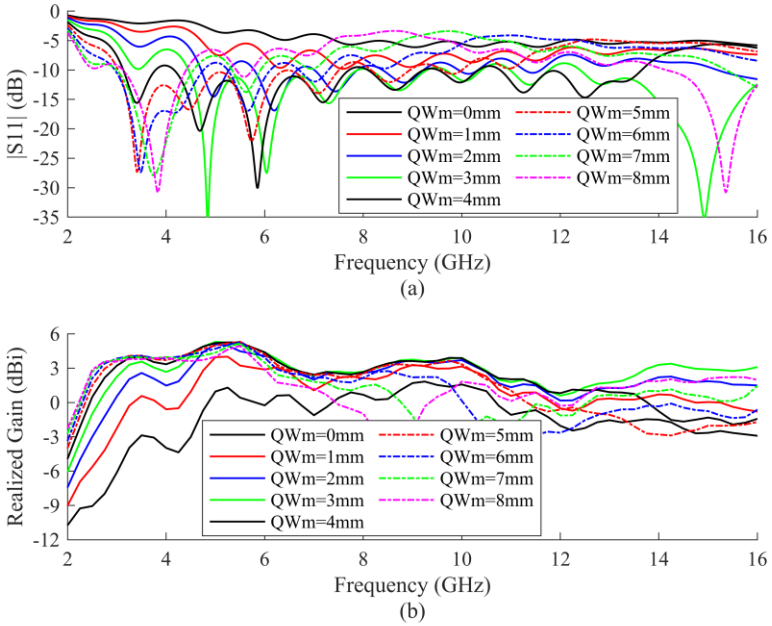


Figure 5. (a) Return loss and, (b) realized gain changes of the designed antenna with frequency calculated in the simulations over the band between 2 and 16 GHz for constant QW_s = 4 mm distance and different QW_m exceed lengths.

After this analysis, simulations were further continued to have a clearer and full understanding of the effects of the feed line parameters on the antenna performance. To this end, simulations were obtained for various feed line lengths and positions that are different from 4 mm. Return loss change of the antenna calculated in the simulations for constant QW_m = 0 mm and 1 mm exceed lengths are shown in Figure 7(a) and Figure 7(b) below, respectively. Here as labeled in the figure QW_s distance is raised from 0 mm until 8 mm with 1 mm steps.

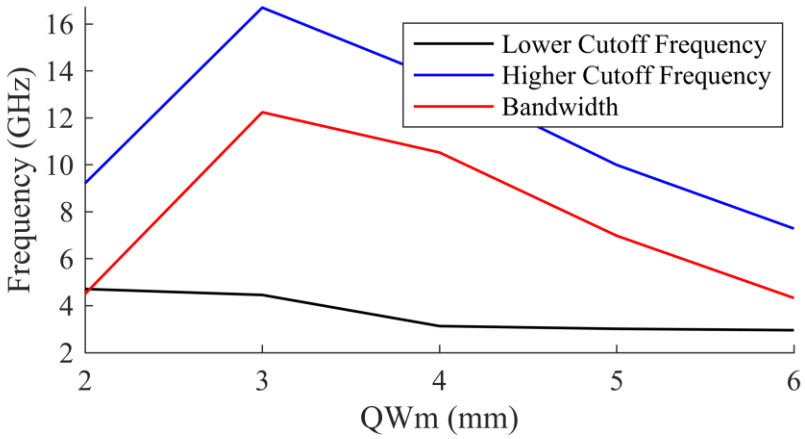


Figure 6. Lower and upper cutoff frequency shifts and bandwidth change of the antenna for constant QW_s = 4 mm distance and different QW_m exceed lengths.

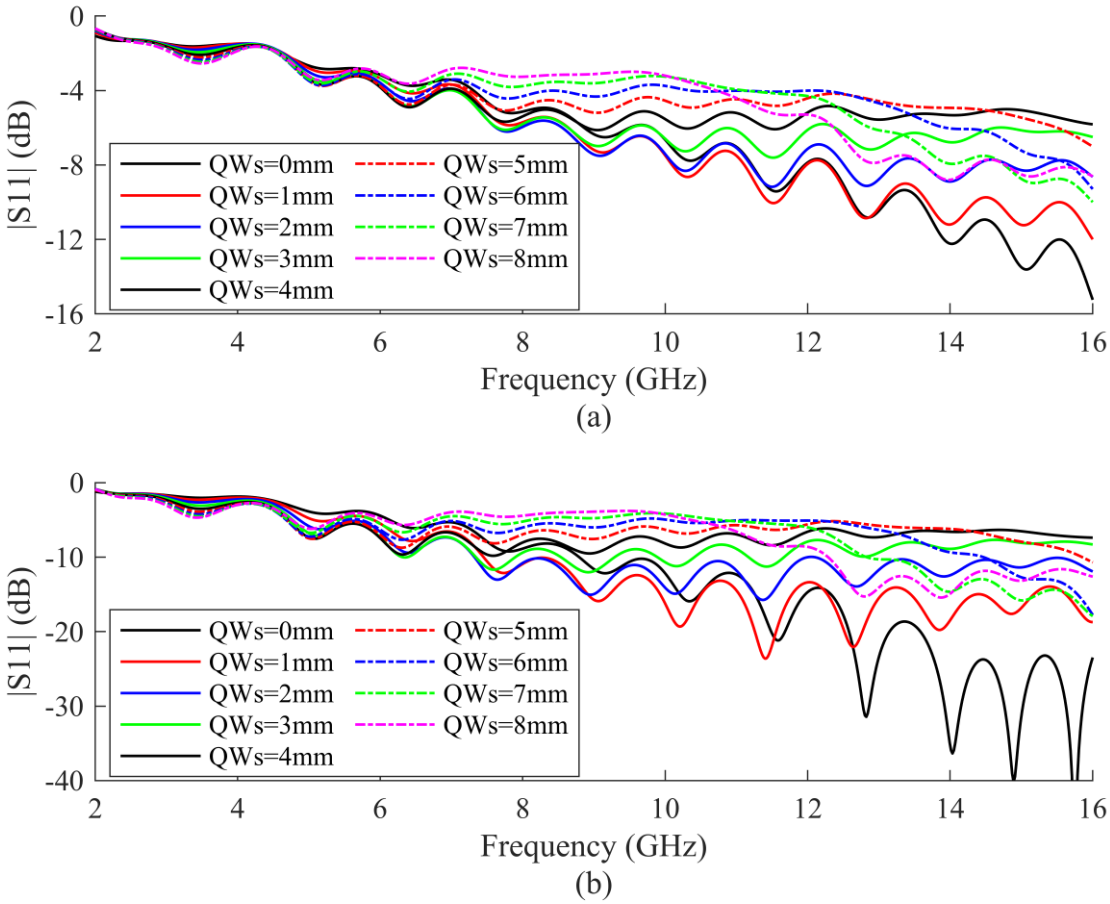


Figure 7. Return loss change of the designed antenna with frequency calculated in the simulations over the band between 2 and 16 GHz for constant (a) QW_m = 0 mm, and (b) QW_m = 1 mm exceed lengths and different QW_s distances.

In the figure, it is seen that for the values of QW_m= 0 mm and 1 mm, the antenna is not able to maintain a -10 dB bandwidth in the desired frequency range. It means, a considerable amount of input power is reflected from the input port of the antenna. Therefore, investigating realized gain of these antennas is not very meaningful. However, when QW_m is incremented to 2 mm, a different resonance behavior of the antenna is observed. Return loss and realized gain changes of the antenna for QW_m exceed length equals to 2 mm are shown in Figure 8 and as seen in subfigure (a), for the cases in which the slot line displacement distance equals to 0 mm, 1 mm, or 2 mm the -10 dB bandwidth of the antenna starts to fall within the desired frequency range, whereas after 2 mm QW_m distance the return loss of the antenna increases, the resonance gets worse and becomes narrower.

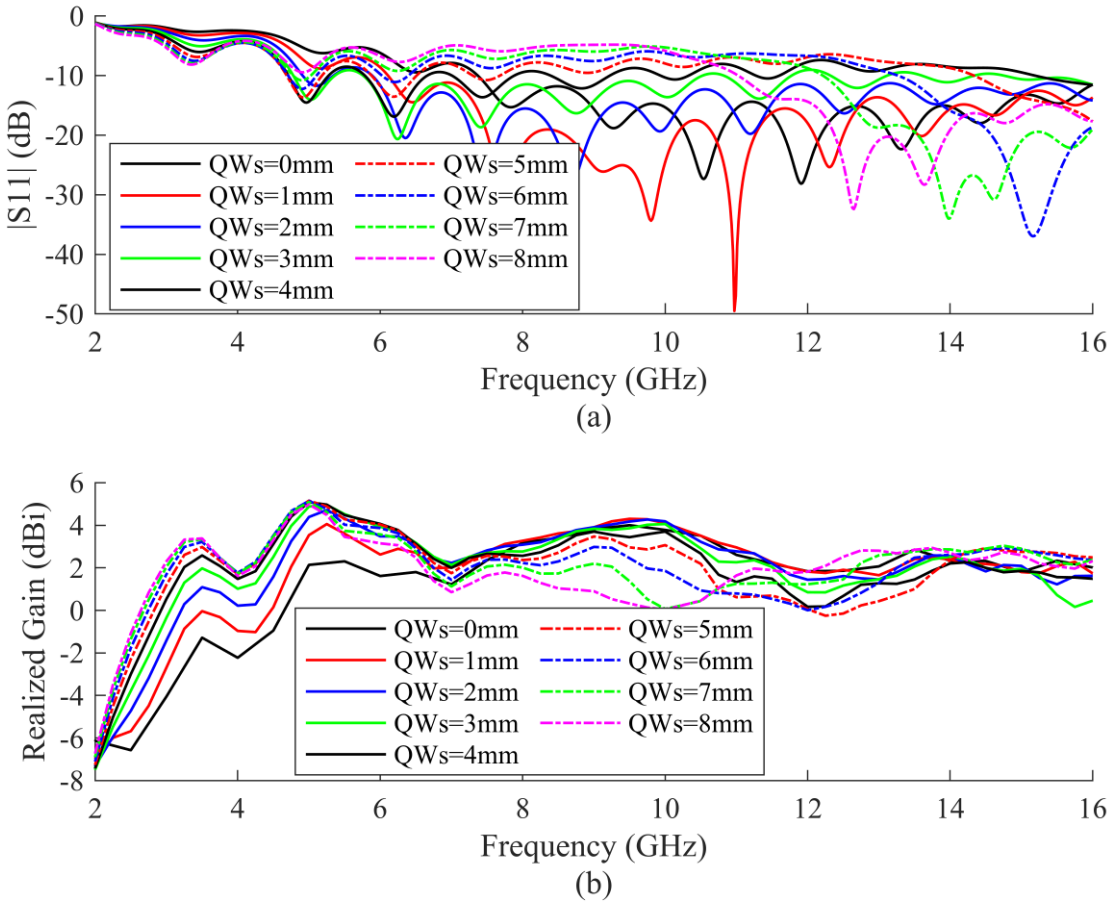


Figure 8. (a) Return loss and, (b) realized gain changes of the designed antenna with frequency calculated in the simulations over the band between 2 and 16 GHz for constant QW_m = 2 mm exceed length and different QW_s distances.

Furthermore, one can see in Figure 8(b) that the realized gain of the antenna improves at the lower frequencies as the parameter QW_s is increased. The enhancement in the gain is obvious between the frequencies 3 GHz and 5 GHz. A similar effect is observed in the resonance behavior and realized gain of the antenna when QW_m exceed length is set to be 3 mm as shown in Figure 9, where return loss and gain variations of the antenna with frequency are plotted for constant QW_m length of 3 mm and different QW_s distances.

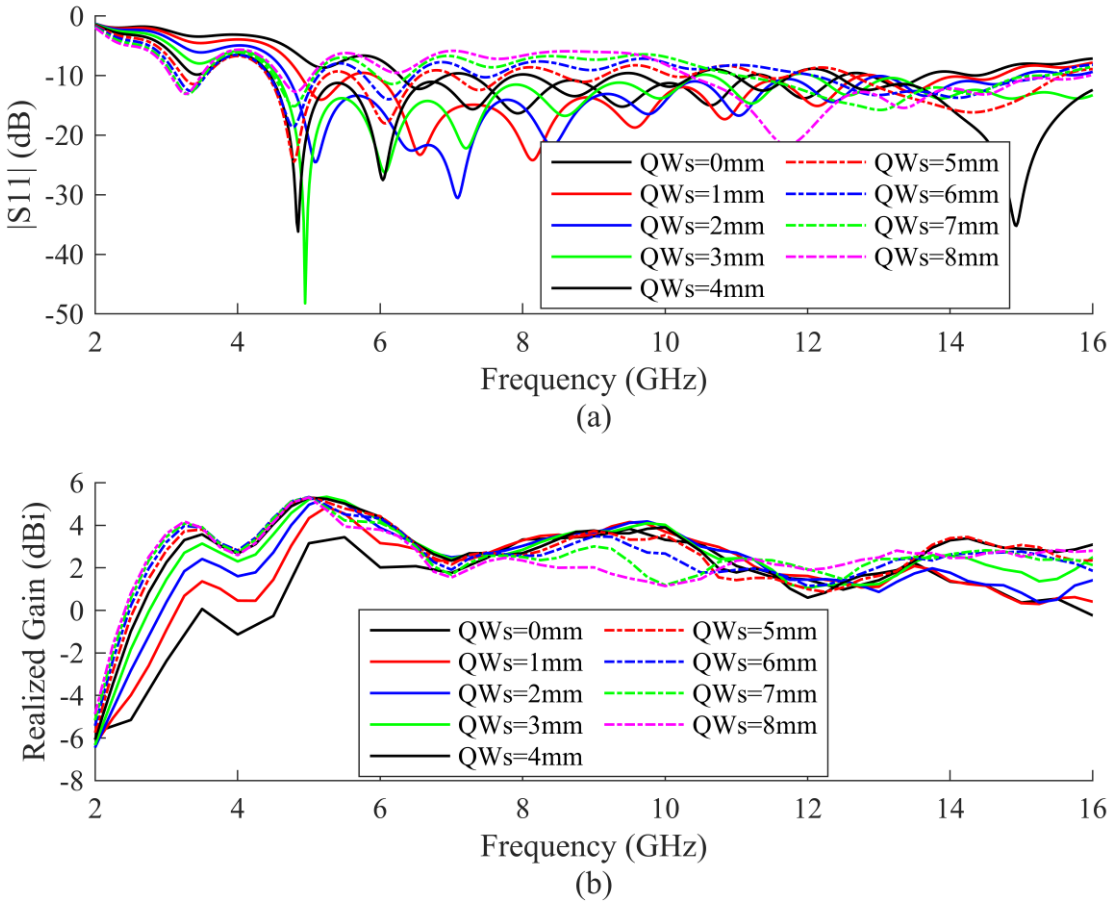


Figure 9. (a) Return loss and, (b) realized gain changes of the designed antenna with frequency calculated in the simulations over the band between 2 and 16 GHz for constant QW_m = 3 mm exceed length and different QWs distances.

Lastly, when QW_m exceed length is increased beyond the initial design of 4 mm to 5 mm, a behavior similar to that observed for the case of QW_m equals to 3 mm is obtained. Return loss and realized gain changes of the antenna for constant 5 mm QW_m exceed length and different QW_s distances are illustrated in Figure 10. As for the case QW_m equals to 3 mm, here, bandwidth of the antenna falls within the desired frequency band when the QW_s distance is small. On the other hand, the resonance gets worse, and the -10 dB bandwidth becomes narrow, i.e. between frequencies 2 GHz and 6 GHz, as QW_s distance increases. In addition, in Figure 10(b) it is observed that the realized gain of the antenna enhances with the enlargement of QW_s distance at the lower frequencies specifically between 3 GHz and 5 GHz. With simulations, it is also found that any further extension in QW_m length results in poor resonance behavior, i.e., -10 dB bandwidth that is narrow and occurring outside the desired band of the antenna.

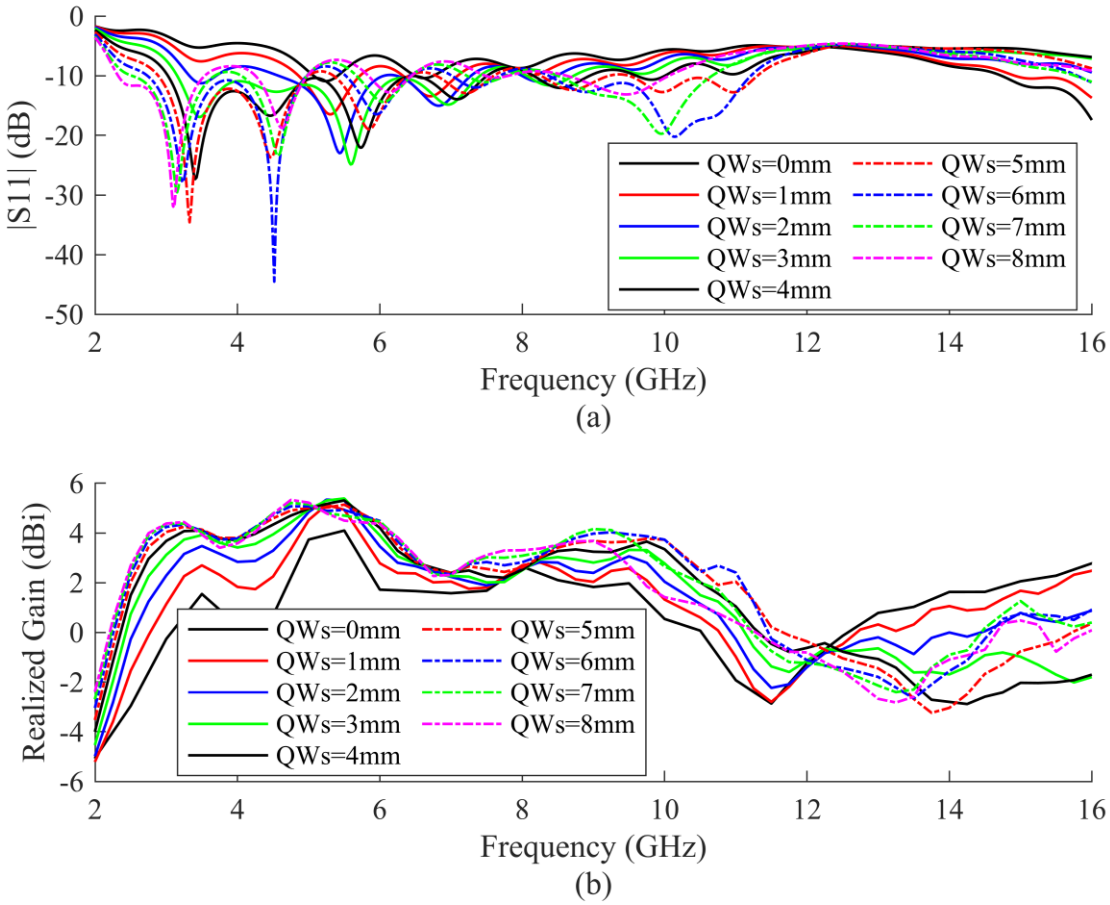


Figure 10. (a) Return loss and, (b) realized gain changes of the designed antenna with frequency calculated in the simulations over the band between 2 and 16 GHz for constant QW_m = 5 mm exceed length and different QW_s distances.

If we take a closer look at the -10 dB bandwidth of the antenna when parameters QW_s and QW_m are increased concurrently, one can observe that for the lower values of QW_m exceed length and QW_s distance, i.e. between 0 mm and 2 mm, the lower cutoff frequency of the antenna occurs at high frequencies as can be seen in Figure 11(a). As QW_m and QW_s parameters are further increased, both the lower cutoff frequency and the higher cutoff frequency shift towards lower frequencies. This is clearly seen in Figure 11(a) and 11(b). Furthermore, Figure 11(c) shows that the overall bandwidth of the antenna is mostly preserved for parameters QW_m and QW_s ranging between 2 mm and 4 mm. This indicates that one can design the antenna with the parameters provided in Table 1 while having some degree of freedom for tuning the operating bandwidth of the antenna based only on the total length of the micsrostrip feed and its latitudinal displacement along the linear slot.

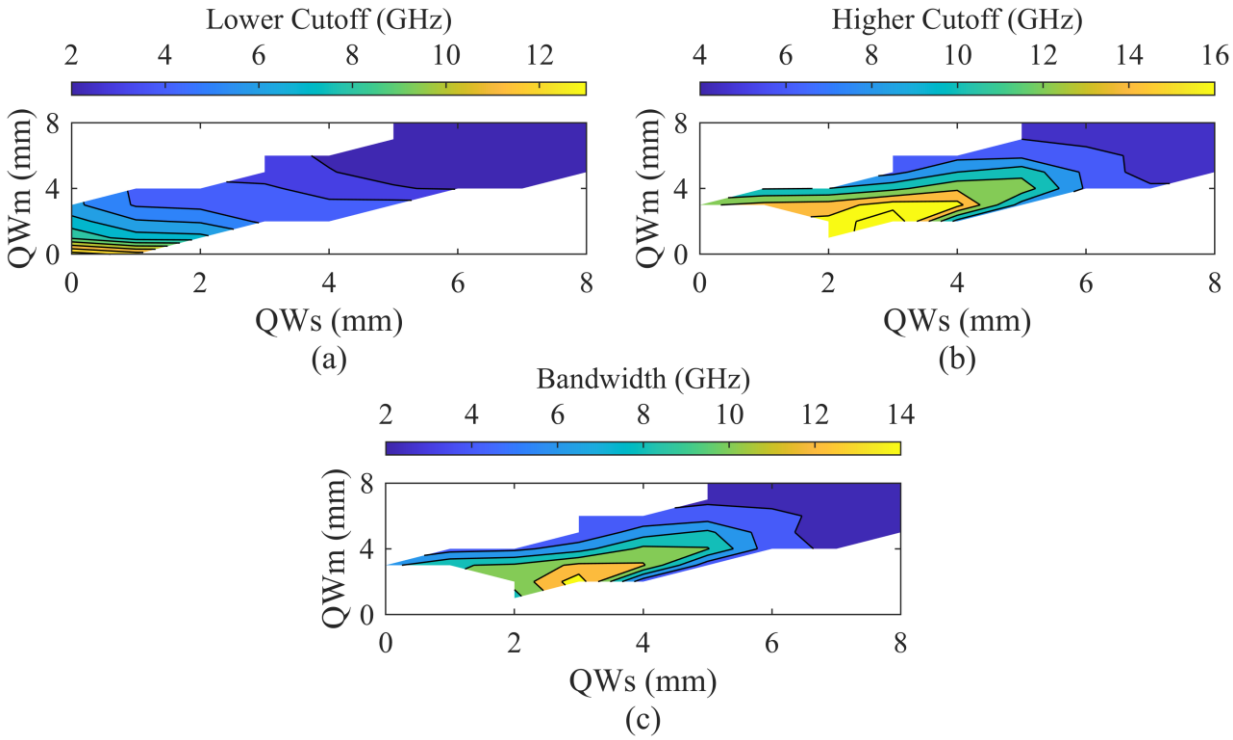


Figure 11. (a) Lower cutoff frequency, (b) higher cutoff frequency and, (c) bandwidth changes of the designed antenna for different QW_m exceed length and QW_s distances

4. Conclusion

In this paper, the design of a Vivaldi antenna with a -10 dB bandwidth between 3.1 to 13.6 GHz using a three-dimensional (3D) electromagnetic simulation tool was presented. A parametric study was then carried out to investigate the effect of the microstrip feed alignment on the antennas performance. In the simulations, the parameters QW_s and QW_m that correspond to the position of the feed network with respect to the linear slot start point and length of the feed exceeding the linear slot, respectively, were swept. Results show that as the feed network parameters vary between certain values the lower and higher cutoff frequencies of the antenna can be tuned while maintaining the total bandwidth. For the designed antenna, the total bandwidth of around 10 GHz is maintained as the QW_s parameter vary between 2 mm and 5 mm while the QW_m parameter change between 2 mm and 4 mm. This method may prove itself valuable for a variety of different UWB applications by allowing the designers to use the same geometrical antenna parameters and optimize the bandwidth for the desired frequencies with the alignment of the microstrip feed.

Statement of Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Author's Contributions

The authors declare that they have contributed equally to the article.

References

Allebes E., Singh G., He Y., Tiurin E., Mateman P., Ding M., Dijkhuis J., Schaik GJV., Bechthum E., Heuvel JVD., Soussi ME., Breeschoten A., Korpela H., Liu YH., Bachmann C. 21.2 A 3-to-10GHz 180pJ/b IEEE802.15.4z/4a IR-UWB coherent polar transmitter in 28nm CMOS with asynchronous amplitude pulse-shaping and injection-locked phase modulation. IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC) 2021; 304-306.

Breed G. A summary of FCC rules for ultra wideband communications. High Frequency Electronics 2005; 4(1): 42-44.

Chang DC. UWB antennas and their applications. 2008 International Workshop on Antenna Technology: Small Antennas and Novel Metamaterials 2008; 14-19.

Coburn W. Single layer vivaldi antenna feed analysis. 2019 International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium (ACES) 2019; 1–2.

D'Amico S., De Matteis M., Rousseaux O., Philips K., Gyselinck B., Neirynck D., Baschirotto A. Ultra wide band in medical applications. Advances in Biomedical Sensing, Measurements, Instrumentation and Systems. Lecture Notes in Electrical Engineering, 55. Springer, Berlin, Heidelberg 2010; 43–60.

Federal Communications Commission. Ultra-wideband transmission systems. Federal Register 2002; 67(95): 34852–34860.

Gibson PJ. The vivaldi aerial. 1979 9th European Microwave Conference 1979; 101–105.

Hamzah N., Othman KA. Designing vivaldi antenna with various sizes using CST Software. Proceedings of the World Congress on Engineering 2011; 2.

Kahar M., Mandal J., Mandal MK. A compact vivaldi antenna with microstrip feed line for the 2-18GHz ultra-wideband applications. 2015 IEEE Applied Electromagnetics Conference (AEMC) 2015; 1–2.

Khusna EM., Setijadi E., Hendrantoro G. Parameter study of coplanar vivaldi antenna feeding structure. 2019 International Seminar on Intelligent Technology and Its Application (ISITIA) 2019; 13–18.

Kumar OP., Kumar P., Ali T., Kumar P., Vincent S. Ultrawideband antennas: Growth and evolution. Micromachines 2022; 13(1): 60.

Paulson CN., Chang JT., Romero CE., Watson J., Pearce FJ., Levin N. Ultra-wideband radar methods and techniques of medical sensing and imaging. Proc. SPIE 6007, Smart Medical and Biomedical Sensor Technology III 2005.

Rana MM., Khanom R., Rahman MM. Design and analysis of vivaldi antennas. 2018 International Conference on Innovation in Engineering and Technology (ICIET) 2018; 1–5.

Saeidi T., Ismail I., Wen WP., Alhawari ARH., Mohammadi A. Ultra-wideband antennas for wireless communication applications. International Journal of Antennas and Propagation 2019; 4: 7918765-1–7918765-25.

Shafieha JH., Noorinia J., Ghobadi C. Probing the feed line parameters in vivaldi notch antennas. Progress In Electromagnetics Research B (2008); 1: 237–252.

Shantz HG. The art and science of ultrawideband antennas (second edition). Artech House 2015.

Singh A., Nair T., Roy S., Srivastava A., Verma V. Design and testing of vivaldi antenna for UWB applications. 2023 2nd International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking Technologies (ViTECoN) 2023; 1–5.

Singh G., Allebes E., He Y., Tiurin E., Mateman P., Dijkhuis JF., Schaik GJV., Bechthum E., Heuvel JVD., Soussi ME., Breeschoten A., Korpela H., Gordebeke GJ., Lemey S., Bachmann C., Liu YH. An IR-UWB IEEE 802.15.4z compatible coherent asynchronous polar transmitter in 28-nm CMOS. IEEE Journal of Solid-State Circuits (2021); 56(12): 3799–3810.

Song M., Allebes E., Marshall C., Bhat AN., Bechthum E., Dijkhuis J., Traferro S., Tiurin E., Vis P., Heuvel JVD., Soussi ME., Boer P., Sheikh A., Meyer B., Liu J., Ven SVD., Winkel N., Hijdra M., Ramachandra GK., Baykal Y., Visser H., Zhang P., Breeschoten A., Liu YH., Bachmann C. An 8.7 mW/TX, 21 mW/RX 6-to-9GHz IEEE 802.15.4a/4z compliant IR-UWB transceiver with pulse pre-emphasis achieving 14mm ranging precision. 2023 IEEE Symposium on VLSI Technology and Circuits (VLSI Technology and Circuits) 2023; 1–2.

Valderas D., Sancho JI., Puente D., Ling C., Chen X. Ultrawideband antennas: Design and applications. Imperial College Press 2010.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1024-1041, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1024-1041, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Analysis of Turkish Academic Papers in Computer Science Using Natural Language Processing Techniques

Caner KARA[1], Ecir Uğur KÜÇÜKSİLLE[2*], Nazan KEMALOĞLU ALAGÖZ[3*]

[1,3] Department of Computer Technologies, Isparta University of Applied Sciences, Uluborlu Selahattin Karasoy Vocational School, Uluborlu, 32650, Isparta
[2] Department of Computer Engineering, Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, 32000, Isparta

[1]https://orcid.org/0000-0002-3100-2899
[2]https://orcid.org/0000-0002-3293-9878
[3]https://orcid.org/0000-0002-6262-4244
*Corresponding author: nazanalagoz@isparta.edu.tr

Research Article

Article History:
Received: 23.09.2024
Accepted: 03.02.2025
Published online: 16.06.2025

Keywords:
Natural language processing
Deep learning
Artificiall intelligence
Research article

ABSTRACT

Scientific articles undergo a rigorous and lengthy process from submission to publication in terms of scope, form, and quality. Despite this review process, publications may contain errors that compromise the integrity of their meaning. However, while it takes time to read and understand even a publication with narrative integrity, it becomes even more difficult to examine the details of a publication whose integrity has not been considered. In this study, 492 full-text Turkish research articles in the field of computer science published in various journals indexed in SCI-EXPANDED, ESCI and TR Index were analyzed. The articles are evaluated by five criteria, which are the integrity of abstract and content, the availability of main concepts in the abstract, the availability of standard sections, the frequency of titles and keywords contained in the content, and the percentage of recent publications in the references. The aim of the study is to reveal the integrity of all sections of the articles examined according to the defined criteria. The findings revealed that in the majority of the articles, abstracts were insufficient to include basic elements such as scope, problem, purpose, method, findings and conclusion, while titles and keywords did not adequately represent the content of the article. In addition, significant deficiencies were identified in terms of the currency of references. This study aims to provide guidance for more effective title, abstract and reference selection in scientific article writing.

Bilgisayar Bilimleri Alanındaki Türkçe Akademik Makalelerin Doğal Dil İşleme Teknikleri Kullanılarak Analizi

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 23.09.2024
Kabul tarihi:03.02.2025
Online Yayınlanma: 16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Doğal dil işleme
Derin öğrenme
Yapay zeka
Araştırma makalesi

ÖZ

Bilimsel makaleler başvurudan yayına kadar kapsam, biçim ve kalite açısından titiz ve uzun bir süreçten geçer. Bu inceleme sürecine rağmen, yayınlar anlam bütünlüğünü tehlikeye atan hatalar içerebilir. Ancak anlatım bütünlüğü olan bir yayını bile okumak ve anlamak zaman alırken, bütünlüğü dikkate alınmamış bir yayının detaylarını incelemek daha da zorlaşmaktadır. Bu çalışmada, bilgisayar bilimleri alanında SCI-EXPANDED, ESCI ve TR Dizin'de taranan çeşitli dergilerde yayımlanmış 492 tam metin Türkçe araştırma makalesi analiz edilmiştir. Makaleler, özet ve içerik bütünlüğü, özette ana kavramların bulunması, standart bölümlerin bulunması, içerikte yer alan başlık ve anahtar kelimelerin sıklığı ve kaynakçada yeni yayınların bulunma yüzdesi olmak üzere beş kritere göre değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, belirlenen kriterlere göre incelenen makalelerin tüm bölümlerinin

bütünlüğünü ortaya koymaktır. Bulgular, makalelerin büyük çoğunluğunda özetlerin kapsam, problem, amaç, yöntem, bulgular ve sonuç gibi temel unsurları içermekte yetersiz olduğunu, başlık ve anahtar kelimelerin ise makale içeriğini yeterince temsil etmediğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, referansların güncelliği açısından önemli eksiklikler tespit edilmiştir. Bu çalışma, bilimsel makale yazımında daha etkili başlık, özet ve referans seçimine yönelik rehberlik sunmayı amaçlamaktadır.

To Cite: Kara C., Küçüksille EU., Kemaloğlu Alagöz N. Analysis of Turkish Academic Papers in Computer Science Using Natural Language Processing Techniques. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1024-1041.

1. Introduction

The analysis and processing of the natural languages that humans use to communicate, by machines using various methods, is called Natural Language Processing (NLP). There are two approaches to NLP in the literature; symbolic NLP and empirical NLP. Empirical NLP is based on experiments and observations using statistics. Statistical analysis was very rational and practical compared to methods using artificial intelligence (AI) until the breakthrough advances in deep learning. Symbolic NLP, on the other hand, uses AI algorithms that convert symbols into numbers in any natural language and process them. The symbolic approach takes into account all the rules and concepts of a natural language. In recent years, with the advances in deep learning, using these two approaches together to benefit from the advantages of both has become a commonly preferred modern approach (Jackson and Moulnier, 2002).

Automated Text Summarization (ATS) is one of the most popular research and application areas of NLP. ATS is categorized according to how the summarized text is generated. Extractive Summarization (ES) is the method that selects essential sentences from the original text. Another method is based on understanding the original text and generating a rephrased summary, called Abstractive Summarization (AS). There are also methods that combine these two methods in various ways, called hybrid summarization methods.

AI algorithms, mostly deep learning methods, are often used in AS. Recurrent Neural Networks (RNNs) with building blocks called Long Short-Term Memories (LSTMs), various techniques such as Encoder and Decoder based Transformers, Attentions, and Bidirectional Encoder Representations of Transformers (BERT) that include Transfer Learning (TL), which uses a pre-training process to reduce training time, are commonly used AI methods in NLP.

This study is similar to the (Teufel,1999; Teufel et. al. 1999; Teufel and Moens, 1999; Feltrim et. al., 2004) as the main subject. Feltrim et al., as in this study, examined articles in the field of computer science, but these articles were published in Portuguese. Also, these articles were evaluated only for the automatic summarization of the abstracts, and for this purpose statistical methods were used. Feltrim et al. is focused on labeling only by summary, instead of a holistic evaluation, which we had done in our study (Feltrim et. al., 2004).

In Teufel's works (Teufel,1999; Teufel et. al. 1999; Teufel and Moens, 1999), English-language articles published in the field of computational linguistics were studied in a similar way. In these publications,

the authors focused on automatic and manual tagging according to seven different tags that they identified in the abstract and introduction sections of the articles. Like Feltrim et al., these studies also focused on the abstract and introduction, and the labeling of these sections is emphasized instead of a holistic evaluation of the articles.

In Turkish scientific articles, classification and summarization have generally been studied as in (Kemaloğlu Alagöz, 2022). Apart from our study, no other study has been found that includes all parts of the article, from the abstract to the bibliography, and performs a holistic evaluation with statistical methods and artificial intelligence.

In this article, 492 full-text Turkish research articles in the field of computer science were evaluated. The 492 articles used in our study were randomly selected from TR Index, SCI-EXPANDED and ESCI indexed journals that include Turkish academic articles. These journals were specifically chosen to create a large data set as they have different quality standards and content coverage. The main scoring concept of the study is shown in the Figure 1.

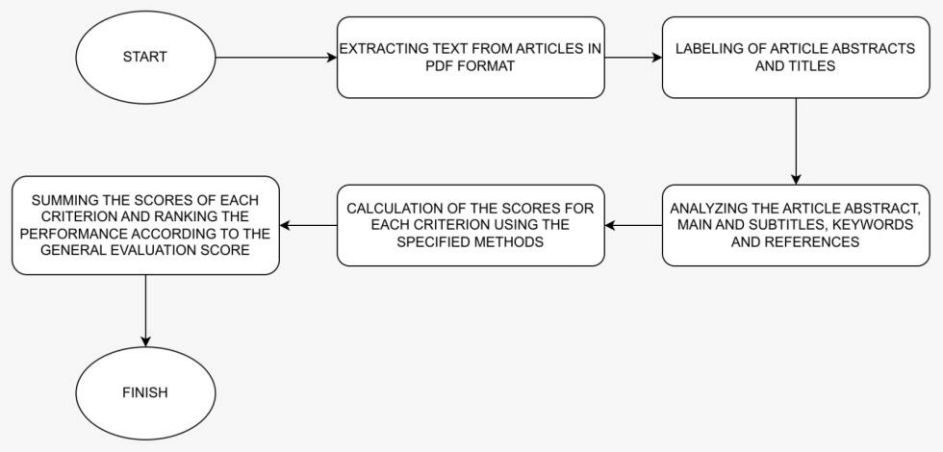


Figure 1. The main scoring concept of the study

While evaluating the articles, five criteria were used to determine the completeness of all sections. These criteria are defined as the integrity of abstract and content, the availability of main concepts in the abstract, the availability of standard headings, the frequency of titles and keywords contained in the content, and the percentage of recent publications in the references. The weights of these criteria were determined intuitively by our labeling experts.The criteria and the scoring value of each criterion are given in Figure 2.

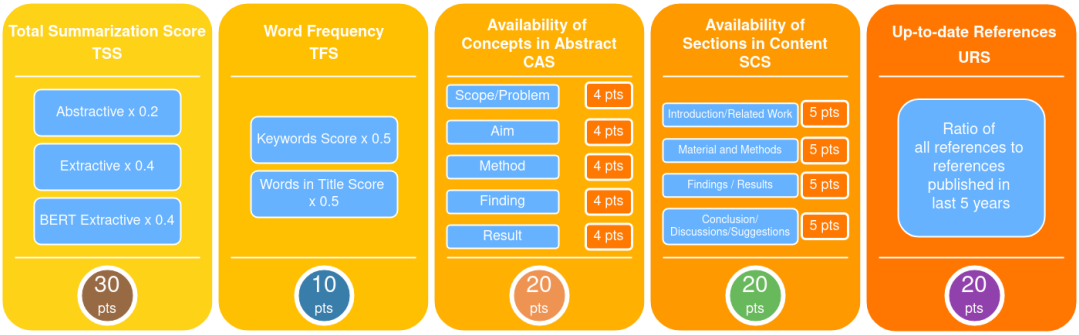


Figure 2. Criteria and overall score distribution

2. Material and Method

2.1. Natural Language Processing (NLP)

NLP is the process of making the desired inferences from a pre-processed text written in any natural language and producing an answer using various AI methods. In everyday life, search engines, voice assistants on phones, language translation tools, etc. are NLP applications. The field began in the 1950s with rule-based systems, and in the 1990s with statistical methods. Between 2000 and 2014, ML methods and now DL methods and their applications have been used to process text data (Campesato, 2021). To analyze the text and get successful results, some preprocessing should be done, such as cleaning the text from punctuation and stop words, lowercasing all letters, tokenizing, stemming, and lemmatizing the text. Stop words are defined as words in the text that have less meaning compared to other words. For example, conjunctions are stop words. Tokenization is the process of breaking the text into smaller pieces. The division into words or sentences is determined by the algorithm or purpose of the processing. Stemming is the process of leaving only the stem of a word and deleting the rest.

Term Frequency (TF) is one of the statistical approaches in NLP. The importance of a word is determined by the number of times it occurs in the text. Term Frequency - Inverse Document Frequency (TF-IDF) is a technique that gives an opinion about how important this word is for this text (Zhou et al., 2024).

Word2Vec is a word embedding method used in NLP applications. In this method, words are represented by vectors according to their mutual meanings. Similar words are represented with similar vectors in distance, and unrelated words are represented with a greater distance in vector space (Mallik and Kumar, 2024). CBOW (Continuous Bag of Words) and Skip-gram are two opposite methods of Word2Vec. CBOW tries to find the word in the middle, while Skip-gram tries to find the words between the input words (Chen et al., 2024).

The field of Natural Language Processing (NLP) has made significant progress in automatic text summarization and text classification models, especially after the introduction of deep learning techniques. Automatic text summarization is classified into two different areas: extractive and abstractive summarization. Extractive summarization involves selecting key sentences or phrases from the source text, while abstractive summarization generates new sentences with the same meaning as the

original text (Alsuhaibani, 2023; Shafiq et al., 2023). Recent work has focused on improving these methodologies using deep learning frameworks.

Shopnil (2024) presents a novel text summarization approach that uses K-means clustering and sentence embedding without relying on traditional word embedding techniques. This method demonstrates the flexibility of deep learning in effectively summarizing large volumes of text.

Gao and Karuna (2023) investigated the use of Recurrent Neural Networks (RNNs) for automatic abstractive summarization, emphasizing the importance of preserving the underlying meaning of the text while vectorizing words and sentences. In the same vein, Shafiq et al. (2023) argue that creating coherent summaries requires a deep understanding of the semantics of the text. Sun et al. (2021) also proposed the integration of attention mechanisms and deep reinforcement learning to optimize the summarization process. The use of transducer-based models such as BERT has revolutionized summarization tasks by providing robust contextual embeddings that improve the quality of the generated summaries (Vaswani et al., 2017; Teng, 2023).

2.2. Automatic Text Summarization

Automatic text summarization is the process of identifying the important points of text content and separating them from the rest of the content. There are three main approaches used for automatic summarisation. These are extractive summarizing, which is the approach of selecting the sentences representing the main idea in the text and summarizing them without changing them, and abstractive summarizing, which is the approach of perceiving the main idea in the text and expressing it with new sentences. The approach formed by using these two approaches together is known as hybrid summarization. (Erhandı et al., 2020).

In the field of text classification, deep learning models have outperformed traditional machine learning approaches on several tasks, including sentiment analysis and topic categorization. Minaee et al. (2021) presented a comprehensive review detailing the architectures and performance metrics of more than 150 deep learning models. In their comprehensive review, the authors found that implementing more sophisticated models that utilize large datasets and complex neural networks will yield better results. In recent years, advances in deep learning models have brought significant innovations in the field of text summarization. In particular, models such as BART, PEGASUS and T5 are capable of generating more natural and human-like summaries by capturing the meaning of texts. BART performs strongly in language modeling and sequence prediction tasks using both encoder and decoder structures (Lewis et al., 2020). PEGASUS is a model specifically designed for summarization and is notable for its ability to extract main sentences from input text (Zhang et al., 2020). The T5 model reduces text processing tasks to a “transformation” problem and is flexible, so it can be used effectively for summarization and other natural language processing tasks (Raffel et al., 2020). However, these models have important limitations. For example, in morphologically rich languages such as Turkish, the effectiveness of these pre-trained models may not be at the desired level due to the limited data sets. Moreover, the high

computational costs required for training these models pose challenges in terms of both time and resources.

Moreover, the integration of advanced techniques such as transfer learning has been crucial in improving classification results. This approach allows pre-trained models on large datasets to be fine-tuned for specific tasks, significantly reducing the amount of labeled data and training time required for training (Singh & Mahmood, 2021). The effectiveness of these models is further supported by the systematic review conducted by Tahseen, which highlights the growing need for automated systems that can efficiently process and classify large amounts of textual data (Tahseen, 2021).

2.3. BERT

BERT, translated into Turkish as 'Bidirectional Encoding Representations from Transformers', is a pre-trained language detection model developed by Google Artificial Intelligence. After pre-training the model, a second training, called fine-tuning, is applied to the desired target. This modelling technique with two-step training is called Transfer Learning. Thanks to the pre-trained models, it is possible to obtain high successful results in a shorter time with less data.

BERTScore basically calculates the matches between the reference sentence (x) and the candidate sentence (ˆ x) by utilising the cosine similarity between two sentences. With the BERT algorithm, words separated from sentences are obtained. The BERT Score metric is measured by the F1 score (Equation 3), which is calculated from the recall (Equation 1) and precision (Equation 2) values (Kemaloğlu Alagöz, 2022).

$$R_{BERT} = \frac{1}{|x|}\sum_{x_i \in x} \max x_i^T \hat{x}_j \ , \ (\hat{x}_j \in \hat{x}) \tag{1}$$

$$P_{BERT} = \frac{1}{|\hat{x}|}\sum_{\hat{x}_j \in \hat{x}} \max x_i^T \hat{x}_j \ , \ (x_i \in x) \tag{2}$$

$$F_{BERT} = 2\frac{P_{BERT} \cdot R_{BERT}}{P_{BERT} + R_{BERT}} \tag{3}$$

3. Findings

3.1. Collecting Dataset

In this study, academic papers in computer science written in Turkish are used, which are served by Dergipark, a process management system and data repository for electronic academic papers in Turkey. Papers published in SCI-EXPANDED, ESCI and TR-indexed electronic journals are especially preferred. TR Index (Formerly National Databases-UVT) is a national citation index in Turkey, which can be searched on the website, containing articles from national, peer-reviewed, scientific journals at the end of science and social science topics, and bibliographic/full-text information from TUBITAK

(Scientific and Technological Research Council of Turkey). TR Index service, TUBITAK ULAKBIM (National Academic Network and Information Center) by link (STRCT, 2000). Table 1 shows the representative names of the journals and the indexes in which they are searched. The journals and articles selected for review have been renamed without using their full names in accordance with ethical values. The papers evaluated from each journal vary because of the limited availability of papers that provide the expected conditions.

Table 1. Evaluated papers published by electronic journals

Journal	SCI –E.	ESCI	TR Index	Count
Journal A	-	-	+	128
Journal B	+	-	+	73
Journal C	-	-	+	53
Journal D	-	-	+	48
Journal E	-	+	-	40
Journal F	-	-	+	38
Journal G	-	+	+	30
Journal H	-	-	+	21
Journal I	-	-	+	13
Journal J	-	-	+	10
Journal K	-	-	+	9
Journal L	-	-	+	6
Journal M	-	-	+	5
Journal N	-	-	+	4
Journal O	-	-	+	3
Journal P	-	-	+	3
Journal R	-	-	+	3
Journal S	-	-	+	3
Journal T	-	-	+	1
Journal U	-	-	+	1

3.2. The Integrity of Abstract and Content

As a first step, the articles in the journals listed in Table 1 are downloaded as PDFs, and the plain text in the PDFs is extracted using the X-PDF library in PHP. In order to tag the corresponding concepts in the abstracts and standard sections of the abstracted text, a platform is built and published on the web. Three Ph.D. specialists in computer science separately labeled the sentences of the abstracts and divided the articles into standard sections. The highest selected label in the specialists' count is considered as the final evaluation of that abstract sentence or section. If there is no conclusion, the concept of the sentence or the standardized heading for the section is discussed by the experts until there is a conclusive one. Figure 3 shows the main concepts in the abstracts. The text of the articles in the figure is blurred to protect the anonymity of the articles and journals. These concepts are explained in items as follows:

Scope/Problem - Sentences that refer to the scope of the work or define the problem and related work.

Purpose - Sentences that refer to the main purpose of the work.

Method - Sentences that refer to the scope of the work or define the problem and related work.

Findings - Sentences related to the main purpose of the work.

Result - Sentences that refer to the scope of the work or define the problem, as well as related work.

Figure 3. Interface for marking abstract concepts in the platform

The order of writing scientific articles has been developed for easier understanding by the readers and the IMRAD (Introduction, Methods, Results, and Discussion) model has been accepted by almost all segments. In this context, each journal imposes formal constraints that must be followed when writing articles nowadays. While in some journals these restrictions are very strict, in others the author is free to determine the subject headings of the article.

Figure 4 shows the standard main sections of an article. The text of the articles in the figure is blurred to protect the anonymity of the articles and journals. These sections are as follows

- Introduction/Related Work
- Methods
- Results
- Conclusion/Discussion/Suggestion

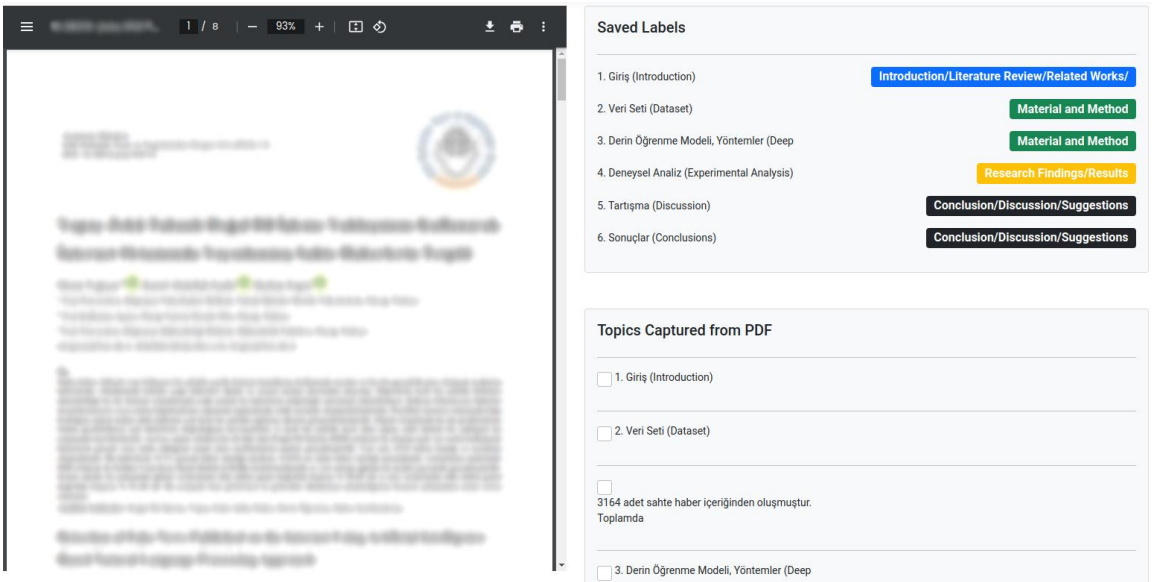


Figure 4. Interface for marking main sections in the platform

According to Gastel & Day, an abstract of a scientific study should be written in the past tense, state the scope and purpose of the research, define the method and methodology, summarize the research findings, and state the main results (Gastel and Day, 2022). Except in special cases, the abstract should not be cited. An abstract is a projection of the entire article content, which is expected to include elements from the main headings of the article (Gastel and Day, 2022).

In order to analyse the extent to which the articles obtained overlap with the existing abstracts, the extent to which they overlap with the abstracts of the articles was analysed using the accepted summarisation methods in the literature. For the analysis, two different inferential (Miller, 2022; Kemik, 2020) and one abstractive (Veyssier, 2020) summarisation models available in the literature were used. For inferential summarisation, the BERT Inferential Summarisation model was preferred. For this model, all articles were given to the system in order and the BERT Model was asked to create a summary containing an equal number of sentences with the main summary of the article. Afterwards, the extent to which these two summaries overlap was determined by looking at the BERT Score similarity.

Scores were calculated for each article using the outcome of the model (Kemik, 2020) and F-scores were obtained using the BERT score metric. Equation 4 gives the formulation of the Extractive Summarization Score (ES).

$$\mathrm{ES} = \mathrm{F} - \mathrm{Score(ES)} * 0.4 * 30 \tag{4}$$

Scores were calculated for each article using the outcome of the model (Miller, 2022) and F-scores were obtained using the BERT score metric. Equation 5 gives the formulation of the Extractive Summarization Score (EBS) using BERT.

$$EBS = F - Score(EBS) * 0.4 * 30 \tag{5}$$

Scores were calculated for each article using the outcome of the model (Veyssier, 2020) and F-scores were obtained using the BERT score metric. Equation 6 gives the formulation of the Abstractive Summarization Score (AS).

$$AS = F - Score(AS) * 0.2 * 30 \tag{6}$$

The Total Summarization Score (TSS) is the sum of the three summarization scores (Equations 4, 5 and 6) of the article (Equation 7).

$$TSS = ES + EBS + AS \quad (7)$$

The integrity of the abstract and content is considered the most important criterion because abstracts are read first by researchers and are an important part that gives clues about the whole content. That's why this criterion represents 30% of the OS (Overall Score) and is called TSS (Total Summarization Score). Two extractive summarization methods equally share 80% of TSS and the abstractive summarization method forms 20% of TSS. Due to the challenges of abstractive summarization in Turkish, abstractive summarization affects OS less than extractive summarization methods.

3.3. The Availability of Main Concepts in Abstract

An abstract of a scientific article should contain sentences that address all the main concepts (Gastel and Day, 2022) In this study, the absence of one or more scope/problem, aim, method, finding, or result concepts in the abstract, leading to inconsistency, is considered a negative point of the article. This criterion affects 20% of OS and is called CAS. The availability of each concept adds 4% to the OS. No points are awarded for the absence of a concept. Table 4 shows the results of the evaluation of the availability of the main concepts in the articles.

Table 4. The availability of main concepts in abstract

Availability	SP	A	M	F	R
Available	421	374	447	199	322
N/A	71	118	45	293	170

SP: Scope/Problem label, M: Method label, F: Finding label, R: Result label

According to the evaluation, there was no scope/problem label in 71 articles, 118 articles did not have a main purpose, 45 articles were unable to mention the method of the work, 293 articles lacked to mention the findings of the research and 170 articles did not have judgments inferred from the findings. Most of the abstracts focused on scope/problem and method rather than findings, results, and final judgments. There were two articles with 4 points, 54 articles with 8 points, 158 articles with 12 points, 210 articles with 16 points, and 68 articles with 20 points.

3.4. The Availability of Standard Sections

In the absence of journal restrictions, some of the standard sections have not been used or have been combined with another standard section. An effectively presented article should not have missing sections or unnecessarily exaggerated headings. This criterion evaluates whether or not the article has these standard sections. The availability of standard sections criterion affects 20% of the OS and is called SCS. The availability of sections labeled according to the IMRAD standard is added to the OS by 5%. Nothing is added to OS if the article does not contain the standard section. In Table 5, the number of articles with standard sections was reported as present and absent. It is observed that every article had an Introduction/Related Works section, one article did not have a Materials and Methods section, the

Results section was missing in 81 articles, and three articles did not have a Conclusion/Discussion/Suggestions section.

Table 5. The availability of standard sections in content

Availability	I/ RW	MM	R	C/D/S
Available	492	491	411	489
N/A	0	1	81	3

I/RW: Introduction/Related Work, MM: Material and Method, R: Results, C/D/S: Conclusion/Discussion/Suggestions

It is also seen that the Results and Conclusion/Discussion/Suggestions sections were mostly mixed. It is found that there were 85 articles with 15 points, 407 articles with 20 top points.

3.5. The Availability of Keyword Frequencies

Keywords are chosen from the terms related to the work that are not included in the title or are slightly different. The purpose of defining keywords in an article is to increase the accessibility of the work in search results. A consistent scientific paper is expected to contain an optimal level of keyword repetition. When scoring by keyword frequency, the sum of keyword frequencies in each article was divided by the total number of words in the article during the article evaluation process. Table 6 shows the distribution of keywords according to their repetition percentages in the article.

Table 6. Percentage of keyword frequency in articles

Percentage rate (%)	Article count
8-100	0
7-8	1
6-7	3
5-6	7
4-5	13
3-4	39
2-3	88
1-2	140
0-1	201

Thus, SKWF (Keyword Frequency Score), the total percentage frequency of keywords in the article compared to the article was obtained. In the content of all articles the word "olarak" was found to be the word with the highest frequency (15194 times). The frequency value of the word with the highest frequency was proportional to the total number of words in the whole article, and the percentage of the highest frequency value (unit frequency) was found. The value of optimal SKWF is obtained by multiplying this value by the number of keywords in the article. Given the values found, the Keyword Frequency Score KWFS was obtained using Equation 8.

$$KWFS = \frac{SKWF_{(Optimum)} - SKWF}{SKWF_{(Optimum)}} * 5 \quad (8)$$

In this equation, the higher SKWF does not mean the higher KWFS. To show the difference, the article with the largest SKWF and the largest KWFS is given in Table 7.

Table 7. The largest SKWF and the largest KWFS comparison

ID	FS	KC	UF	Opt SKWF	KWFS
432	4.967	5	0.99	4.95	4.982
106	7.012	5	0.99	4.95	2.916

ID: Record Number, FS: Frequency Sum, KC: Keyword Count, UF: Unit Frequency, Opt. SKWF: Optimum Sum of Keywords Frequency, KWFS: Keyword Frequency Score

The distribution of keywords in the article criterion affects 5% of the OS. On the other hand, article titles are the most searched parameter. That's why words in a title should be the most defining parts of a scientific paper. The content of a consistent article should contain significant repetition of these words. When scoring according to the frequency of the words in the title, the sum of the frequencies of the words that make up the title of each article is divided by the total number of words in the article during the evaluation process of the article. This gives the STWF, the total percentage frequency of the words in the title of the article compared to the whole article.

Unlike the evaluation performed for keywords, stop words in the title and article content are neglected. The frequency value of the word with the highest frequency in the content of all articles was proportional to the total number of words in the whole article, and the percentage of the highest frequency value (unit frequency) was found. The value of optimal STWF was obtained by multiplying the unit frequency value by the number of words in the title of the article. Given the values found, the Title Words Frequency Score TWFS was obtained using Equation 9.

$$TWFS = \frac{SKWF_{(Optimum)} - SKWF}{SKWF_{(Optimum)}} * 5 \quad (9)$$

Table 8. Percentage of article title word frequency

Percentage rate (%)	Article count
22-100	0
20-22	1
15-20	8
10-15	63
5-10	279
0-5	141

Table 8 shows the distribution of title words according to their repetition percentages in the article. In Equation 6, the larger STWF does not mean the larger TWFS. To show the difference, the article with the largest STWF and the article with the largest TWFS are shown in Table 9.

Table 9. The largest SKWF and the largest KWFS comparison

ID	FS	TWC	UF	Opt. STWF	TWFS
233	9.993	10	1	10	4.997
122	21.943	14	1	14	2.163

ID: Record Number, FS: Frequency Sum, TWC: Keyword Count, UF: Unit Frequency, Opt. STWF: Optimum Sum of Title Words Frequency, TWFS: Title Word Frequency Score

The distribution of title words in the article criterion affects 5% of the OS. In Equation 10, the Sum of Keywords Frequency Score (KWFS) and Title Words Frequency Score (TWFS) are equal to Total Frequency Score (TFS).

$$TFS = KWFS + TWFS \tag{10}$$

3.5. The Percentage of Recent Publications in the References

The publication date of other publications from which scientific research benefits gives serious clues as to the current research. For this reason, one of the study's criteria was to extract the distribution of the publication dates of the sources in the bibliography section and to gradually score them according to the percentage of recent articles in this distribution. According to the specified criteria, PHP regex was used to determine what percentage of the references in the bibliography were published in the last five years according to the publication date of the evaluated article, and a share of 20% of the overall evaluation was distributed to each evaluated article according to this percentage.

$$URS = \frac{URC}{TRC} * 20 \tag{11}$$

In Equation 11, it is shown that the Up-to-date Reference Score (URS) is equal to the multiplication of 20 and the Up-to-date Reference Count (URC) by the Total Reference Count (TRC). At least half of the references published in the last five years are observed in 178 articles (Table 10).

Table 10. Percentage of article title word frequency

Percentage rate (%)	Article count
90-100	10
80-89	14
70-79	27
60-69	45
50-59	82
0-49	314

4. Results

The articles were sorted in descending order by their OS. The articles with the highest and lowest scores are listed in Table 11 and Table 12.

Table 11. Top 5 articles with the highest OS

Rep. Name	ID	TSS	CAS	SCS	TFS	URS	OS
Journal D	358	15.422	20	20	9.478	20	84.900
Journal A	137	18.631	20	20	3.054	16.800	78.485
Journal D	316	12.357	20	20	7.945	16.667	76.969
Journal A	180	15.632	20	16	8.265	16.667	76.564
Journal D	281	10.756	20	20	6.334	17.241	74.331

Table 12. Bottom 5 articles with the lowest OS

Rep. Name	ID	TSS	CAS	SCS	TFS	URS	OS
Journal L	473	6.405	20	12	3.753	0	42.158
Journal E	320	7.013	20	8	3.286	3.125	41.424
Journal F	315	8.833	15	12	5.230	0	41.063
Journal A	195	6.987	15	8	5.211	5.714	40.912
Journal H	375	7.976	20	8	4.842	0	40.818

Table 13 shows the average scores of the articles grouped by the journals in which they were published.

Table 13. Average scores of the journals

Rep. Name	Article Count	Average Score
Journal P	3	64.928
Journal K	9	61.383
Journal T	1	61.255
Journal C	53	60.828
Journal D	48	60.511

Scientific article titles are an important element that summarizes the content of the study and aims to attract the reader's attention. In the field of natural language processing (NLP), acrostics (e.g. names of models such as BART, PEGASUS, T5) are frequently used. Such acrostics offer the advantage of increasing memorability while summarizing technical details. However, overuse of such words, which are not always directly linked to the content, can prevent the title from fully representing the study. Alternatively, choosing descriptive and highly representative words that better reflect the content can make the work easier to find and understand.

In this context, it is clear that the choice of title requires a balance. On the one hand, short and expressive phrases such as acrostics are important to engage the reader and create a certain brand perception. On the other hand, accurate and effective representation of the content is critical for titles to provide direct information to the reader. Therefore, while utilizing the advantages of acrostics in the selection of titles in natural language processing studies, it is necessary to ensure that the title clearly reflects the scientific content.

5. Conclusions and Discussions

In the literature, no publication is directly related to the semantic integrity of academic publications. This may be due to the fact that each journal accepts articles to be published with different scope, format,

and expertise values. In this study, it was observed that each journal, even in different volumes of the same journal, had different formal characteristics, and these differences were perhaps the most challenging part of the study.

The results of the evaluation reveal striking results in terms of the format of the articles examined and the elements that should be included in the article expression. As a result of the overall evaluation, the highest score was given to the article with registration number 358 with 84,900 points, and the lowest score was given to the article with registration number 197 with 34,733 points. Journals P, K, and T stand out as the most successful journals with average article scores of 64.928, 61.383, and 61.255, respectively.

In the summarization part, the low similarity between the abstract generated after applying the abstractor, summarizer and BERT-driven summarizer and the original abstract reveals that the abstract sentences that are expected to represent the relevant article section have poor representativeness. This situation shows that the abstract section is not written carefully in Turkish computer science research articles.

In addition, it was found that only 68 of the 492 articles included in the evaluation included all the concepts in the abstracts labeled by the experts, while 85 articles did not include any of the main headings. In addition, it was found that only 68 of the 492 articles included in the evaluation contained all concepts in the abstracts labeled by the experts, and 85 articles did not contain any of the main headings. The experts involved in the evaluation during the research process expressed the opinion that the IMRAD standard used in scientific publications shortens the process of reading and understanding the article. As a result, it was concluded that the Abstract section of the majority of the articles reviewed was partially or largely devoid of terms indicating the scope, problem, purpose, method, results, and conclusion. It was found that in 11 articles none of the keywords were included in the article content, and in the bibliography of 17 articles there was no reference within the last five years from the date of publication.

As a result of the developments in the IT sector and digitization, scientists perform literature searches on the various platforms where scientific publication databases are located, searching for the studies they are interested in. From time to time, scientists have difficulties in finding the appropriate keywords, sometimes do not find what they are looking for, have to sift through many irrelevant publications, or can only reach all the publications on the relevant subject by trying several different search methods. This situation leads to the fact that important works encountered during the working period are discovered much later and often too late, wasting effort, energy and time. It is estimated that this study will raise awareness for the use of more accurate and effective titles and keywords in future academic studies, more effective writing of abstracts, and more consistent content creation.

Future studies will consider automating the labeling of the concepts that make up the abstract using appropriate machine learning algorithms, developing the application of the work done in this study as an evaluation tool, and applying it in different languages.

Conflict of Interest

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

Author's Contributions

The authors contributed equally to the study.

References

Alsuhaibani M. Fine-Tuned Pegasus: Exploring the performance of the transformer-based model on a diverse text summarization dataset. 9th World Congress on Electrical Engineering and Computer Systems and Sciences (EECSS'23), August 03-05 2023, London.

BERT Extractive Summarizer. 2020; https://github.com/dmmiller612/bert-extractive-summarizer. (Access Date: 11.02.2025)

Campesato O. Natural language processing fundamentals for developers. Herndon: Mercury Learning and Information; 2021.

Chen YM., Lin P., Yeh EH., Yang SR., Lu R. CPBW: A change-point-detection and bag-of-words based mechanism utilizing smartphone triaxial accelerometer data for driver identification. IEEE Internet of Things Journal 2024; 11(18): 29766-29780.

Erhandı B., Text summarization with deep learning. Sakarya University Institute of Science and Technology, Master Thesis, Sakarya, Turkiye, 2020.

Feltrim VD., Pelizzoni JM., Teufel S., Das Graças Volpe Nunes M., Aluísio SM. Applying argumentative zoning in an automatic critiquer of academic writing. 17th Brazilian Symposium on Artificial Intelligence, September 29-Ocotber 1 2004, Sao Luis.

Gastel B., Day RA. How to write and publish a scientific paper. New York: Bloomsbury Publishing; 2022.

Jackson P., Moulnier I. Natural language processing for online applications: Text retrieval, extraction and categorization Chapter 1: Natural language processing. John Benjamins Publishing Company 2002; 1-17.

Karuna G., Akshith M., Dinesh PS., Vardhan BV., Bisht YS., Narsaiah MN. Automated abstractive text summarization using deep learning. 15th International Conference on Materials Processing and Characterization (ICMPC 2023), September 5- 8 2023, England.

Kemaloğlu Alagöz N. Automatic text summarization with deep learning. Süleyman Demirel University Institute of Science and Technology, PhD. Thesis, Isparta, Turkiye, 2022.

Kemik Doğal Dil İşleme Grubu 2020; http://www.kemik.yildiz.edu.tr/. (Access Date: 11.02.2025)

Lewis M., Liu Y., Goyal N., Ghazvininejad M., Mohamed A., Levy O., Stoyanov V., Zettlemoyer L. BART: Denoising sequence-to-sequence pre-training for natural language generation, translation, and comprehension. arXiv preprint arXiv:1910.13461. 2020.

Mallik A., Kumar S. Word2Vec and LSTM based deep learning technique for context-free fake news detection. Multimedia Tools and Applications 2024; 83(1): 919-940.

Mcculloch WS., Pitts W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. Bulletin of Mathematical Biophysics 1943; 5: 115–133.

Minaee S., Kalchbrenner N., Cambria E., Nikzad N., Chenaghlu M., Gao J. Deep learning--based text classification: a comprehensive review. ACM computing surveys (CSUR) 2021; 54(3): 1-40.

Mwandau B. Investigating keystroke dynamics as a two-factor biometric security. Strathmore University, Faculty of Information Technology, PhD. Thesis, Nairobi, Kenya, 2018.

Raffel C., Shazeer N., Roberts A., Lee K., Narang S., Matena M., Zhou Y., Liu PJ. Exploring the limits of transfer learning with a unified text-to-text transformer. Journal of Machine Learning Research 2020; 21(140): 1-67.

Russel SJ., Norvig P. Artificial intelligence: A modern approach. New Jersey: Pearson Education Publishing; 2013.

Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu. 2000; https://trdizin.gov.tr. . (Access Date: 11.02.2025)

Shafiq N., Hamid I., Asif M., Nawaz Q., Aljuaid H., Ali H. Abstractive text summarization of low-resourced languages using deep learning. PeerJ Computer. Science 2023; 9: e1176.

Shaik T., Tao X., Li Y., Dann C., McDonald J., Redmond P., Galligan L. A review of the trends and challenges in adopting natural language processing methods for education feedback analysis. IEEE Access 2022; 10: 56720-56739.

Shopnil TA., Das A., Saha D. Automatic text summarization using deep learning methods. Authorea Preprints 2024.

Singh S., Mahmood A. The NLP cookbook: Modern recipes for transformer based deep learning architectures. IEEE Access 2021; 9: 68675–68702.

Sun G., Wang Z., Zhao J. Automatic text summarization using deep reinforcement learning and beyond. Information Technology and Control 2021; 50(3): 458-469.

Tahseen R., Omer U., Farooq MS., Adnan F. Text summarization techniques using natural language processing: A systematic literature Review. VFAST Transactions on Software Engineering 2021; 9(4): 102-108.

Teng K., Qiang B., Wang Y., Yang X., Wang Y., Wang C. Abstractive text summarization model based on BERT vectorization and bidirectional decoding. International Conference on Cyber Security, Artificial Intelligence, and Digital Economy (CSAIDE 2023), March 3-5 2023, China.

Teufel S. Argumentative zoning: information extraction from scientific text. University of Edinburgh, PhD. Thesis, Scotland, 1999.

Teufel S., Carletta J., Moens M. An annotation scheme for discourse-level argumentation in research articles. Ninth Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics, June 8-12 1999, 110-117, Norway.

Teufel S., Moens M. Discourse-level argumentation in scientific articles: Human and automatic annotation. In Proceedings of the ACL99 Workshop on Standards and Tools for Discourse Tagging 1999; 10: 977035-977051.

Vaswani A., Shazeer N., Parmar N., Uszkoreit J., Jones L., Gomez AN., Kaiser Ł., Polosukhin I. Attention is all you need. 31st International Conference on Neural Information Processing Systems, December 4 – 9 2017, Cambridge.

Veyssier L. Abstractive text summarization model in Keras. 2020; https://github.com/LaurentVeyssier/Abstractive-Text-Summarization-model-in-Keras. (Access Date: 11.02.2025)

Zhang J., Zhao Y., Saleh M., Liu P. Pegasus: Pre-training with extracted gap-sentences for abstractive summarization. 37th International Conference on Machine Learning, July 13-18 2020, Austria.

Zhou J., Ye Z., Zhang S., Geng Z., Han N., Yang T. Investigating response behavior through TF-IDF and Word2vec text analysis: A case study of PISA 2012 problem-solving process data. Heliyon 2024; 10(16): e35945.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1042-1060, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1042-1060, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Öğrenci Başarısı Tahmininde Scikit-Learn Kullanımı

Tolga DEMİRHAN[1*]

[1]Trakya Üniversitesi, Tunca MYO, Edirne

[1]https://orcid.org/0000-0001-9840-4457
*Sorumlu yazar: tolgademirhan@trakya.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 05.09.2024
Kabul tarihi: 03.02.2025
Online Yayınlanma: 16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Scikit-learn
Makine öğrenmesi
Öğrenci başarısı tahmini

ÖZ

Öğrencilerin başarı durumunu öngörmek tüm eğitim kurumları tarafından istenen bir durum olmakla birlikte başarıya etki eden çok faktör olması ve verilerin normalde dengesiz olmasından dolayı oldukça zordur. Bu zorlu süreçte, öğrencinin başarısını tahmin etmek için makine öğrenmesi yaklaşımlarından faydalanılmaktadır. Deneyime dayalı bir yaklaşım olan makine öğrenmesi çalışmalarında; araştırmaya konu olan veri setinin elde edilmesi bu yaklaşımın önemli bir adımıdır. Ancak elde edilen veriler ile işlem ve analizler yapabilmek zordur. Bununla birlikte zaman alıcı ve maliyetli olabilmektedir. Bu sorunun üstesinden gelmek için Scikit-learn gibi ücretsiz python kütüphanelerinden faydalanılabilmektedir. Bu çalışmada; eğitim alanlı veri setlerinde büyük öneme sahip öğrenci performans tahmin işlemlerinin, Scikit-learn kullanılarak analiz edilmesi ve sürecin kullanılan kod betikleri ile birlikte paylaşılarak literatüre ve araştırmacılara katkı sunması amaçlanmıştır. Bu bağlamda çalışmada sırasıyla Naive Bayes (NB), Rastgele Orman (RO), Destek vektör Makinesi (DVM), Karar Ağacı (KA) algoritmaları kullanılmıştır. Geliştirilen tahmin modelinin başarısını ifade etmek için akademik araştırmalarda yaygın olarak kullanılan doğruluk, kesinlik, duyarlılık, F1-puan, kappa ve karışıklık matrisi ölçütleri kullanılmıştır.

Using Scikit-Learn in Student Achievement Prediction

Research Article

Article History:
Received: 05.09.2024
Accepted: 03.02.2025
Published online: 16.06.2025

Keywords:
Scikit-learn
Machine learning
Student achievement prediction

ABSTRACT

Predicting student achievement is desired by all educational institutions, but it is difficult due to the many factors that influence achievement and the normally unstable nature of the data. In this challenging process, machine learning approaches are utilized to predict student achievement. In machine learning studies, which is an experience-based approach, obtaining the data set subject to the research is an important step in this approach. However, it can be difficult, time-consuming and costly to process and analyze the obtained data. To overcome this problem, free python libraries such as Scikit-learn can be utilized. In this study, it is aimed to analyze student performance prediction processes, which are of great importance in educational data sets, using Scikit-learn and to contribute to the literature and researchers by sharing the process with the code scripts used. In this context, Naive Bayes (NB), Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), Decision Tree (DT) algorithms were used respectively. Accuracy, Precision, Recall, F1-score, kappa and confusion matrix criteria, which are widely used in academic research, were used to express the success of the developed prediction model.

To Cite: Demirhan T. Öğrenci Başarısı Tahmininde Scikit-Learn Kullanımı. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1042-1060.

1. Giriş

Öğrencilerin okulda başarısızlık riskinin tahmin edilmesi, birçok faktörün etkisi ve verilerin genellikle dengesiz doğası nedeniyle oldukça karmaşık bir süreçtir. Bu soruna çözüm arayışında, birçok ülke öğrencilerin başarısızlık nedenlerini anlamaya yönelik girişimlerde bulunmaktadır. Bu bağlamda, öğrenci başarısızlığını öngörebilmek ve çözüm yolları geliştirebilmek için makine öğrenimi yaklaşımlarının yaygın biçimde kullanıldığı görülmektedir (Bhawana ve ark., 2014). Makine öğrenimi, veri setleri üzerinde çalışarak verilerden öğrenme ve bu öğrenimi genelleştirme imkânı sunan bir yöntemdir (Namlı ve ark., 2019).

Makine öğreniminde kullanılacak eğitim alanlı veri setleri, sınıf ortamında yüz yüze görüşmeler, anketler veya okul otomasyonlarından elde edilen kayıtlardan oluşturulabilmektedir. (Araque ve ark., 2009). Eğitim alanlı bir veri seti ile yapılacak makine öğrenmesi sürecinde kilit öneme sahip işlem; öğrencinin eğitim kurumlarındaki performansını tahmin edecek öğrenci performans tahmin modellerinin geliştirilmesidir (Khan ve ark., 2019). Veri madenciliği teknikleri ile bu hedefe ulaşılmaya çalışılırken çoğunlukla "sınıflandırma" yöntemi tercih edilmektedir. Sınıflandırma yöntemleri kullanılarak, veriler önceden belirlenmiş gruplara atanır ve bu yöntem yüksek doğruluk oranıyla öğrenci performansını tahmin etmede avantaj sağlar (Guleria ve ark., 2014). Bu tür tahmin modellerinin geliştirilmesi sadece eğitim kurumlarının öğretim kalitesini artırmakla kalmaz, aynı zamanda akademik başarı riski altında olan öğrencilerin erken dönemde tespitine de olanak tanır (Khan ve ark., 2019).

Makine öğrenimi alanında öğrenci performansını anlamaya yönelik yapılan bir dizi çalışma aşağıda özetlenmiştir:

Belachew ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada; Wolkite Üniversitesi kayıt ofisinden her bir kayıt için tutulan 34 öznitelikten seçilen 11 tanesi kullanılarak 993 öğrencinin performansını tahmin etmek için bir model geliştirilmiştir. Model oluşturmak için; Neural Nets (MLP), Naive Bayesian, destek vektör makinesi, makine öğrenme algoritmaları kullanılmıştır. Deneyler sonucunda bu algoritmalar içerisinde en başarılı tahmin yapan algoritmanın Naive Bayes olduğu bulunmuştur (Belachew ve ark., 2017).

Soni ve ark. (2018) ise öğrenci performansını, akademik, davranış, müfredat dışı ve yerleştirme olarak adlandırılan dört özellik kategorisi kullanılarak ölçmüştür. Çalışmada farklı üniversitelerden 2.000 öğrenciye uygulanan bir anket kullanılarak veri seti hazırlanmıştır. Karar Ağacı, Naive Bayes ve Destek Vektör Makinesi algoritmalarını deneyen araştırmacılar, en iyi tahmin başarısının Destek Vektör Makinesi algoritmasıyla sağlandığını tespit etmişlerdir (Soni ve ark., 2018).

Khan ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada ise programlamaya giriş dersinde öğrencilerin yarıyılın erken dönemlerindeki performanslarına bakılarak olası akademik sonuçlar tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda çalışmada 11 farklı makine öğrenimi algoritması kullanılmış ve sonuçların karşılaştırması sonunda en doğru tahmini J48 Karar Ağacı algoritmasının sağladığı bulunmuştur (Khan ve ark., 2019).

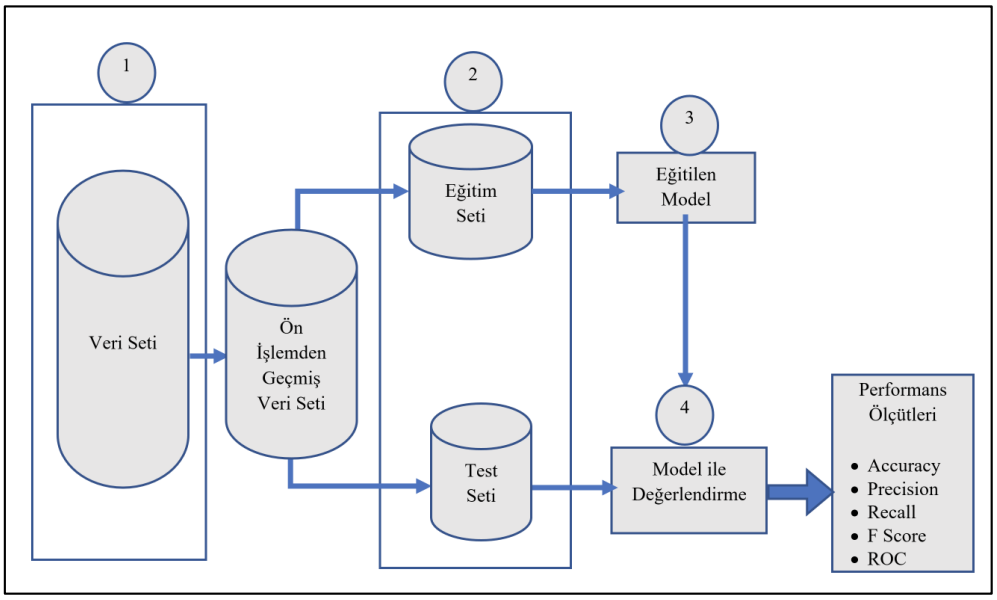
Rony ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmada ise, her biri 25 özniteliğe sahip 522 kayıttan oluşan veri seti üzerinde öğrenci performansını tahmin etmek için Rastgele Orman, K-en yakın komşu (KNN),

Destek vektör sınıflandırma, J48 Karar Ağacı Algoritmalarının kullanıldığı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda Rastgele Orman algoritmasının diğer algoritmalara kıyasla daha başarılı tahmin de bulunduğu tespit edilmiştir (Rahman Rony ve ark., 2020). Günümüzde veriyle çalışan herkesin çok iyi bildiği bir gerçek, bilgi keşfi süreçlerinde makine öğrenmesi ve çeşitli algoritmaların kullanılmasının, özellikle büyük veri setleri üzerinde, artık bir gereklilik haline geldiğidir. Bu bağlamda, makine öğrenmesi araçları önemli bir rol oynamaktadır. Bu tür araçlar ücretli ya da ücretsiz olabilirken, bu çalışmada yıllar içinde daha verimli ve kullanışlı hale gelen, hatta ticari alternatiflerine kıyasla bazı yönlerden daha üstün veya onlarla rekabet edebilir seviyeye ulaşan (Jović ve ark., 2014) Scikit-learn ve Scikit-learn işlemlerine odaklanılmıştır.

Eğitim alanlı veri setleri ile yapılan çalışmalara ait literatür incelendiğinde bu alandaki veri setlerinde Naive Bayes Algoritması, Rastgele Orman (RO), Destek Vektör Makinesi(DVM) ve Karar Ağacı (KA) algoritmalarının en başarılı tahmin sonuçlarını verdiği görülmüştür. Bu kapsamda, çalışmada adı geçen algoritmalar varsayılan ayarlarla Scikit-learn makine öğrenimi aracı üzerinden uygulanmıştır. Veri setinin temizlenmesinden analiz ve başarı değerlendirme aşamalarına kadar tüm süreç boyunca Scikit-learn aracı kullanılmıştır. Veri madenciliğinin her aşamasında Scikit-learn kullanılan ve bu süreçteki kodların paylaşıldığı bir çalışmanın, özellikle bu aracı kullanarak analiz yapmak isteyen araştırmacılar için uygulama odaklı olması sebebiyle değerli bir kaynak olacağı ve literatüre anlamlı bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, Scikit-learn kütüphanesini kullanmak için eğitim alanlı veri setlerinde en başarılı tahminleri sunan dört algoritma seçilmiş ve başarı tahmini için uygulanmıştır. Bu sürece ait adımlar genel olarak aşağıdaki grafikte paylaşılmıştır. Grafik incelendiğinde birinci adımda veri seti oluşturulup üzerinde önişlemler gerçekleştirilmiştir. İkinci adımda veri seti, %20'si test ve %80'i eğitim olmak üzere iki veri setine ayrılmıştır. Üçüncü adımda eğitim için ayrılan veri seti ile algoritmalar eğitilmiştir. Dördüncü adımda oluşan modeller test veri seti üzerinde çalıştırılmış ve elde edilen tahmin sonuçları, test verisinde gerçek sonuçlar ile karşılaştırılarak performans değerleri ortaya çıkarılmıştır.



Şekil 1. İş akış adımları

Grafikte gösterilen aşamalar, sürecin akışına uygun olarak aşağıda açıklanıp kod betikleri ile verilmiştir.

2.1. Veri Kaynağı

Bu çalışmada kullanılan eğitim alanlı veri seti, 2015 yılında yayınlanmış olan doktora tezi kapsamında gerekli idari izinler alınarak oluşturulup kullanılmış olan veri setidir. Bu nedenle ilgili veri setini kullanmak için çalışma öncesinde etik kurul raporu başvurusu yapılmamıştır. Çalışmaya konu olan veri setindeki kayıtlarda Edirne ili ilköğretim okullarının dördüncü sınıfında okuyan öğrencilere isteğe bağlı olarak uygulanan anket ile konu tarama testi sonuçları bulunmaktadır (Demirhan T., 2015).

Eğitim alanı veri setlerini oluşturan örnekler ve bunlara ait öznitelikler geleneksel olarak sınıf ortamında yüz yüze yapılan görüşmeler veya anketler ile oluşturulabilmektedir (Araque ve ark., 2009).

Çalışmada kullanılan veri seti; her bir öğrenciye ait anket ve ünite testi sonuçlarından oluşmaktadır. Her bir öğrenci, aralarında virgülle ayrılmış 33 öznitelikten oluşan bir kayıt olarak temsil edilmiş ve toplamda 717 öğrencinin bilgisi, her biri ayrı bir satıra denk gelecek şekilde txt uzantılı bir metin dosyasına kaydedilmiştir. Söz konusu metin dosyası, veri kaynağı olarak kullanılmıştır.

2.2. Veri Setini Hazırlama

Veri setini hazırlama, veri analizi sürecinde çok önemli bir adım olup orijinal ham kayıtları kullanılabilir hale getirme sürecidir (Stančin ve ark., 2019). Kayıtlar üzerinde çalışmak için öncelikle verinin çekilip, çalışabilir bir forma dönüştürmek gerekir. Bu kapsamda python'un os ve pandas kütüphaneleri kod betiklerine dahil edilip aşağıdaki işlemler adım adım gerçekleştirilmiştir.

- İlk olarak Os kütüphanesinin import anahtar kelimesi ile python a eklenmesini ve verilerin bulunduğu dosyanın içeriğinin okunarak bir diziye eklenmesi için aşağıdaki kod betiği kullanılmıştır.

```
import os

Icerik=[]

f=open("veriseti.txt",'r',encoding='latin1')
for i in f.readlines():
    Icerik.append(i)
```

Şekil 2. Dosyayı oku

- Belgedeki her bir satır, bir öğrenciye ait özellikleri barındırmaktadır ve satırda yer alan bu özellikler birbirleri ile virgülle ayrılmıştır. Kayıt ve kayıtların her bir özelliğini iki boyutlu bir tabloya yerleştirmek için Split metodu aşağıdaki kod betiği ile kullanılmıştır.

```
kayıtlar=[]

for x in Icerik:
    kayıtlar.append(x.split(","))
```

Şekil 3. Kayda ait özellikleri parçala

- Aşağıdaki kod betiğinde Dataframe de bulunan her bir sütun/özellik için kullanılacak başlıkların tanımlanması yapılmıştır.

```
kayıtlar=[]

for x in Icerik:
    kayıtlar.append(x.split(","))

sutunAdları=["gelir_duzeyi","cinsiyet","yas","nerede_yasiyorsun","kiminle_yasiyorsun","odan_varmi",
             "annen_yasiyormu","annen_calisiyormu","annenin_egitim_durumu","baban_yasiyormu","baban_calisiyormu",
             "babanin_egitim_durumu","kac_kardessiniz","engelli_akraba","odevlerine_kim_yardimci_oluyor",
             "telefon_numarasini_biliyormusun","adresini_biliyormusun","ulasim","okulda_vakit_gecirme",
             "en_coksevdigin_ders","ders_calisma_vakti","odev_yapıyormusun","arakadaslar_ile_vakit_gecirme",
             "yaz_tatili","kis_tatili","kitap_okumayi_seviyormusun","kac_saat_bilgisayar_kullanıyorsun",
             "kac_saat_tv","evcil_hayvan","sira_arakadasindan_memnunumusun","okul_etkinliginde_gorev",
             "uyku_saati","ogretmen_isimlerini_biliyormusun","sontest"]
```

Şekil 4. Başlıkları belirle

- Aşağıdaki kod betiği ile dizi içerisinde bulunan verilerin, satır ve sütundan oluşan iki boyutlu bir DataFrame'e dönüştürülmesi sağlanmıştır.

```
import pandas as pnd
df=pnd.DataFrame(kayıtlar,columns=sutunAdları)
```

Şekil 5. Veriler DataFrame'e dönüştürülüyor

- Oluşturulan DataFrame görünümü aşağıda verilmiştir.

odan_varmi	annen_yasiyormu	annen_calisiyormu	annenin_egitim_durumu
evet	evet	evet	universite
hayir	evet	bos	ortaokul
evet	evet	hayir	universite
evet	evet	evet	bos
evet	evet	evet	universite

Şekil 6. DataFrame Görünümü

Aşağıdaki tablolarda veri setini oluşturulan kayıt ve özellikleri hakkında istatistiği bilgiler paylaşılmıştır.

717 kayıtlı veri setinin sahip olduğu her bir satırdaki 33 öznitelik aşağıdaki tabloda öznitelik adı, açıklamaları ve barındırabileceği değerlerle birlikte verilmiştir.

Tablo 1. Veri setinde kullanılan öznitelikler

Öznitelik Adı	Açıklama	Cevaplar
gelir_duzeyi	Gelir düzeyi bilgisini içerir	'cok_iyi', 'iyi', 'kotu', 'orta'
cinsiyet	Cinsiyet bilgisini içerir	'erkek', 'kiz'
yas	Yaş bilgisini içerir	'10', '11'
nerede_yasiyorsun	Nerede yaşadığı bilgisini içerir	'ailemle evde', 'diğer', 'yurtta'
kiminle_yasiyorsun	Kiminle yaşadığı bilgisini içerir	'ailemle', 'annemle', 'babamla', 'diger'
odan_varmi	Odaya sahip olup olmadığı bilgisini içerir	'evet', 'hayir'
annen_yasiyormu	Anne'nin sağ olup olmadığı bilgisini içerir	'evet', 'hayir'
annen_calisiyormu	Anne'nin çalışıp çalışmadığı bilgisini içerir	'evet', 'hayir'
annenin_egitim_durumu	Anne'nin eğitim bilgisini içerir	'ilkokul', 'lise', 'ortaokul', 'universite'
baban_yasiyormu	Baba'nın sağ olup olmadığı bilgisini içerir	'evet', 'hayir'
baban_calisiyormu	Baba'nın çalışıp çalışmadığı bilgisini içerir	'evet', 'hayir'
babanin_egitim_durumu	Baba'nın eğitim durumu bilgisini içerir	'ilkokul', 'lise', 'ortaokul', 'universite'
kac_kardessiniz	Kardeş sayısı bilgisi içerir	'dort_ve_daha_fazla', 'iki', 'tekim', 'uc'
engelli_akraba	Engelli akraba olup olmadığı bilgisini içerir	'annem', 'babam', 'hicbiri', 'kardesim'
odevlerine_kim_yardimci_oluyor	Ödevlerine yardımcı olan bilgisini içerir	'anne_ve_babam', 'annem', 'babam', 'diger'
telefon_numarasini_biliyormusun	Ev Telefon numarasını bilip bilmediği bilgisini içerir	'evet', 'hayir'
adresini_biliyormusun	Ev adresini bilip bilmediği bilgisini içerir	'evet', 'hayir'
ulasim	Okula nasıl geldiği bilgisini içerir	'araba', 'minibus', 'servis', 'yuruyerek'
okulda_vakit_gecirme	Okulda vakit geçirme bilgisi içerir	'bazen', 'herzaman', 'hicbirzaman', 'siksik'
en_coksevdigin_ders	En çok sevdiği ders bilgisini içerir	'fenveteknoloji', 'hicbiri', 'matematik', 'turkce'
ders_calisma_vakti	Ders çalışma sıklığı bilgisini içerir	'bazen', 'herzaman', 'hicbirzaman', 'siksik'
odev_yapıyormusun	Ödev yapma sıklığı bilgisini içerir	'bazen', 'herzaman', 'hicbirzaman', 'siksik'
arakadaslar_ile_vakit_gecirme	Arkadaşları ile vakit geçirme sıklığı bilgisini içerir	'bazen', 'herzaman', 'hicbirzaman', 'siksik'
yaz_tatili	Yaz tatiline gidilip gidilmediği bilgisini içerir	'bazen', 'herzaman', 'hicbirzaman', 'siksik'
kitap_okumayi_seviyormusun	Kitap okumaya ne kadar vakit ayırdığı bilgisini içerir	'bazen', 'herzaman', 'hicbirzaman', 'siksik'
kis_tatili	Kış tatiline gidilip gidilmediği bilgisini içerir	'bazen', 'herzaman', 'hicbirzaman', 'siksik'
kac_saat_bilgisayar_kullanıyorsun	Bilgisayar karşısında geçirdiği vakit bilgisini içerir	'1_2_saat', '2_4_saat', '4_saaten_fazla', 'kullanmiyorum'
kac_saat_tv	TV karşısında geçirdiği vakit bilgisini içerir	'1_2_saat', '2_4_saat', '4_saaten_fazla', 'kullanmiyorum'
evcil_hayvan	Evcil hayvanı olup olmadığı bilgisini içerir	'evet', 'hayir'
sira_arakadasindan_memnunumusun	Sıra arkadaşından memnun olup olmadığı bilgisi içerir	'bazen memnunum', 'cok memnunum', 'genelde memnunum', 'memnundegilim'
okul_etkinliginde_gorev	Okul etkinliklerinde görev almak sıklığı bilgisi içerir	'bazen', 'herzaman', 'hicbirzaman', 'siksik'
uyku_saati	Akşam saat kaçta uyumaya gittiği bilgisine içerir	'saat10da', 'saat11veyadahagec', 'saat8de', 'saat9da'
ogretmen_isimlerini_biliyormusun	Öğretmen isimlerini öğretneip öğrenmediği bilgisi içerir	'birkacini_biliyorum', 'cogunun_ismini_biliyorum', 'hepsinin_ismini_biliyorum', 'hicbirini_bilmiyorum'
sontest	Testten aldığı sonuç bilgisini içerir	'BASARILI', 'BASARISIZ'

Aşağıdaki tabloda veri setinde yer alan her bir öznitelik için kullanıcılar tarafından en çok tercih edilen değer ve frekans bilgisi ile verilmiştir.

Tablo 2. Veri setinde kullanılan özniteliklerin her biri için en çok tercih edilen değer ve frekansı

Öznitelik Adı	En Çok Seçilen Değer	Değerin Seçim Sıklığı
gelir_duzeyi	orta	278
cinsiyet	kiz	370
yas	10	672
nerede_yasiyorsun	ailemle	701
kiminle_yasiyorsun	ailemle	622
odan_varmi	evet	573
annen_yasiyormu	evet	703
annen_calisiyormu	hayir	385
annenin_egitim_durumu	lise	214
baban_yasiyormu	evet	701
baban_calisiyormu	evet	663
babanin_egitim_durumu	lise	232
kac_kardessiniz	iki	367
engelli_akraba	hicbiri	660
odevlerine_kim_yardimci_oluyor	anne_ve_babam	326
telefon_numarasini_biliyormusun	evet	568
adresini_biliyormusun	evet	630
ulasim	yuruyerek	478
okulda_vakit_gecirme	herzaman	537
en_coksevdigin_ders	matematik	338
ders_calisma_vakti	herzaman	531
odev_yapıyormusun	herzaman	624
arakadaslar_ile_vakit_gecirme	herzaman	587
yaz_tatili	herzaman	382
kis_tatili	bazen	288
kitap_okumayi_seviyormusun	herzaman	413
kac_saat_bilgisayar_kullanıyorsun	1_2_saat	428
kac_saat_tv	1_2_saat	450
evcil_hayvan	hayir	405
sira_arakadasindan_memnunumusun	cokmemnunum	408
okul_etkinliginde_gorev	bazen	357
uyku_saati	saat10da	346
ogretmen_isimlerini_biliyormusun	hepsinin_ismini_biliyorum	359
sontest	BASARILI	592

Yukarıdaki tablo incelendiğinde, sınıflandırma işlemi için kullanılacak sontest isimli öznitelikte 115 adet Başarısız, 592 adet Başarılı değerli kayıt olduğu görülmektedir.

2.3. *Veri Önişlem*

Önişlem, veri seti üzerinde yapılacak analizin hızını, elde edilen sonuçların güvenilirliğini etkileyen en önemli adımlardan birisidir. Bu kapsamda veri seti üzerinde sırasıyla aşağıdaki adımlar gerçekleştirilmiştir.

- Beş ve daha fazla özelliğin boş olarak geçildiği tespit edilen kayıtlar Dataframe'den çıkarılmıştır. Aşağıda silme işleminin gerçekleştirildiği kod betiği verilmiştir. Silme işleminde sonra veri setindeki kayıt sayısı 716'dan 707'ye inmiştir.

```
dfX.drop(dfX[dfX.isnull().sum(axis=1)>5].index,axis=0,inplace=True)
```

Şekil 7. DataFrame den toplu kayıt silme

- Daha az boş öznitelik barındıran kayıtlar listede bir altında ve bir üstünde bulunan kaydın sahip olduğu öznitelik değeri ile aynı olacak şekilde doldurulmuştur. Bu işlemin yapıldığı kod betiği aşağı verilmiştir.

```
dfX.fillna( method ='ffill', inplace = True)
dfX.fillna( method ='backfill', inplace = True)
```

Şekil 8. Boş özelliklerin doldurulması

- Kayıtlardaki evet/hayır bilgileri barındıran öznitelikler 1/ 0 olacak şekilde sayısallaştırılmıştır. Aşağıda "Evcil hayvanın var mı?" sorusuna verilen Evet/Hayır cevaplarının sayısallaştırılmasını gösteren kod betiği verilmiştir.

```
dfY["e_hayvan"]=dfY["e_hayvan"].apply(lambda x: 0 if x=="hayir" else 1)
```

Şekil 9. Evet/Hayır sayısallaştırıldı

- Kategorik ve aralarında üstünlük kurulan öznitelikler (Eğitim: ilkokul, lise, üniversite) Panda kütüphanesinin factorize metodu kullanılarak 0'dan başlayarak sayısallaştırılmıştır. Kullanılan kod betikleri aşağıda verilmiştir.

```
categoriesEgitimBaba=pnd.Categorical(myDataX['babanin_egitim_durumu'],
                                      categories=["Okuma_yazma_bilmiyor",
                                                  "ilkokul",
                                                  "ortaokul",
                                                  "lise","universite"],
                                      ordered=True)
egitimBaba,unique=pnd.factorize(categoriesEgitimBaba,sort=True)
myDataX['babanin_egitim_durumu']=egitimBaba
```

Şekil 10. Özellikler sayısallaştırıldı

- Kayıtlardaki sınıflandırma öznitelik değeri "Başarısız" değeri için 0, "Başarılı" değeri için 1 olacak şekilde ayarlanmıştır.

```
dfY["sontest"]=dfY["sontest"].apply(lambda x: 0 if x=="BASARISIZ" else 1)
```

Şekil 11. Özellikler sayısallaştırıldı

2.4. Scikit-learn

Scikit-learn; makine öğrenimini akademide veya endüstride herkes için erişilebilir hale getirmeyi amaçlayan açık kaynaklı bir yazılım projesidir. Scikit-learn projesi 2007 yılında David Cournapeau tarafından bir Google Summer of Code projesi olarak başlatılmıştır (Web 4, 2023).

Scikit-learn hem bilim dünyasında geniş çapta benimsenen hem de gelişen bir ekosistem tarafından desteklenen genel amaçlı Python dilinden yararlanmaktadır (Varoquaux ve ark., 2015). Destek vektör makineleri, rastgele ormanlar vb. dahil olmak üzere çeşitli sınıflandırma, gerileme ve kümeleme algoritmalarına sahip olmakla birlikte Python sayısal ve bilimsel kitaplıkları NumPy ve SciPy ile birlikte çalışmak üzere tasarlanmıştır. Scikit-learn sınıfları, yöntemleri ve işlevleri ile kullanılan algoritmaların arka planıyla ilgili belgeler sunmaktadır. Ayrıca, modellerinizi test etmek için kullanabileceğiniz birkaç veri kümesi de sağlamaktadır. Scikit-learn BSD lisansı ile lisanslanmış açık kaynaklı bir pakettir. Python ekosistemindeki çoğu şey gibi, ticari kullanım için bile ücretsizdir (Web 1, 2023).

Scikit-learn'de sınıflandırma algoritması kullanmak için uygulanan iş akışı üç adım içermektedir. İlk adımda, modelin parametreleri belirlenir ve model oluşturulur. İkinci adımda, modelin eğitimi gerçekleştirilir. Son adımda ise öngörülen sınıf değerlerini almak için geliştirilen model, test verileri üzerine uygulanır (Jiangang ve ark.,2019).

```
model=Classifier(hyper-parameters=something)
model.fit(x_train,y_train)
y_predicted=model.predict(x_test)
```

Şekil 12. Sınıflandırma algoritması iş akış kod betiği

Literatür incelendiğinde Scikit-learn kütüphanesinin sahip olduğu esneklik, uyumluluk, verimlilik, performans ve erişilebilirlik gibi özellikleri nedeniyle pek çok alanda araştırmacılar tarafından tercih edilip kullanıldığı görülmektedir.

Ayvaz ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada Scikit-learn kütüphanesi kullanarak geliştirdikleri sistem ile öğrencilerin ders boyunca ağırlıklı duygusal durumlarını %97,15 doğrulukla tespit etmişlerdir (Ayvaz ve ark., 2017).

Şenel (2020) yaptığı kayısı iç çekirdeği sınıflandırması başlıklı çalışmasının analiz işlemleri için Scikit-learn kütüphanesinde faydalanmıştır. Gerçekleştirdiği çalışmasında kullandığı algoritmalardan yarısından fazlası ile gerçekleştirdiği analizde yeterli sayıda özniteliğe sahip olduğunda %100 başarı elde ettiğini paylaşmıştır (Şenel, 2020).

Kalaycı (2018) yaptığı çalışmada, bir web sitesinin kimlik hırsızı olup olmadığını tahmin etmek amacıyla Scikit-learn kütüphanesi makine öğrenmesi algoritmalarını kullanmıştır. Elde ettiği analizler sonucunda rastgele orman algoritmasının sınıflandırma başarısının diğerlerinden daha yüksek olduğunu paylaşmıştır (Kalaycı, 2018). Uğuz ve Oral (2019) yaptıkları çalışmada Türkiye'de kurulması planlanan PV santrallerinin üreteceği elektrik gücünün, makine öğrenmesi modelleri ile tahmin edilmesi amacıyla Scikit-learn kütüphanesinden faydalanmıştır (Uğuz ve ark., 2019).

Özen ve ark. (2021), yaptıkları çalışmada Amerika Birleşik Devletleri'ndeki doğrulanmış covid-19 vaka sayılarını kullanarak gelecek günlerdeki vaka tahminlerini yapmak için Scikit-learn kütüphanesinden faydalanmışlardır (Özen, 2021).

2.5. Algoritma Seçimi

Analiz işleminin başlangıcı olan model için kullanılacak algoritmanın seçiminde, analistin sorabileceği en doğal soru, hangi algoritmanın kullanılması gerektiğidir. Bu soru basit bir soru olmasına rağmen ne yazık ki basit bir cevabı yoktur (Caruana ve ark., 2006). Bunun nedeni bu seçimin, olası sonsuz sayıda olasılık arasından hangi makine öğrenme modelinin en iyi performansı gösterdiğini tahmin etme sürecidir (Komer, Bergstra, Eliasmith, 2014).

Model üretmek, geliştirmek için kullanılan algoritmalar faydalı araçlardır. Veri analizi sürecinde kullanılmak üzere geliştirilen pek çok algoritma bulunmaktadır. Bu algoritmaların seçiminde sahip olunan veri seti önem arz etmektedir (Guleria ve ark.,2014). Bu nedenle eğitim alanlı veri setleri ile yapılan çalışmalarda en başarılı sonuçları elde etmiş dört algoritma belirlenerek bu çalışmada kullanılmıştır. Scikit-learn kütüphanesinde bulunan algoritmalar sırasıyla Naive Bayes algoritması, Rastgele Orman (Random Forest) algoritması, Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine) algoritması, Karar Ağacı (Decision Tree) algoritmasıdır. Aşağıda bu algoritmalar ile ilgili kısa açıklamalar ve Python da nasıl kullanılacağı kod betikleri ile verilmiştir.

Naive Bayes Algoritması: Anlaşılabilir ve kolaylıkla uygulanabilir en basit makine öğrenme algoritmalarından birisi olan Naive Bayes (Kaynar ve ark., 2016) sınıflandırıcı; hızlı, doğru ve güvenilir bir algoritmadır. Naive Bayes sınıflandırıcıları, büyük veri kümelerinde yüksek doğruluk ve hıza sahiptir. Bayes sınıflandırıcıları, veri setinde bulunan her bir özniteliğin örnekteki diğer özniteliklerden bağımsız olduğunu varsaymaktadır (Mishra ve ark., 2016).

Örneğin; bir kredi başvurusu sahibinden kefil istenmesinin koşulları kişinin gelirine, önceki kredi ve işlem geçmişine, yaşına ve konumuna bağlı olarak değişmektedir. Bu özellikler birbirine bağımlı olsa bile bağımsız olarak kabul edilmektedir. Bu varsayım, hesaplamayı basitleştirir ve bu yüzden saf olarak kabul edilir. Bu varsayıma sınıf koşullu bağımsızlık denmektedir (Web 2, 2023).

Naive Bayes sınıflandırma algoritmasının Gaussian Naive Bayes, Multinominal Naive Bayes ve Bernoulli Naive Bayes olmak üzere üç türü bulunmaktadır.

- **Gaussian Naive Bayes:** Sonuç özniteliklerinin sürekli değer olması durumunda kullanılır.
- **Multinominal Naive Bayes:** Çok çeşide sahip sonuç özniteliklerinin sınıflandırılmasında tercih edilir.
- **Bernoulli Naive Bayes:** Multinominal Naive Bayes'e benzer şekilde sınıflandırma yapar. Ancak tahminler sadece boolean (ikili) şekildedir (Web 7, 2023).

Çalışmada kullanılan veri setinin özniteliklerinin sahip olduğu değerleri Gaussian Naive Bayes Bayes türüne uygundur. Analiz işlemi Gaussian Naive Bayes ile gerçekleştirilmiştir.

Rastgele Orman (Random Forest) algoritması: Rastgele Orman algoritması (RO), denetimli bir öğrenme algoritmasıdır. Hem sınıflandırma hem de regresyon için kullanılabilir. Aynı zamanda en esnek ve kullanımı kolay algoritmadır. Orman ağaçlardan oluşur. Bir ormanın ne kadar çok ağacı varsa o kadar sağlam olduğu söylenir. Rastgele ormanlar; rastgele seçilen veri örnekleri üzerinde karar ağaçları oluşturur, her ağaçtan tahmin alır ve oylama yoluyla en iyi çözümü seçer. Ayrıca, özelliğin öneminin oldukça iyi bir göstergesini sağlar.

RO, öneri motorları, görüntü sınıflandırma ve özellik seçimi gibi çeşitli uygulamalara sahiptir. Sadık kredi başvuru sahiplerini sınıflandırmak, hileli faaliyetleri belirlemek ve hastalıkları tahmin etmek için kullanılabilir (Web 2, 2023).

Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine) algoritması: Destek vektör makinesi (DVM), algoritması sınıflandırma, regresyon ve aykırı değerlerin tespiti için kullanılan bir dizi denetimli öğrenme yöntemidir. Scikit-learn'deki destek vektör makineleri, girdi olarak hem yoğun (numpy.ndarray ve buna numpy.asarray tarafından dönüştürülebilir) hem de seyrek (herhangi bir scipy.sparse) örnek vektörlerini destekler. Ancak, seyrek veriler için tahminlerde bulunmak üzere bir DVM kullanmak için, bu tür verilere uygun olması gerekir (Web 6,2023).

Karar Ağacıı (Decision Tree): Karar Ağacı; sınıflandırma ve regresyon için kullanılan parametrik olmayan denetimli bir öğrenme yöntemidir. Amaç; veri özelliklerinden çıkarılan basit karar kurallarını öğrenerek bir hedef değişkenin değerini tahmin eden bir model oluşturmaktır. Bir ağaç, parçalı sabit bir yaklaşım olarak görülebilir. Çeşitli karar ağacı algoritmaları vardır. Bunlar ID3, C4.5, C5.0, CART şeklinde sıralanabilir. Scikit-learn, CART algoritmasının optimize edilmiş bir sürümünü kullanır;

CART (Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları), C4.5'e çok benzer. CART, her düğümde en büyük bilgi kazancını sağlayan özelliği ve eşiği kullanarak ikili ağaçlar oluşturur. Weka'daki karşılığı j48 olan algoritma, c4.5 algoritmasıdır (Decision Trees, 2022).

Yukarıda açıklanan algoritmaların Python üzerinde kullanılması için aşağıdaki kod betikleri kullanılır.

```
from sklearn.naive_bayes import GaussianNB
from sklearn.svm import SVC
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier
from sklearn.tree import DecisionTreeClassifier
```

Şekil 13. Algoritmaların projeye dahil edilmesi

Elde edilen veri seti, her bir algoritma için eğitim ve test veri seti olarak kullanılmak üzere iki parçaya ayrılmıştır. Bu işlem için farklı yaklaşımlar kullanılmakla birlikte bu yaklaşımlardan en çok tercih edileni train_test_split() isimli metottur. Aşağıda ilgili metodun nasıl kullanıldığı kod betiği ile verilmiştir. Kod betiğine göre tüm veri setinin %20'si test veri seti, kalan %80 lik kısım ise eğitim veri seti olarak ayrılmıştır.

```
x_train,x_test,y_train,y_test=train_test_split(myDataX,myDataY,test_size = 0.2,random_state=22)
```

Şekil 14. Veri seti eğitim ve test olarak bölmek

Değerlendirme öncesindeki son aşamada ilgili algoritmalar için model oluşturma sürecidir. Bu işlem yukarıda projeye eklenen algoritmalar için aşağıdaki gibidir.

```
modelNaiveBayes=GaussianNB().fit(x_train, y_train)
modelSVM=SVC().fit(x_train, y_train)
modelRF=RandomForestClassifier().fit(x_train, y_train)
modelTree=DecisionTreeClassifier().fit(x_train, y_train)
```

Şekil 15. Algoritma modeli oluşturmak

2.6. Değerlendirme Ölçütleri

Bir veri setinin analizi için oluşturulan modelin, başarısını ifade etmek için kullanılabilecek çok sayıda ölçüt bulunmaktadır. Bu ölçütler, kullanılan veri setinin sahip olduğu örnek sayısı, veri setinin dengeli olup olmaması vb. durumlar için farklılık gösterebilmektedir. Çalışmanın bu bölümünde akademik araştırmalarda yaygın olarak kullanılan ölçütlerden olan Accuracy, Precision, Recall, F1 score, kappa ve confusion matrix ölçütleri hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Ayrıca Python da açıklamaları verilen ölçütlerin nasıl kullanılacağı kod betikleri ile gösterilmiştir.

Karmaşıklık Matrisi (Confusion Matrix): Sınıflandırma modellerinin başarımları ile ilgili değerlendirmelerin yapılabilmesi ve ölçütlerin elde edilmesi noktasında karmaşıklık matrisi kullanılmaktadır. İki sınıf değerli/ Classify value/ etiketli (Başarılı/Başarısız) bir karmaşıklık matrisi aşağıdaki gibidir.

Tablo 3. Karmaşıklık Matrisi / TP (True Pozitif)-FN (False Negatif) -FP (False Pozitif)-TN (True Negatif)

		Predict	
		Succesful	Unsuccessful
Actual	Succesful	TP	FN
	Unsuccessful	FP	TN

Doğruluk (Accuracy): Doğruluk, model başarımının ölçülmesinde kullanılan en popüler ve basit yöntemdir (Özhan, 2014). Doğruluk değeri, sınıftan bağımsız olarak tüm test verisi ile ilgili sınıflandırma performansını sunmaktadır (Klement ve ark., 2009). Bir sınıflandırma algoritmasının doğruluğu, Doğruluk değerleri kullanılarak oluşturulan öğrenme eğrileri ile değerlendirilebilir (Russell ve ark., 2010).

$$\textbf{Doğruluk} = \frac{(TP + TN)}{(TP + FP + FN + TN)} \quad (1)$$

Çalışmalarda kullanılan classify value iki sınıflı bir yapıda olduğunda sınıflandırma başarısını sadece doğruluk (Accuracy) değerine bakarak değerlendirmek yanlış olacaktır. Bu nedenle değerlendirme aşamasında F1-Puanı, Kesinlik, Duyarlılık, vb. ölçüt değerlerine de bakılmalıdır (Bulut, 2016).

F1-Puanı (F1-Score): Kesinlik ve duyarlılık değerlerinin harmonik ortalamasıdır. Özellikle eğitim amacıyla kullanılacak verilerin belirlenme aşamasında sınıfların tanı için yeterli olup olmadığını tespit etmek amacıyla kullanılmaktadır. Kabul edilebilir F1 puan değeri genellikle minimum 0,5 olarak alınır (Aydın, 2011).

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

Kesinlik (Precision): Kesinlik, sınıfı 1 olarak tahmin edilmiş True Pozitif (TP) örnek sayısının, sınıfı 1 olarak tahmin edilmiş tüm örnek sayısına (TP+FP) oranıdır.

$$\boldsymbol{Kesinlik} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (3)$$

Duyarlılık (Recall): Doğru sınıflandırılmış (TP) örnek sayısının gerçek toplam pozitif (TP+FN) örnek sayısına oranıdır.

$$\boldsymbol{Duyarlılık} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4)$$

Kappa Katsayısı: Veri setinde tahmin edilen ve gözlenen sınıflandırmaların karşılaştırmasını nicel olarak ifade etmek için kullanılan bir ölçüttür. KS değeri -1 ve 1 arasında değer almaktadır. -1 değeri tümüyle bir uyumsuzluğu ya da ters yönde bir ilişki olduğunu göstermektedir. 1 ise mükemmel uyumu göstermektedir. KS 0.4 ya da üzeri bir değere sahip ise şansın ötesinde kabul edilebilir bir uyumluluktan söz edilebilir (Aydın, 2011).

ROC Eğrisi (Roc Curve)-AUC (Area Under Curve): Sınıflandırma modelinin performansını değerlendirmek için kullanılan grafiksel bir araçtır. Özellikle ikili sınıflandırma problemlerinde modelin başarısını analiz etmek için kullanılır. ROC eğrisi, True Positive Rate (Gerçek Pozitif Oranı) ile False Positive Rate (Yanlış Pozitif Oranı) arasındaki ilişkiyi gösterir. ROC eğrisi altında kalan alan (AUC) için ideal değer 1'dir. Değer 1'e yaklaştıkça, makine öğrenimi modellerinin sınıfları ayırt etme başarısı artar. AUC'nin 0.5 olması durumunda model tamamen rastgele tahmin yapıyor demektir. 0.5 ile 1 arasındaki değerler, modelin pozitif ve negatif sınıfları belirli bir ölçüde ayırt edebildiğini gösterir. Ancak, 0.5'ten küçük değerler, modelin tahminlerinin ters yönde çalışıyor olabileceğine gösterir. (Web 3,2023).

Değerlendirme ölçütlerini elde etmek için Scikit-learn kütüphanesini kullanalım. Bu aşamada, her bir algoritma için eğitim veri seti kullanılarak eğitilmiş ve oluşturulmuş modeller test veri setlerini kullanarak tahminler üretir. Her bir algoritmanın eğitilen modelinin test veri seti üzerinde tahmin etme işlemini gerçekleştiren kod betiği aşağıda verilmiştir.

```
y_PredictedNaiveBayes=modelNaiveBayes.predict(x_test)
y_PredictedSVM=modelSVM.predict(x_test)
y_PredictedRF=modelRF.predict(x_test)
y_PredictedTree=modelTree.predict(x_test)
```

Şekil 16. Modellere Test veri seti üzerinden tahmin yaptırılması

Naive Bayes algoritması modelinin tahmin başarısı için kullanılacak değerlendirme ölçüt sonuçlarını bulmak için aşağıdaki kod betiği kullanılmıştır.

```
print("Naive Bayes Results")
print("Accuracy Score:{:.2f}".format(metrics.accuracy_score(y_test, y_PredictedNaiveBayes)))
print("Precision Score:{:.2f}".format(metrics.precision_score(y_test, y_PredictedNaiveBayes)))
print("Recall Score:{:.2f}".format(metrics.recall_score(y_test, y_PredictedNaiveBayes)))
print("Kappa Score:{:.2f}".format(metrics.cohen_kappa_score(y_test, y_PredictedNaiveBayes)))
print("F-Measure Score:{:.2f}".format(metrics.f1_score(y_test, y_PredictedNaiveBayes)))
fpr,tpr,threshold=metrics.roc_curve(y_test,y_PredictedNaiveBayes);
roc_auc=metrics.auc(fpr,tpr)
print("ROC - AUC Score:{:.2f}".format(roc_auc))
```

```
Naive Bayes Results
Accuracy Score:0.80
Precision Score:0.90
Recall Score:0.88
Kappa Score:0.06
F-Measure Score:0.89
ROC - AUC Score:0.53
```

```
cmNaiveBayes = confusion_matrix(y_test, y_PredictedNaiveBayes, labels=[0,1])
print("Naive Bayes")
print(cmNaiveBayes)
```

```
Naive Bayes
[[  3  13]
 [ 15 111]]
```

Şekil 17: Değerlendirme Ölçütleri

3. Bulgular

Bu çalışmada, eğitim alanına özgü bir veri seti kullanılarak, scikit-learn kütüphanesi ile öğrenci başarısını tahmin etmeye odaklanılmıştır. Bu amaçla, eğitim alanındaki veri setlerinde en iyi performansı sergileyen dört farklı makine öğrenimi algoritması ilgili veri setinde uygulanmıştır. Süreç boyunca, makine öğrenimi modellerinin oluşturulması, veri ön işleme ve model değerlendirme süreçleri özenle gerçekleştirilmiştir.

Oluşturulan bir modelin başarısını ifade etmek için farklı farklı ölçütlerden faydalanılmaktadır. Çalışmada, model başarı analizi konulu çalışmalarda en çok tercih edilen ölçütlerde olan doğruluk, Kesinlik, Duyarlılık, F1-Puanı, kappa katsayısı, ROC Eğrisi ve Karışıklık matrisi kullanılmıştır. Naive Bayes algoritması, Rastgele Orman algoritması, Destek Vektör Makinesi algoritması, Karar Ağacı algoritması kullanılarak elde edilen değerlendirme ölçüt sonuçları aşağıdaki gibidir.

Tablo 4. Değerlendirme ölçüt sonuçları

Algoritma	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F1-Puanı	Kappa	ROC-AUC
Naive Bayes Algoritması	0,80%	0,90	0,88	0,89	0,06	0,53
Destek Vektör Makinesi algoritması	0,89%	0,89	1	0,94	0	0,50
Rastgele Orman algoritması	0,87%	0,88	0,98	0,93	0,04	0,52
Karar Ağacı	0,80%	0,90	0,87	0,88	0,10	0,56

Naive Bayes algoritması, Rastgele Orman algoritması, Destek Vektör Makinesi algoritması, Karar Ağacı algoritması algoritmalarından elde edilen değerlendirme ölçüt başarı sonuçları ölçüt özelinde şöyledir;

Algoritma başarıları Doğruluk ölçütü bakımından karşılaştırıldığında Destek Vektör Makinesi algoritmasının diğer üç algoritmaya göre daha yüksek bir değere sahip olduğu görülmüştür.

Algoritma başarıları F1-Puan ölçütü bakımından karşılaştırıldığında Destek Vektör Makinesi algoritmasının diğer üç algoritmaya göre daha yüksek bir değere sahip olduğu görülmüştür.
Algoritma başarıları Duyarlılık ölçütü bakımından karşılaştırıldığında Destek Vektör Makinesi algoritmasının diğer üç algoritmaya göre daha yüksek bir değere sahip olduğu görülmüştür.
Algoritma başarıları Precision ölçütü bakımından karşılaştırıldığında Naive Bayes algoritması ile Karar Ağacı algoritmasının diğer iki algoritmaya göre daha yüksek bir değere sahip olduğu görülmüştür.
Algoritma başarıları Kappa ölçütü bakımından karşılaştırıldığında Karar ağacı algoritmasının diğer üç algoritmaya göre daha yüksek bir değere sahip olduğu görülmüştür.
Algoritma başarıları Roc ölçütü bakımından karşılaştırıldığında Karar ağacı algoritmasının diğer üç algoritmaya göre daha yüksek bir değere sahip olduğu görülmüştür.
Oluşturulan modelin başarısını ifade etmek için kullanılan diğer bir metot Karışıklık matrisidir. Aşağıda dört algoritmanın Karışıklık matrisidir sonuçları verilmiştir.

Naive Bayes Algoritması	Destek Vektör Makinesi	Rastgele Orman	Karar Ağaçları
[[3 13] [15 111]]	[[0 16] [0 126]]	[[0 16] [4 122]]	[[3 13] [18 108]]

Şekil 24. Karışıklık matrisi sonuçları

4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, Scikit-learn kütüphanesi kullanılarak her biri 30 özniteliğe sahip toplam 707 kayıttan oluşan eğitim alanlı bir veri seti üzerinde dört farklı denetimli öğrenme sınıflandırma algoritması kullanılarak başarı tahmin analizi gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte kullanılan kodlar, resimler ile gösterilip ayrıntılı olarak paylaşılmış, elde edilen sonuçlar aşağıda paylaşılmıştır.
Çalışmada ele alınan Scikit-learn kütüphanesinin açık kaynaklı yapısı ve kapsamlı bir dokümantasyona sahip olması, uygulama geliştirme sürecini önemli ölçüde kolaylaştırmıştır. Orta ölçekli problemlerde başarılı sonuçlar sunduğu belirtilen (Chary, 2020) Scikit-learn kütüphanesi, uygulama geliştirme sürecinde model oluşturma ve test veri setleri üzerindeki tahmin işlemlerinde hızlı yanıt süreleri ile dikkat çekmiştir.
Analizler sonucunda, en yüksek doğru tahmin değerine sahip algoritmanın Destek Vektör Makinesi (DVM) algoritması olduğu belirlenmiştir. DVM algoritması analizinde elde edilen performans ölçütleri ve değerleri, doğruluk: %89, kesinlik: 0,89, duyarlılık: 1, F1-Puanı: 0,94, Kappa katsayısı: 0 ve ROC-AUC: 0,50 olarak bulunmuştur. DVM algoritması model tahmin ölçüt değerleri incelendiğinde;

- Doğruluk ve F1-Puanı değerleri, oluşturulan modelin tahmin/sınıflandırma başarısının yüksek olduğunu göstermektedir.
- Kappa katsayısı ölçütünün 0 olması, modelin tahmin gücünün rastgele bir dağılıma sahip olduğunu göstermektedir (Aydın, 2011).
- Ayrıca ROC-AUC eğrisi ölçütünün 0,5 değerinde bulunması da tahmin gücünün rastgele bir dağılıma sahip olduğunu destekler niteliktedir (Web 3, 2023).

- Kullanılan veri seti dengesizdir: DVM algoritmasının karışıklık matris ölçüt sonuçları değerlendirildiğinde, karışıklık matrisinin sahip olduğu her bir satırındaki değerlerin toplamı her bir sınıfın toplam kayıt sayısını verir. Bu bize model ile yapılan tahmin analizinde kullanılan test veri setinde bulunan 16 kaydın "Başarısız/0", 126 kaydın "Başarılı/1" sınıf değerine sahip olduğunu gösterir. DVM algoritmasının eğitimi için kullanılan veri seti incelendiğinde de veri setindeki 115 kaydın sınıf değeri "Başarısız/0" iken, 592 kaydın sınıf değeri "Başarılı/1" olarak görülür. Veri setindeki bir sınıfa ait kayıt sayısının diğer sınıftaki kayıt sayısından önemli ölçüde az olmazı durumu veri setinin dengesiz bir yapıya sahip olduğunu ifade eder (Kamalov ve ark., 2022).
- Algoritma aşırı uyum (Over Fitting) göstermiştir: Karışıklık matrisi, DVM algoritmasının test veri setindeki performansını şu şekilde özetlemektedir: Sınıf değeri "Başarılı/1" olan 126 kaydın tamamı doğru tahmin edilmiştir, ancak sınıf değeri "Başarısız/0" olan 16 kaydın hiçbiri doğru tahmin edilememiştir. F1-Puanı ölçüt değerinin gösterdiği 0,94 değeri eğitim amacıyla kullanılan kayıtların, test sınıflarının tanısı için yeterli olduğunu göstermiş (Aydın, 2011) bu bağlamda test veri seti üzerindeki başarılı kayıtların tamamını tahmin etmiş ancak başarısız sınıfların hiçbirini tahmin edememiştir, kappa katsayısı ölçütü değerinin 0 olması ve veri setinin dengesiz yapısı ile birlikte değerlendirildiğinde, algoritmanın eğitim verilerine aşırı uyum sağladığı sonucuna varılmıştır. Aşırı uyum durumunda oluşturulan model öğrenme verisi için çok başarılı sınıflama sağlarken, yeni veriler için doğruluk oranı çok düşük olabilmektedir (Demirhan, 2015). Elde edilen sonuç bu duruma bir örnek olarak gösterilebilir. Benzer bir durum, Rastgele Orman algoritmasının performans ölçütleri incelendiğinde de görülmektedir.

Veri setinin dengesiz olma durumu sınıflandırma amaçlı çalışmalarda, sınıflandırmanın başarısı önünde önemli bir engeldir. Bu çalışmada elde edilen analiz sonuçlarında ölçütler arasındaki uyumsuzluğun, veri setindeki sınıf dengesizliğinden kaynaklandığı ifade edilebilir (Alan ve ark., 2020). Dengesiz bir ver setinde sınıflandırma başarısını sadece doğruluk değerine bakarak değerlendirmek yanlış olacaktır (Bulut, F., 2016). Bu nedenle çalışmada, en başarılı algoritmanın DVM olduğunu ifade etmek doğru olmayacaktır. Ayrıca çalışmada kullanılan "Başarısız/0" değerine sahip sınıfların kayıt sayısının "Başarılı/1" sınıfına kıyasla çok yetersiz olması ve analizler de elde edilen sonuçlar seçilmiş dört denetimli algoritmanın da elde ettiği performans sonuçlarının rastlantısal olduğunu bize göstermektedir. Çalışma, Scikit-learn kütüphanesi gibi güçlü bir aracın kullanımıyla dört denetimli öğrenme algoritmasını temel alarak başarı tahmini sürecini detaylı bir şekilde ele almakta ve makine öğrenmesi uygulamalarına dair okuyuculara pratik bilgiler sağlamaktadır. Algoritmaların performansını analiz etme ve yorumlama üzerine yapılan incelemeler, sınıflandırma problemlerinde karşılaşılabilecek zorluklara dair farkındalık kazandırmaktadır. Çalışma ayrıca sınıflandırma performansı değerlendirilirken yalnızca doğruluk gibi tek bir metrik üzerine odaklanmanın yetersiz kalabileceğini belirtmekte ve farklı ölçütlerin bir arada kullanılmasının önemini vurgulamaktadır.

Gelecekteki çalışmalarda, veri setindeki dengesizlik sorununu çözmek amacıyla çeşitli veri ön işleme teknikleri kullanılabilir, kayıt sayısı artırılabilir ve ayrıca kullanılan algoritmaların parametreleri optimize edilerek bu optimizasyonların performansa etkisi detaylı şekilde incelenebilir. Ek olarak, farklı makine öğrenmesi algoritmaları ve derin öğrenme yaklaşımlarını kapsayan daha geniş çaplı bir karşılaştırma yapılması, çalışmanın kapsamını daha da geliştirebilir. Bu tür iyileştirme adımlarının, bir yandan modelin genelleme yeteneğini artırırken diğer yandan uygulamanın gerçek dünya problemlerine daha kolay entegre edilebilir hale gelmesine katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

Alan A., Karabatak M. Veri seti- sınıflandırma ilişkisinde performansa etki eden faktörlerin değerlendirilmesi. Fırat Üniversitesi Müh.Mil.Dergisi 2020; 32(2): 531-540

Araque F., Roldan C., Salgu A. Factors influencing university drop out rates. Computers Education 2009; 53(3): 563-574.

Aydın F. Kalp ritim bozukluğu olan hastaların tedavi süreçlerini desteklemek amaçlı makine öğrenmesine dayalı bir sistemin geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi 2011; 39-41.

Ayvaz U., Gürüler H. Real-time detection of students' emotional states in the classroom. 2017 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) 2017; 1-4.

Belachew E., Gobena F. Student performance prediction model using machine learning approach: The case of Wolkite University. ", International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering 2017; 7(2): 46-50.

Bhawana A., Bharti G. Review on data mining techniques used for educational system. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering 2014; 4(11): 325-329.

Bulut F. Performance analysis of ensemble methods on imbalanced datasets. Bilişim Teknolojileri Dergisi 2016; 9(2): 153-159.

Caruana R., Niculescu-Mizil A. An empirical comparison of supervised learning algorithms. Proceedings of the 23rd International Conference on Machine learning 2006: 161–168

Decision Trees. scikit-learn.org: https://scikit-learn.org/stable/modules/tree.html adresinden alındı.2022

Deekshith C. Review on advanced machine learning model: Scikit-Learn. Social Science Research Network 2020.

Demirhan T. Makine öğrenmesi algoritmalarının karmaşıklık ve doygunluk analizinin bir veri kümesi üzerinde gerçekleştirilmesi. Yayınlanmış Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 2015, Edirne.

Guleria P., Sood M. Data mining in education : A review on the knowledge dıscovery perspective. International Journal of Data Mining Knowledge Management Process (IJDKP) 2014; 4(5): 47-60.

Jiangang H., Tin K. Machine learning made easy: A review of scikit-learn package in python programming language. Journal of Educational and Behavioral Statistics 2019; 44(3): 348-361.

Jović A., Brkić K., Bogunović N. An overview of free software tools for general data mining. MIPRO 2014, 26-30 May 2014, Opatija, Croatia 2014: 1112-117.

Kalaycı TE. Kimlik hırsızı web sitelerinin sınıflandırılması için makine öğrenmesi yöntemlerinin karşılaştırılması. Pamukkale Univ Muh Bilim Dergisi 2018; 24(5): 870-878.

Kamalov F., Thabtah F., Leung HH. Feature selection in imbalance Data. Annals of Data Science 2022; 1-15.

Kaynar O., Yıldız M., Görmez Y., Albayrak A. Makine öğrenmesi yöntemleri ile duygu analizi. International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP'16), 17-18 Eylül, Malatya: IDAP'16 2016; 1-8

Khan I., Sadiri A., Ahmad A., Jabeur N. Tracking student performance in ıntroductory programming by means of machine learning. 4th MEC International Conference on Big Data and Smart City (ICBDSC). Muscat, Oman 2019

Klement W., Wilk S., Michaowski W., Matwin S. Dealing with severely imbalanced data. In: ICEC 2009 Workshop, PAKDD, 2009:1-16

Komer B., Bergstra J., Eliasmith C. Hyperopt-sklearn: Automatic hyperparameter configuration for Scikit-Learn. Proc. of The 13th Python in Science Conf. (SCIPY 2014). 2014.

Mishra T., Kumar, D., Gupta S. Students' employability prediction model through data mining. International Journal of Applied Engineering Research 2016; 11(4): 2279.

Namlı E., Ünlü R., Gül E. Fiyat tahminlemesinde makine öğrenmesi teknikleri ve doğrusal regresyon yöntemlerinin kıyaslanması; Türkiye'de satılan ikinci el araç fiyatlarının tahminlenmesine yönelik bir vaka çalışması. Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi 2019; 7(4): 806-821.

Özen NS. COVID-19 Vakalarının makine öğrenmesi algoritmaları ile tahmini: Amerika Birleşik Devletleri Örneği. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 2021; 22: 134-139.

Özhan E. Yapay zeka yöntemleri ile dünya depremlerinin modellene bilirliği. Isıtes2014. Karabük: Isıtes2014.

Rahman Rony A., Tabassum Amity N., Amir M. Student performance prediction using machine learning approach and data mining techniques 2020. Bangladesh: Daffodil International University Dhaka.

Russell S., Norvig P. Artificial ıntelligence a modern approach Third Edition 2010:702-703.

Soni A., Kumar V., Kaur R., Hemavathi D. Predicting student performance using data mining techniques. International Journal of Pure and Applied Mathematics 2018; 119(12): 221-227.

Stančin I., Jović A. An overview and comparison of free Python libraries for data mining and big data analysis. 2019 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), 2019, Opatija, Croatia. 20-24

Şenel FA. Makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak kayısı iç çekirdeklerinin sınıflandırılması. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi 2020; 9(2): 807-815.

Uğuz S., Oral O. PV güç santrallerinden elde edilecek enerjinin makine öğrenmesi metotları kullanılarak tahmin edilmesi. International Journal of Engineering Research and Development 2019; 11(3): 769-779.

Varoquaux G., Buitinck L., Louppe G., Grisel O. Scikit-learn: Machine learning without learning the machinery. GetMobile: Mobile Computing and Communications 2015; 19(1): 29–33.

Web1: https://www.karabayyazilim.com/blog/python/scikit-learn-nedir-2020-02-12-062241. Erişim Tarihi: 09.05.2023.

Web 2: https://www.datacamp.com/community/tutorials/naive-bayes-scikit-learn. Erişim Tarihi, 19.05.2023.

Web 3: https://medium.com/@gulcanogundur/roc-ve-auc-1fefcfc71a14. Erişim Tarihi: 20.05.2023.

Web 4: https://scikit-learn.org/stable/about.html#.Erişim Tarihi: 20.06.2023.

Web 5: https://medium.com/@gulcanogundur/roc-ve-auc-1fefcfc71a14. Erişim Tarihi: 20.05.2023.

Web 6: scikit-learn.org/:https://scikit-learn.org/stable/modules/svm.html. Erişim Tarihi: 20.05.2023.

Web 7: scikit-learn.org/:https://medium.com/kaveai/naive-bayes-ve-uygulamalarıd7d5a56c689b.Erişim Tarihi: 20.05.2023.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1061-1073, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1061-1073, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Akdağmadeni Restoran İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Aydınlanma Düzeylerinin Ölçülmesi

Soner ÖZEN[1*]

[1]Yozgat Bozok Üniversitesi, Akdağmadeni Sağlık Yüksekokulu, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Yozgat, Türkiye

[1]https://orcid.org/0000-0002-2351-3234
*Sorumlu yazar: soner.ozen@bozok.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 17.10.2024
Kabul tarihi: 12.02.2025
Online Yayınlanma: 16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Aydınlatma
Dialux evo
Aydınlık seviyesi
Lüksmetre
Yetersiz aydınlatma

ÖZ

Bu çalışma ile restoran işletmelerindeki fiziksel risk etmenleri kapsamında olan aydınlatmanın, restoran ortamında bulunan masa, sandalye, kiriş vb. elemanlar ile üretilen Dialux Evo programı simülasyon verilerinin lüksmetre vasıtasıyla elde edilen aydınlanma düzeyleri ile karşılaştırmaları yapılarak standartlara uygunluğunun incelenmesi amaçlanmıştır. Bir işletmede yeterli düzeyde aydınlatma, çalışanlarda oluşabilecek yorgunluk ve görsel problemler gibi sorunları önlemekle kalmaz, aynı zamanda çalışma ortamının çalışanlar tarafından olumlu algılanmasına ve işlerini aktif bir şekilde yürütmelerine de katkı sağlar. Araştırma bulgularının simülasyon sonuçları için şerit metre ile 4 adet restoranın çalışma sahası, dolaşım alanı ve eşyalar ölçülmüş, bilgisayar aracılığıyla Dialux Evo programına aktarılarak simüle lüks değerleri hesaplanmıştır. İşletmelerin aydınlanma düzeylerinin ölçümleri için ise PCE LMD 10 lüksmetre cihazı kullanılmıştır. Sonuç olarak; Dialux Evo programı vasıtasıyla elde edilen simülasyon değerlerinin, lüksmetre ile ölçülen aydınlanma düzeylerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Restoran işletmelerinde tüm alan ve bölgelerde aynı şiddette aydınlanma düzeylerine erişilmesi için dar açılı aydınlatma aygıtlarının ve dolaylı aydınlatma yöntemlerinin tercih edilmesinin önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Measurement of Illumination Levels in Terms of Occupational Health and Safety in Akdağmadeni Restaurant Enterprises

Research Article

Article History:
Received: 17.10.2024
Accepted: 12.02.2025
Published online: 16.06.2025

Keywords:
Lighting
Dialux evo
Illuminance level
Luxmeter
Insufficient lighting

ABSTRACT

This study aims to examine the compliance of lighting, which is within the scope of physical risk factors in restaurant establishments, with the standards by comparing the Dialux Evo program simulation data produced with elements such as tables, chairs, beams, etc. in the restaurant environment with the illumination levels obtained through lux meter. An adequate level of lighting in a business not only prevents problems such as fatigue and visual problems that may occur in employees but also contributes to the employees' positive perception of the work environment and the active execution of their work. For the simulation results of the research findings, the working area, circulation area, and furniture of 4 restaurants were measured with a tape measure, transferred to the Dialux Evo program via computer and simulated lux values were calculated. PCE LMD 10 lux meter was used to measure the illumination levels of the enterprises. As a result, it was determined that the simulation values obtained through the Dialux Evo program were higher than the illuminance levels measured with a lux meter. It is concluded that it is important to prefer narrow-angle lighting devices and indirect lighting methods to achieve the same illuminance level in all areas and zones in the restaurant establishments.

To Cite: Özen S. Akdağmadeni Restoran İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Aydınlanma Düzeylerinin Ölçülmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1061-1073.

1. Giriş

Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) göre iş sağlığı ve güvenliği; iş kazaları ve meslek hastalıklarına karşı önlemler alarak çalışanların sağlığını koruma ve geliştirmenin yanında çalışanların fiziksel, ruhsal ve sosyal refahını geliştiren, verimli sosyal ve ekonomik yaşam sürmelerini sağlayan bir kavramdır (WHO/ILO, 2001; Liu ve ark., 2023). İş sağlığı ve güvenliği tedbirleri doğrultusunda kişinin çalışma ortamındaki tüm ayrıntıları görebilmesi için uygun bir aydınlatma gereklidir (Aydın ve Polat, 2020). Aydınlatma, nesnelerin ve çevrenin gereği gibi görülebilmesini sağlamak amacı ile ışık uygulamaktır (Sözen, 2003; Bayrakdar, 2016). Aydınlatma, SI birim sisteminde candela (cd) ile ifade edilir. Aydınlatma kaynağının ışık miktarı yani ışık akısının birimi lümen ile ifade edilir. Aydınlatma ile karıştırılan aydınlanma düzeyi ise 1 metrekarelik yüzey alanına düşen ışık akısı (lümen, SI birim sisteminde) miktarıdır ve birimi lux' dur. Aydınlatmada temel amaç, çevrenin veya objelerin görsel açıdan algılanmasını ve çalışma ortamındaki iç hacim içerisinde uygun aydınlık seviyesini sağlamaktır (Onur, 2012). Yetersiz aydınlanma düzeylerinin neden olacağı anlık görme güçlükleri nedeniyle iş kazaları yaşanacaktır (Wahyuni ve ark., 2018; Sriwahyuni ve ark., 2020). Yeterli aydınlatma, aydınlatmadan kaynaklı yakınmaları ve çalışma ortamında yaşanabilecek kazalarda risklerin görsel açıdan fark edilebilirliğini artıracağından iş kazası oranını azaltmaktadır (Sriwahyuni ve ark., 2020). Yeterli düzeyde aydınlatma için; aydınlanma düzeyinin yeterli olması, kullanılan ışığın niteliğinin uygun olması, ışığın tekdüze olması, ışık yayılımının kesintili olmaması, göz kamaşmasına neden olmaması ve çalışılan yüzeye düşen gölgelerin olmaması gerekir (Blackwell, 1959; Karlen ve ark., 2017). Aydınlık seviyesinin uygun olması halinde ortamda bulunan çalışanların yorgunluk ve göz şikayeti olmadan işletme iç hacmini algılamaları, yaptıkları işi veya eylemlerini aktif bir biçimde uygulamaları sağlanır (Bayram ve Kale, 2020). Aydınlatmanın çalışma ortamında, görsel zevk sunmasının yanında çalışanların kendilerini daha iyi hissetmesi, daha az yorulması ve moralinin yüksek olması gibi psikolojik ve biyolojik etkilerinin bulunduğu bilinmektedir (Çınar ve Şensöğüt, 2017). Aydınlatma tasarımı yapılırken dikkat edilmesi gereken bazı ölçütler vardır. Bunlar; aydınlığın niteliği, niceliği, ışıklılık ve yüzey özellikleri olarak sıralanmaktadır. Aydınlığın niteliği, aydınlık seviyesinin yayılımı, ışığın doğrultusunda meydana gelen gölgeler ve ışığın rengi ile ilgilidir. Aydınlığın niceliği ise aydınlık seviyesi ile alakalıdır (Shen ve ark., 2022; Özcanlı ve Satıcı, 2023). Aydınlatma yapılan yüzeyin yapısı dikkate alınmalıdır. Koyu ve pis bir yüzey üzerindeki aydınlatma ışığın ancak %10-12'sini yansıtabilirken, açık renk ve temiz bir yüzeyin ışığı yansıtma oranı %90'dır (Ruck ve Smith, 1988). Göz kamaşmasını engellemek için ışık kaynağının görme alanının yeteri kadar yukarıya konumlandırılması veya opak bir malzeme ile ışık kaynağı çevrelemek gerekir (Sun ve ark., 2020). İşyeri aydınlatmasının hem niteliksel hem de niceliksel yönleri, birçok araştırmacı tarafından çalışanların verimliliğini belirleyen temel faktörler olarak kabul edilmektedir (Katabaro ve Yan, 2019). Yapılan bir çalışmada genel olarak 2000 lux aydınlanma düzeyinin 500 lux'ten daha iyi bir konfor hissi sağladığı belirtilmektedir (Manav, 2007). LED aydınlatması temelinde öznel veriler kullanılarak yapılan bir araştırmada ise en uygun aydınlanma düzeyinin 300 lux olduğu sonucuna varılmıştır (Fu ve ark.,

2023). İç mekan çalışma alanları ve insanların görsel görevlerini verimli, konforlu ve güvenli bir şekilde tüm çalışma süresi boyunca yerine getirmeleri için aydınlanma düzeyi gereksinimlerini belirten CIE ISO 8995 standardı, yiyecek ve içecek servisi yapılan işletmeler için aydınlanma düzeyinin en az 200 lux, parlaklık sınırlamasının en fazla 22 ve renk kalitesinin 80 olmasını öngörmektedir (CIE, 2001). Birçok kapalı iş yeri ve ilişkili alanlar için aydınlatma çözümlerine ilişkin gereksinimleri aydınlanma düzeyi ve kalitesi açısından belirten TS EN 12464-1:2021 standardında kafe, bar ve restoranlar için en az 150 lux aydınlanma düzeyi istenmektedir (TS EN 12464-1, 2021). Restoranlarda aydınlanma seviyelerinin standartlarda belirtilen değerlerden düşük veya yüksek olması ve bu durumun önemsenmemesi, gerekli denetimin yapılmaması gibi etmenler, kısaca aydınlatma seviyesinin uygun olmaması çalışanlar açısından çeşitli problemlere yol açabilmektedir (Baraban ve Durocher, 2010). Tüm bu iş güvenliği sorunlarının yanı sıra araştırmalar obez kişilerin, loş bir ortama kıyasla yüksek ışıklı bir masada daha fazla yemek tükettiklerini göstermiştir (Mannapova, 2021). Yine başka bir araştırma dolaylı aydınlatma koşullarında parlak ışıklı ortam koşullarına göre daha uzun sürede daha az yemek tükettikleri ve yemek kalitesinden daha çok memnun kaldıklarını belirtmektedir (Bschaden ve ark., 2020). Loş bir ortam sağlayan dolaylı aydınlatma koşulları ile çalışan açısından hem iş yerinin yeterli aydınlatma koşullarını sağladığı gibi hem de toplum sağlığına yönelik ortamlarda sunulmuş olur. Tüm bu uygun aydınlatma koşullarının tespiti için simülasyon programları aracılığıyla ortamın üç boyutlu sanal görüntülerini oluşturmak ve ışığın yüzeylerdeki dağılımını görüntülemek mümkündür (Shikder ve ark., 2009).

Literatürde restoran, kafe ve bar işletmelerinde aydınlanma düzeylerine yönelik ulusal ve uluslararası çalışmalara rastlanılmamıştır. Çalışmamız bu yönüyle özgündür. Bu çalışmanın amacı 4 adet restoran işletmesindeki fiziksel risk etmenleri kapsamında olan aydınlatmanın, restoran ortamında bulunan masa, sandalye, kiriş vb. elemanlar ile üretilen Dialux Evo programı simülasyon verilerinin lüksmetre vasıtasıyla elde edilen aydınlanma düzeyleri ile karşılaştırmaları yapılarak standartlara (CIE ISO 8995 standardı ve TS EN 12464-1:2021 standardı) uygunluğunun yapay aydınlatma etkisi açısından incelenmesidir.

2. Materyal ve Yöntem

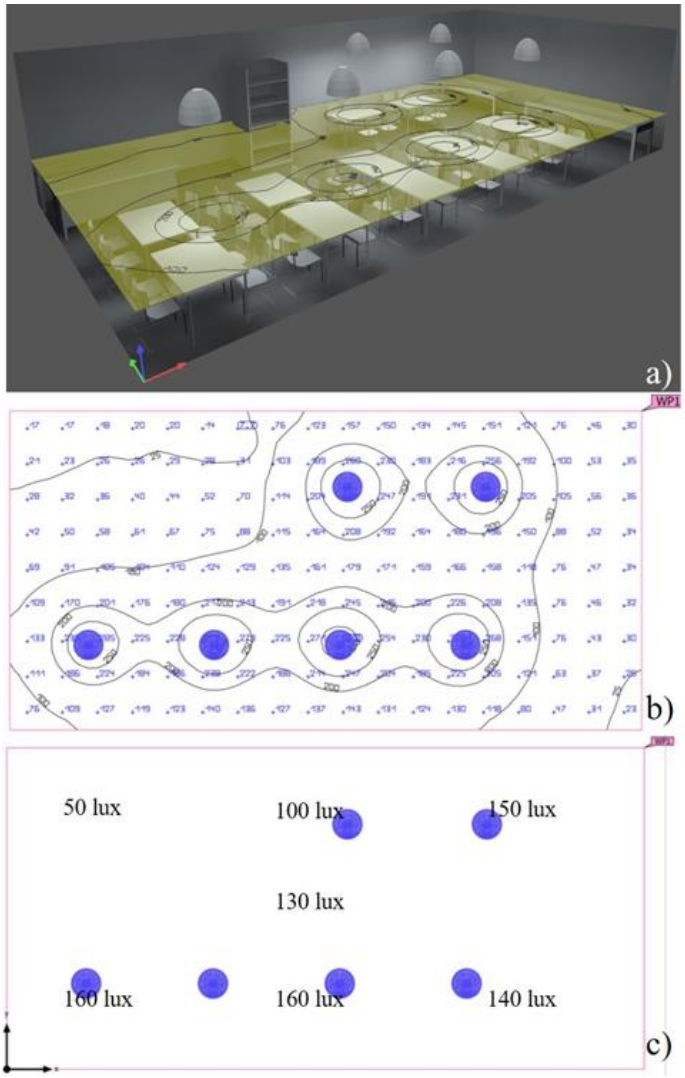
Araştırma deneysel nitelikte bir çalışmadır. Araştırmanın uygulaması Yozgat ili Akdağmadeni ilçesinde faaliyet gösteren restoranlarda Aralık 2023 ile Nisan 2024 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Uygulamanın yapıldığı zaman aralığında ilçede toplam dört adet restoran bulunmaktadır. Araştırmada bu dört adet restoranda aydınlanma düzeyleri incelenmiştir. Araştırmanın yapıldığı işletmelerden yazılı kurum izinleri alınmıştır. Aydınlatma ölçümleri öncesinde şerit metre ile tüm restoranların çalışma sahası, dolaşım alanı ve hizmet alanlarının içinde bulunan görme konforunu etkileyecek tüm araç gereçlerin (masa, sandalye, kiriş vb.) boyutları ölçülmüştür. Araştırmada tüm işletmelerin şerit metre ile elde edilen ölçüm değerleri ve aydınlatma kaynaklarının özellikleri Dialux Evo programı aracılığıyla aydınlatma simülasyonu yapılarak teorik aydınlanma düzeyleri hesaplanmıştır. Dialux Evo, programı, aydınlatma tasarımcılarına ve aydınlatma aygıtı üreticilerine açık, iç ve dış mekanlar için ışığın

tasarlanıp hesaplanarak görselleştirildiği bir yazılım programıdır. Aydınlanma düzeyleri ölçümleri PCE LMD 10 marka ışık şiddeti ölçüm kayıt cihazı olan lüksmetre ile yapılmıştır. Cihaz, çalışma ortamındaki ışık düzeylerini takip edebilmek amacıyla ışık şiddetini lux (lümen/metrekare) veya FC (foot-candle, yaklaşık 10 lux) birimlerinde kaydedebilen özelliklere sahip bir lüksmetre cihazıdır. Lüksmetrenin ışık ölçüm düzey aralığı 0,1 lux- 10klux aralığında olup, 0,1 lux hassasiyetinde ölçüm ve kaydetme özelliği bulunmaktadır. Lüksmetre cihazı arka ışıklı kolayca okunabilen LCD ekrana sahiptir. Ölçümler yapay aydınlatma etkilerini belirlemek için güneş battıktan sonra sadece akşam 20:00 saatlerinde gerçekleştirilmiştir. Aydınlanma düzeyi ölçümlerinde 1 dakika süre ile cihaz tarafından okunan değerlerin ortalaması kaydedilmiştir. Dialux Evo programında hesaplanan değerler ile lüksmetreden alınan verilerin karşılaştırması ve değerlendirilmesi ulusal ve uluslararası standartlar çerçevesinde yapılmıştır. İşletmelerde aydınlanma düzeylerini belirlemek için ışık şiddeti ölçüm yöntemi olarak TS EN 12464-1:2021 standardı kullanılmıştır. Restoran aydınlatma ölçümlerinde boş alanlarda yerden 1 metre yükseklikte, yemek yenilen masa üzerinden, çalışma yapılan yerlerde makinelerin veya tezgahın üstünden ölçümler yapılmıştır. İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmeliğe göre TS EN 12464-1:2021 Işık ve aydınlatma-Çalışma yerlerinin aydınlatılması-Bölüm 1: Kapalı çalışma alanları standardı aydınlanma düzeyleri için rehber olarak kabul edilmiştir.
Restoran işletmelerinin zemin yüzey alanlarının 72-112 m^2, tavan yüksekliklerinin 2,8-3,2 metre arasında olduğu tespit edilmiştir. Bakım çarpanı, aydınlatma kaynağının yıllar içerisinde ortaya çıkan performans kaybı ve yüzeyinin çeşitli nedenlerle kirlenmesi sebebiyle ortaya çıkan kayıpların bir ölçüsüdür ve genel olarak bilgi sahibi olunmadığı durumlarda 0,8 referans değeri verilir. İşletmelerin bakım çarpanı değeri Dialux Evo programında aydınlatma kaynağının etkisini tartışmak için sabit 0,8 değeri girilerek simüle edilmiştir. Çalışma düzlemi yüksekliği tüm iş yerleri için antropometrik ölçüler doğrultusunda uluslararası ISO 6385:2016 ergonomik standartların sağlanması zorunluluğu nedeniyle 0,75-0,80 metre olarak uygulanmaktadır. Ölçümler standartlaştırılarak 0,85 metre yükseklikten alınmış ve simüle edilmiştir. Tavan, duvar ve zeminin renk ve malzeme türü özellikleri yansıma derecelerini belirler. Açık renkli, pürüzsüz ve parlak yüzeyler yüksek yansıma değerleri gösterirken; koyu renkli, pürüzlü ve mat yüzeyler düşük yansıma değerleri gösterir. İncelenen işletmelerin bu özelliklerine göre; genel olarak yansıma dereceleri tavan için %70, duvar için %50 ve zemin için %20 olmak üzere; tavan için %70-85 arasında, duvar için %50-90 arasında ve zemin için %20-90 arasında değiştiği tespit edilmiş ve Dialux Evo programında simüle edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

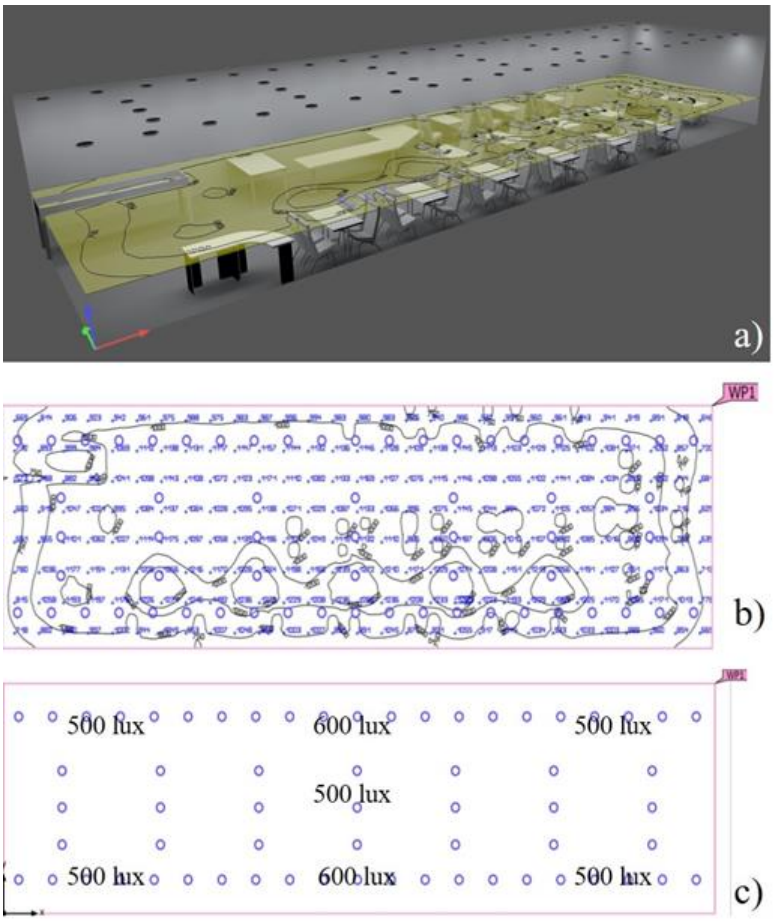
Şekil 1'de şerit metre ile Restoran İşletmesi-1 alan ölçülerinin alınarak işletme aydınlatma aygıtlarının bilgilerinin Dialux Evo programına aktarılmasıyla elde edilen 3 boyutlu simülasyon görüntüsü (a), simülasyon aydınlanma düzeyi haritası (b) ve lüksmetre ile elde edilen ışık şiddeti değerleri dağılımı (c) verilmiştir. Akkor flamanlı lamba kullanılan restoran işletmesinin zemin alanı 72 metrekare olup, tavan yüksekliği 2,8 metredir. Restoran İşletmesi-1'in çalışma alanında Dialux Evo programı sonucunda elde

edilen veriler gerçek ölçülen değerlerle karşılaştırıldığında simülasyon ile belirlenen aydınlanma düzeyinin (lux) lüksmetre ile ölçülen gerçek değerden az olduğu ortaya çıkmıştır. Lüksmetre ile tespit edilen aydınlanma düzeylerinin daha yüksek çıkmasının nedeni; akkor flamanlı lambaların diğer lambalara nazaran performans kayıplarının daha düşük olması, lambaların yeni değiştirilmesi ya da temizliklerinin günlük yapılması, simülasyona girilen lambanın teorik lümen değerlerinin gerçek değerlerden düşük olması gibi durumlardan kaynaklanacaktır. Diğer bir etken ise işletmede kullanılan ışık kaynaklarının yerleştirildiği armatür özellikleridir. Restoran İşletmesi-1 için armatürün ışığın dağılımını sınırlamaması nedeniyle armatür etkisinin bu işletmede anlamsız olduğu görüşüne varılmıştır. İşletmede aydınlanma düzeyini etkileyecek herhangi bir kiriş bulunmamaktadır. Bununla beraber, kullanılan masaların dolaylı aydınlatmaya katkı sağlayan mat beyaz renkte, sandalyelerin ise kullanıcıya renk kontrast farkı ile görme kolaylığı sağlayan kahverengi renkte olduğu belirlenmiştir. Restoran İşletmesi-1 de lüksmetre ile alınan ölçümler neticesinde elde edilen ortalama ışık şiddeti değeri 135 lux olup CIE ISO 8995 standardı (CIE, 2001) ve TS EN 12464-1:2021 standardının (TS EN 12464-1, 2021) altında aydınlanma düzeyi tespit edilmiştir.



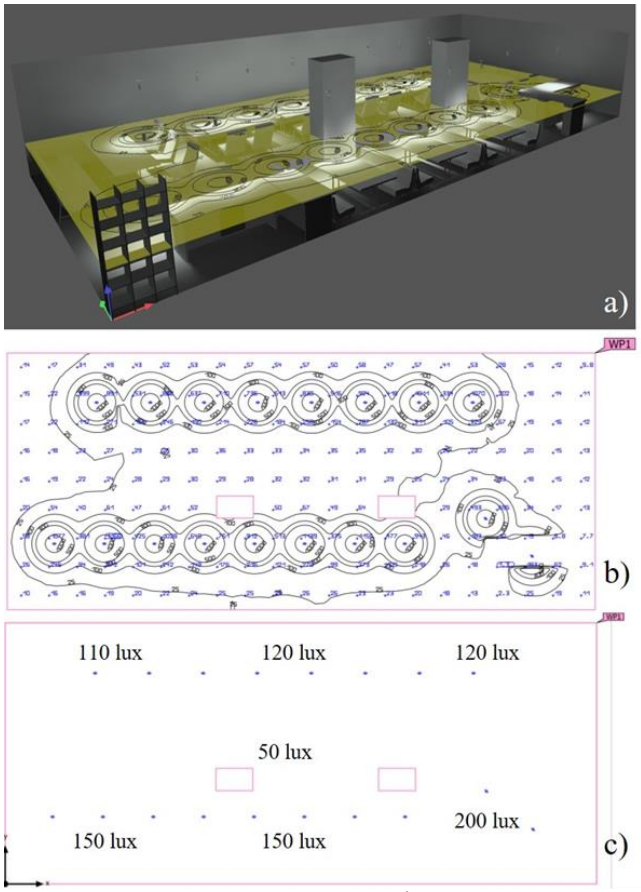
Şekil 1. Dialux Evo programı ile simülasyonu yapılan Restoran İşletmesi-1'in a) 3 boyutlu simülasyon görüntüsü, b) simülasyon aydınlanma düzeyi haritası, c) lüksmetre ile elde edilen değerler haritası

Şekil 2'de şerit metre ile Restoran İşletmesi-2 alan ölçülerinin alınarak işletme aydınlatma aygıtlarının bilgilerinin Dialux Evo programına aktarılmasıyla elde edilen 3 boyutlu simülasyon görüntüsü (a), simülasyon aydınlanma düzeyi haritası (b) ve lüksmetre ile elde edilen ışık şiddeti değerleri (c) dağılımı verilmiştir. LED ampul kullanılan restoran işletmesinin zemin alanı 90 metrekare olup, tavan yüksekliği 3,2 metredir. Restoran İşletmesi-2'nin çalışma alanında Dialux Evo programı sonucunda elde edilen veriler gerçek ölçülen değerlerle karşılaştırıldığında simülasyon ile belirlenen aydınlanma düzeyinin (lux) lüksmetre ile ölçülen gerçek değerden fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Tespit edilen bu farkın oluşmasında aydınlatma aygıtlarının bakım eksikliğinin yanı sıra tavan, duvar, zemin temizliklerinin göz ardı edilmesi etkili olmuştur. Literatürde aydınlanma düzeylerinin bakım eksikliği, aydınlatılmak istenen yüzeylerin temizliklerinin yapılmaması ile olumsuz etkilendiğini belirten çalışmalar yer almaktadır (Blackwell, 1959; Houser ve ark., 2010). İşletmede incelenen alanda herhangi bir kiriş bulunmamakla birlikte, kullanılan masaların ve sandalyelerin kullanıcıya görme kolaylığı sağlayan kahverengi renkte olduğu belirlenmiştir. Restoran İşletmesi-2 de lüksmetre ile alınan ölçümler neticesinde elde edilen ortalama ışık şiddeti değeri 550 lux olup CIE ISO 8995 standardı ve TS EN 12464-1:2021 standardının çok üstünde aydınlanma düzeyi tespit edilmiştir.



Şekil 2. Dialux Evo programı ile simülasyonu yapılan Restoran İşletmesi-2'nin a) 3 boyutlu simülasyon görüntüsü, b) simülasyon aydınlanma düzeyi haritası, c) lüksmetre ile elde edilen değerler haritası

Şekil 3'de şerit metre ile Restoran İşletmesi-3'ün alan ölçülerinin alınarak işletme aydınlatma aygıtlarının bilgilerinin Dialux Evo programına aktarılmasıyla elde edilen 3 boyutlu simülasyon görüntüsü (a), simülasyon aydınlanma düzeyi haritası (b) ve lüksmetre ile elde edilen ışık şiddeti değerleri (c) dağılımı verilmiştir. Akkor flamanlı lamba kullanılan restoran işletmesinin zemin alanı 112 metrekare olup, tavan yüksekliği 3,2 metredir. Restoran İşletmesi-3'ün çalışma alanında Dialux Evo programı sonucunda elde edilen veriler gerçek ölçülen değerlerle karşılaştırıldığında simülasyon ile belirlenen aydınlanma düzeyinin (lux) lüksmetre ile ölçülen gerçek değerden fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Özellikle duvar kenarlarında ışık şiddeti aydınlatma aygıtlarının asılı tip olması ve dar açılı armatür tasarıma sahip olması nedeniyle oldukça düşüktür. İşletmede duvar ve tavanların yeni boyanmış olduğu, çalışma yüzeylerinin ise temiz olduğu görülmüştür. Restoran İşletmesi-3 için bu farka asıl etkiyi oluşturan etkenin ışık kaynağının performans kaybı olduğu anlaşılmış ve duvar tavan boya ihtiyacı gibi bakım eksikliğinin bu işletmede anlamsız olduğu görüşüne varılmıştır. İşletmedeki 2 (iki) adet kirişin aydınlanma düzeyini olumsuz etkilememesi için aydınlatma aygıtı sayısı arttırılmış ve homojen bir aydınlanma düzeyi sağlanmıştır. Kullanılan masalar ve sandalyeler, kullanıcıya görme kolaylığı sağlayan kahverengi renktedir. Kahverengi masa ve sandalyeler renk ayrımı katkısı ile görme konforunu arttıracaktır (Beck, 1975). Restoran İşletmesi-3 de lüksmetre ile alınan ölçümler neticesinde elde edilen ortalama ışık şiddeti değeri 130 lux olup CIE ISO 8995 standardı ve TS EN 12464-1:2021 standardının altında aydınlanma düzeyi tespit edilmiştir.

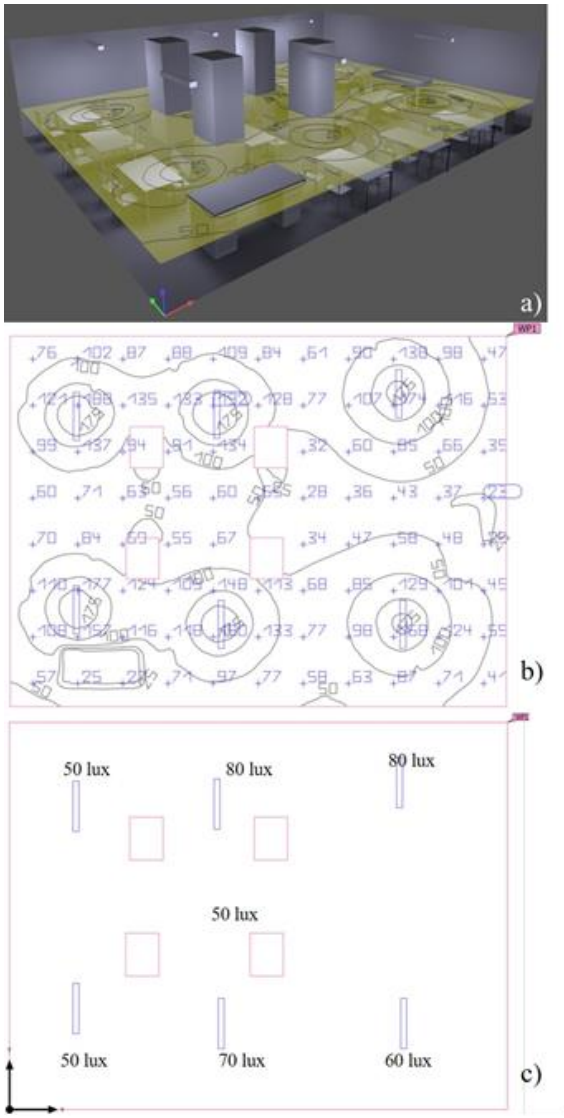


Şekil 3. Dialux Evo programı ile simülasyonu yapılan Restoran İşletmesi-3'ün a) 3 boyutlu simülasyon görüntüsü, b) simülasyon aydınlanma düzeyi haritası, c) lüksmetre ile elde edilen değerler haritası

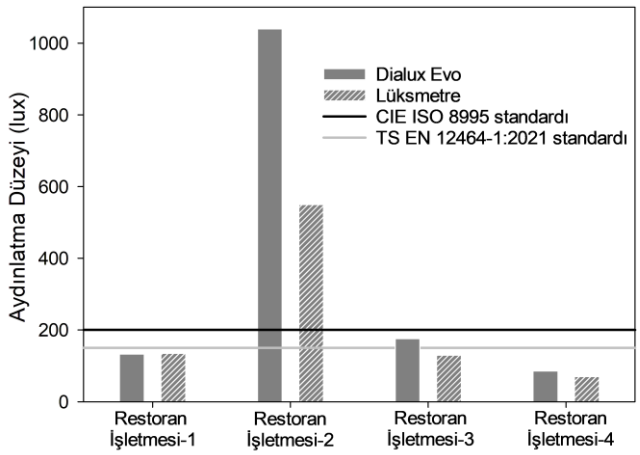
Şekil 4'de şerit metre ile Restoran İşletmesi-4'ün alan ölçülerinin alınarak işletme aydınlatma aygıtlarının bilgilerinin Dialux Evo programına aktarılmasıyla elde edilen 3 boyutlu simülasyon görüntüsü (a), simülasyon aydınlanma düzeyi haritası (b) ve lüksmetre ile elde edilen ışık şiddeti değerleri (c) dağılımı verilmiştir. Floresan lamba kullanılan restoran işletmesinin zemin alanı 108 metrekare olup, tavan yüksekliği 2,8 metredir. Restoran İşletmesi-4'ün çalışma alanında Dialux Evo programı sonucunda elde edilen veriler gerçek ölçülen değerlerle karşılaştırıldığında simülasyon ile belirlenen aydınlanma düzeyinin (lux) lüksmetre ile ölçülen gerçek değerden fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Restoran İşletmesi-4 için asıl etkiyi oluşturan durumun bakım çarpanını etkileyen işletme bakımının yetersiz olduğu görüşüne varılmıştır. Diğer bir etken ise işletmede kullanılan ışık kaynaklarının floresan lamba (zamanla ışık şiddeti düşen tür) olması ve armatür tasarımı nedeniyle toz ve kirli yapıya sahip olmasıdır. 4 (dört) adet kirişin ışık kaynaklarına engel oluşturması nedeniyle aydınlatma aygıtı olarak uzun floresan lamba işletme tarafından tercih edilmiştir. Uzun tasarımları sayesinde ve kirişlerin ön, arka ve ara kısımlara yerleştirilmeleri nedeniyle olumsuz etkiler elimine edilmeye çalışıldığı görülmüştür. Kullanılan masaların üzerinde yer alan cam tabakalar yüksek yansıma özellikleri sebebiyle göz kamaşmasına neden olacağı tespit edilmiştir. Sandalyelerin ise kullanıcıya görme kolaylığı sağlayan kahverengi renkte olduğu belirlenmiştir (Beck, 1975). Restoran İşletmesi-4'ün lüksmetre ile alınan ölçümler neticesinde elde edilen ortalama ışık şiddeti değeri 70 lux olup CIE ISO 8995 standardı ve TS EN 12464-1:2021 standardının çok altında aydınlanma düzeyi tespit edilmiştir.

Şekil 5'de 4 ayrı işletmenin simülasyon ve ışık şiddeti ölçüm cihazı ile elde edilen sonuçların standartlara göre karşılaştırıldığı grafik verilmiştir. Dialux Evo simülasyon değerleri ile ölçülen değerler arasındaki farkın oluşmasında elbette işletmelerin aydınlatma aygıtlarının kalitesi ve zemin, duvar, masa vb. gibi işletme fiziksel ortam koşullarının bakım ve temizliğinin etkisi söz konusudur (Blackwell, 1959; Houser ve ark., 2010). İşletmelerin bakım çarpanı değerlerini sabit 0,8 olarak almıştık. Elde ettiğimiz Dialux Evo programı verileri ve lüksmetreden okunan değerlerin karşılaştırılması ile; Restoran İşletmesi-1 haricinde işletmelerde bakımların ve temizliklerin aksatıldığı görülmüştür. Aksatılan bu bakım ve temizliklerin aydınlanma düzeyini hemen hemen %50 oranında etkilediği tespit edilmiştir. Restoran İşletmesi-1 de aydınlatma aygıtlarının lümen değerinin programa girilen lümen değerinden yüksek olduğu ihtimali de mümkündür. Gerçek ölçüm sonuçlarını içeren lüksmetre verilerine bakıldığında ise; Restoran İşletmesi-2 haricinde aydınlanma düzeylerinin yetersiz kaldığı görülmüştür.

Küçük alanlı restoranlar için kullanılacak ışık kaynağı sayısını artırmak için (<50m^2) ışık akısı düşük olan (lümen değeri düşük) daha sık yerleştirilmiş aydınlatma aygıtlarının tercih edilmesi işletme alanının her yerinde eşit olarak aydınlanma düzeyi oluşturur. Restoran işletmelerinde tüm yüzey boyunca aynı ışık şiddetinin yakalanması için dar açılı aydınlatma aygıtlarının tercih edilmesi, tavan ve duvar yansıtma ile dolaylı aydınlatma yöntemlerinin tercih edilmesi önemlidir. Akkor flamanlı ampul ve floresan ampullerin yerine LED ampul tercih eden Restoran İşletmesi-2 ve Restoran İşletmesi-3 daha az enerji tüketimi, uygun ışık rengi ve durağan (göz kamaşmasına neden olmayan) koşullar sağlayarak işletmeye ekonomik ve görsel kazanç sağlamıştır.



Şekil 4. Dialux Evo programı ile simülasyonu yapılan Restoran İşletmesi-4'ün a) 3 boyutlu simülasyon görüntüsü, b) simülasyon aydınlanma düzeyi haritası, c) lüksmetre ile elde edilen değerler haritası



Şekil 5. Dialux Evo programı ve lüksmetre ile elde edilen aydınlanma düzeyleri grafiği

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma ile restoran işletmelerindeki fiziksel risk etmenleri kapsamında olan aydınlatmanın, restoran ortamında bulunan fiziksel koşulların dahil edildiği Dialux Evo programı vasıtasıyla simülasyon verilerinin TS EN 12464-1 standardında verilen değer ile karşılaştırılarak restoran işletmelerindeki aydınlık seviyesinin yeterliliğinin incelenmesi amacı doğrultusunda araştırma bulguları sunulmuştur. Restoran İşletmesi-1 de Dialux Evo programından elde edilen ışık şiddeti 133 lux olup, lüksmetreden elde edilen ışık şiddeti değeri 135 lux dür. Her iki sonuç da CIE ISO 8995 standardı ve TS EN 12464-1:2021 standardının altında değere sahiptir. Restoran İşletmesi-2 de Dialux Evo programından elde edilen ışık şiddeti 1040 lux olup, lüksmetreden elde edilen ışık şiddeti değeri 550 lux dür. Her iki sonuç da CIE ISO 8995 standardı ve TS EN 12464-1:2021 standardının çok üstünde değere sahiptir. Restoran İşletmesi-3 de Dialux Evo programından elde edilen ışık şiddeti 176 lux olup, lüksmetreden elde edilen ışık şiddeti değeri 130 lux dür. Simülasyon programı sonucu TS EN 12464-1:2021 standardının üstünde değere sahip iken, her iki sonuçta CIE ISO 8995 standardının altında değere sahiptir. Restoran İşletmesi-4 de Dialux Evo programından elde edilen ışık şiddeti 86 lux olup, lüksmetreden elde edilen ışık şiddeti değeri 70 lux dür. Her iki sonuç da CIE ISO 8995 standardı ve TS EN 12464-1:2021 standardının altında değere sahiptir. Bulgular sonucunda; standartlarda belirtilen aydınlanma düzeyinin restoranlar genelinde Restoran İşletmesi-2 haricinde sağlanamadığı görülmüştür. Restoran İşletmesi-3 simülasyon verisi her ne kadar TS EN 12464-1:2021 standardını karşılamış olsa da teorik veriler olduğundan standarda uygun olduğunu söyleyemeyiz. Ulaşılan bu bulgu doğrultusunda simülasyon verilerinin güvenirliliği tartışmalı hale gelmiştir.

Standartlara uygun olmayan ışık şiddeti ve tek düze olmayan ışık dağılımları anlık görme zorluğuna neden olmaktadır ve anlık görme zorluğunun da kaza olasılığını arttırıcı etkisi vardır. Restoran işletmelerinde aydınlatma tasarımlarına karar verirken; öncelikle "İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelik" gereği TS EN 12464-1 standardına uygun iş yeri bölümlerinin aydınlanma düzeylerinin bilinmesi ve aydınlatma programları vasıtasıyla uygun ışık kaynağı seçimine karar verilmesi gerekir. Harcanan enerji başına lümen değeri yüksek olan yani ışık etkinliği yüksek olan LED lambalar tercih edilerek hem standartlara uygun aydınlanma düzeyleri hem de göz kamaşmasına neden olmayan göz sağlığına uygun çalışma ortamı elde edilebilir. Tozlu ve kirli yüzeylerin temizlenmesi dolaylı aydınlatmaya katkı sağlayan yüzeylerden (tavan, duvar, masa, zemin vb.) yansıyan ışığın yüzdesinin artmasına neden olarak daha yüksek aydınlanma düzeyleri sağlayacaktır. Mümkün mertebe aydınlatma kaynakları tavana yakın tutulmalı ki ışığın yayınımı artarak eşit düzeyde aydınlanma düzeyi elde edilebilsin. Mekânda ışık yansıtma katsayılarının yüksek olduğu açık renkli malzemelerin kullanılmasına özen gösterilerek aydınlanma düzeylerini artırarak standartlara uygun hale getirilebilir. Yalnız burada dikkat edilmesi gereken göz kamaşmasına sebep olacak parlak yüzeyli materyaller yerine mat yüzeyli materyaller tercih edilmelidir. Ayrıca, aydınlatmada seçilen ışık kaynağının gün ışığı benzeri ya da yakın renksel geriverim ve renk sıcaklığında ışık niteliğine sahip olmasına dikkat edilmelidir. Aydınlanma düzeyleri arasında aşırı fark oluşması görsel geçiş açısından

adaptasyon sağlarken, diğer yandan çok düşük aydınlanma düzeyleri sebebiyle görmeye engeldir. Bu nedenle görsel geçişlerin özellikle de yeme-içme alanlarında minimize edilmesi görülmesi gereken detayların seçilmesine de olanak tanıyacaktır. Mümkün olduğunca daha çok aydınlatma kaynağı tercih edilerek çalışma düzlemini aydınlatan ışık kaynaklarının çalışanın en çok baktığı yönde konumlandırılmaması, düşey doğrultuda göz ile ışık kaynağı arasındaki açının 30 dereceden daha düşük olmasına dikkat edilerek göz kamaşmasını engellemek için dar açıda aydınlatma yapması sağlanmalıdır. Standartlar ve mevzuatlar en temel yeterlilikleri belirleyen yazılı kurallardır. Temel yeterlilikler noktasında uygun şartların sağlanamadığı gibi görme sağlığını etkileyecek diğer faktörler konusunda da yetersizliklerin olduğu yapılan bu çalışma ile görülmüştür. İş sağlığı ve güvenliği tedbirleri kapsamında sunulan önerilerle hem standartlara uyumun nasıl sağlanacağı hem de WHO'nün ön gördüğü çalışanların fiziksel, ruhsal ve sosyal refahını iyileştirmeye yönelik koşullarda belirtilmiştir. İş sağlığı ve güvenliği tedbirleri arasında önemsenmeyen hatta kapsam dışında görülen yetersiz aydınlatma koşullarına dikkat çekilerek iş güvenliği sorunlarına yönelik kök nedenin tespit edilmesine fayda sağlayacaktır. Bu objektif analiz yöntemleri sonuçları doğrultusunda subjektif sonuçların belirleneceği anket, ölçek çalışmalarıyla birleştirilerek yeni araştırma sonuçları üretilebilir. Ayrıca ilçe düzeyinde kurumsal niteliğe sahip olmayan işletmelerde yürütülen özgün aydınlanma seviyelerine yönelik bu çalışma kurumsal nitelikteki işletmelerde de yürütülerek daha kapsamlı bir araştırmaya dönüştürülebilir.

Teşekkür

Bu çalışma Yozgat Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FYL-2022-1032 nolu proje ile desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması

Bu çalışmada herhangi bir kurum, kuruluş, kişiler ve yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Yazar Katkıları

Yazarın katkısı %100'dür.

Kaynaklar

Aydın A., Polat B. Çanakkale ili ticari süt çiftliklerinde aydınlatma koşullarının değerlendirilmesi. ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi 2020; 8(2): 289–299. doi: 10.33202/comuagri.702805

Baraban RS., Durocher JF. Successful restaurant design. John Wiley & Sons 2010; 29–32.

Bayram İ., Kale ÖA. Eğitim binalarının aydınlatma performansı açısından değerlendirilmesi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2020; 2: 783–798. doi: 10.24012/dumf.558171

Bayrakdar G. İşyerlerinde aydınlatma koşullarının iş sağlığı ve güvenliği yönünden değerlendirilmesi. Türkiye Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi 2016, Ankara.

Beck J. The perception of surface color. Scientific American 1975; 233(2): 62-77.

Blackwell HR. Specification of interior illumination levels. Illuminating Engineering 1959; 54(6): 317-353.

Bschaden A., Dörsam AF., Cvetko K., Kalamala T., Stroebele-Benschop N. The ımpact of lighting and table linen as ambient factors on meal intake and taste perception. Food Quality and Preference 2020; 79: 103797. doi: 10.1016/j.foodqual.2019.103797

Çınar İ., Şensöğüt C. Yeraltı maden ocaklarında aydınlatma koşullarının belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 2017; 32(2): 77–83. doi: 10.21605/cukurovaummfd.358369

CIE. 008. E: Lighting of ındoor workplaces ISO 8995, 2001.

Fu X., Feng D., Jiang X., Wu T. The effect of correlated color temperature and illumination level of LED lighting on visual comfort during sustained attention activities. Sustainability 2023; 15(4): 3826.

Houser KW., Royer MP., Mistrick RG. Light loss factors for sports lighting. Leukos 2010; 6(3): 183-201.

Karlen M., Spangler C., Benya JR. Lighting design basics. John Wiley & Sons 2017; ss. 17-27.

Katabaro JM., Yan Y. Effects of lighting quality on working efficiency of workers in office building in Tanzania. Journal of Environmental and Public Health 2019; 2019: 476490. doi: 10.1155/2019/3476490

Liu R., Liu HC., Shi H., Gu X. Occupational health and safety risk assessment: A systematic literature review of models, methods, and applications. Safety Science 2023; 160: 106050.

Manav B. An experimental study on the appraisal of the visual environment at offices in relation to colour temperature and illuminance. Building and Environment 2007; 42(2): 979-983.

Mannapova NR. Organization and basic requirements for restaurant design interior. Organization 2021; 7(5): 5-12.

Onur B. İşçi sağlığı ve iş güvenliği açısından aydınlatma. Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi 2012.

Özcanlı D., Satıcı B. Müzelerde aydınlatmanın mekân algısı üzerine etkileri. İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi 2023; 6(1): 23–35. doi: 10.56809/icujtas.1228858

Ruck N., Smith SCJ. The passive daylighting of building interiors. Architectural Science Review 1988; 31(3): 87–98. doi: 10.1080/00038628.1988.9696634

Shen Y., Ling J., Li T., Zhou L., Feng S., Zhu H. Diffuse reflection-based lighting calculation model and particle swarm optimization algorithm for road tunnels. Tunnelling and Underground Space Technology 2022; 124: 104457. doi: 10.1016/j.tust.2022.104457

Shikder SH., Price A., Mourshed M. Evaluation of four artificial lighting simulation tools with virtual building reference. European Simulation and Modelling Conference, 28-29 October 2009, 77-82, Leicester.

Sriwahyuni S., Santika E., Khairunnas K., Ishalyadi I., Fahlevi MI. The effect of work situation and unsafety action on work accident in PT. Raja Marga Nagan Raya District. J Kesmas: Jurnal Fakultas Kesehatan Masyarakat (The Indonesian Journal of Public Health) 2020; 7(1): 34-37.

Sözen MŞ. Aydınlatma tasarımında mimarın ve elektrik mühendisinin rolü. II. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu ve Sergisi, 08-10 Ekim 2003, sayfa no: 1-7, Diyarbakır, Türkiye. https://www.emo.org.tr/ekler/2cf3f7ef9063075_ek.pdf

Sun Y., Liu X., Qu W., Cao G., Zou N. Analysis of daylight glare and optimal lighting design for comfortable office lighting. Optik 2020; 206: 164291. doi: 10.1016/j.ijleo.2020.164291

TS EN 12464-1. Işık ve aydınlatma-çalışma yerlerinin aydınlatılması-Bölüm 1:Kapalı Çalışma Alanları, 2021.

Wahyuni D., Panjaitan N., Budiman I., Sitorus M. Analysis of lighting condition in cutting area. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2018; 434(1): 012241.

WHO/ILO. Occupational health and safety in Africa. Meeting report. World Health Organization with input of WHO/ILO Joint Effort Taskforce 2001.

To
OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1074-1088, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1074-1088, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Mycoplasma pneumoniae Protein-Protein Etkileşimlerinin Maya İkili-Hibrid Yöntemi ile Analizi

Işıl TULUM[1*]

[1]İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 34134, İstanbul

[1]https://orcid.org/0000-0002-4378-6619
*Sorumlu yazar: isil.tulum@istanbul.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 06.01.2025
Kabul tarihi: 15.02.2025
Online Yayınlanma: 16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Mycoplasma pneumoniae
Maya ikili-hibrid
P1 adhezin

ÖZ

Protein etkileşimlerini tanımlamak, protein fonksiyonlarını belirlemede önemli bir adımdır. Bilinmeyen bir proteinin fonksiyonu, bu nedenle, anotasyonlu etkileşim partnerlerinin tanımlanmasından çıkarılabilir. Tipik olarak, maya ikili-hibrid sistemi (Y2H), protein-protein etkileşimlerini tespit etmek için en yaygın kullanılan genetik testtir. Mikoplazmalar, genomu tamamen dizilen ilk organizmalardan biridir ve minimal hücreler ile sentetik biyolojiyi çalışmak için ilginç bir modeldir. Ancak mikoplazmalarda protein-protein etkileşimlerini incelemek için kullanılan başarılı bir Y2H sistemi bulunmamaktadır. Bu çalışmada, insan patojenik bakterisi *Mycoplasma pneumoniae* kullanarak mikoplazmalar için kullanılabilir başarılı bir Y2H sistemi geliştirme ve uygulama hedeflenmiştir. İlk denemelerde, *M. pneumoniae*'nin hareket mekanizması ve hücre iskeleti bütünlüğünü korumada görevli olduğu bilinen proteinler olan P1 adhezin (MPN141), HMW1 (MPN447) ve HMW2 (MPN310) arasındaki etkileşimlere odaklanılmıştır. Başarılı bir Y2H sistemi geliştirmek için önemli iki ana unsurun olduğu bulunmuştur. İlk unsur, türler arası kodon kullanım farklılıklarına dikkat ederek kodon uyumluluğunu sağlamasıdır. UGA kodonu prokaryotlar ve ökaryotlar boyunca bir durdurma kodonu olarak kodlandığı yerde mikoplazmalarda triptofan amino asidi olarak kodlanır. İlgili hedef gen dizilerinde UGA kodonu UGG olarak düzenlenmiştir. İkinci unsur ise etkileşimleri incelenecek proteinlerin ikincil yapıları dikkate alınarak Y2H vektörlerinin tasarlanmasıdır. P1 adhezin, HMW1 ve HMW2 proteinlerinin ikincil yapıları incelenerek, Y2H vektörleri tasarlanırken hedef proteinlerin transmembran segmenti içermemeleri ve kıvrımlı-bobin, α-sarmal ve β-levhaların bozulmayacak şekilde fragmentlere ayrılmasına dikkat edilmiştir. Sonuçlarımız, P1 adhezin en uç C-terminal bölgesi ile HMW1 ve HMW2 proteinlerinin C-terminal bölgeleri arasında etkileşim olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, *M. pneumoniae*'de Y2H'nin ilk başarılı denemesi olup, diğer mikoplazma türlerinde yapılacak denemeler için literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Analysis of *Mycoplasma pneumoniae* Protein-Protein Interactions by Yeast Two-Hybrid Method

Research Article

Article History:
Received: 06.01.2025
Accepted: 15.02.2025
Published online: 16.06.2025

Keywords:
Mycoplasma pneumoniae
Yeast two_hybrid
P1 adhesin

ABSTRACT

Defining protein-protein interactions is a crucial step in elucidating protein functions. Consequently, the function of an uncharacterized protein can be determined by recognizing its known interaction partners. The yeast two-hybrid (Y2H) system is commonly regarded as the most popular genetic assay for identifying protein-protein interactions. *Mycoplasmas* are among the first organisms with fully sequenced genomes and serve as intriguing models for studying minimal cells and synthetic biology. However, a successful Y2H system has not yet been established to examine protein-protein interactions in mycoplasmas. In this study, we aimed to develop and implement a viable Y2H system for mycoplasmas using the human pathogenic bacterium *Mycoplasma*

pneumoniae. The initial trials concentrated on examining the interactions among proteins that are recognized for their roles in the motility of *M. pneumoniae* and the preservation of cytoskeletal integrity, particularly the P1 adhesin (MPN141), HMW1 (MPN447), and HMW2 (MPN310). Our findings indicate that two primary factors are essential for successfully developing of a Y2H system. The first factor pertains to ensuring codon compatibility by considering differences in interspecies codon usage. While the UGA codon encodes a stop codon across prokaryotes and eukaryotes, in mycoplasmas, it is translated as tryptophan. Thus, the UGA codon in the relevant target gene sequences has been modified to UGG. The second factor involves designing Y2H vectors by considering the secondary structures of the proteins to be examined for interactions. By analyzing the secondary structures of P1 adhesin, HMW1, and HMW2 proteins, it was ensured that the target proteins do not contain transmembrane segments and that the structures of the coiled-coil, α-helix, and β- sheet were preserved when fragmented. Our results demonstrate an interaction between the extreme C-terminal region of P1 adhesin and the C-terminal regions of HMW1 and HMW2 proteins. This study represents the first successful attempt at Y2H in *M. pneumoniae*, and it is anticipated that it will contribute to the literature for further experiments on other mycoplasmal species.

To Cite: Tulum I. Analysis of *Mycoplasma pneumoniae* Protein-Protein Interactions by Yeast Two-Hybrid Method. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1074-1088.

1. Introduction

Protein-protein interactions (PPIs) are fundamental biological phenomena that play a crucial role in virtually every cellular process. These interactions involve the physical binding of two or more proteins, leading to a range of functional outcomes essential for maintaining cellular homeostasis, signalling, and regulation. PPIs are involved in critical processes such as enzyme activity modulation, signal transduction, immune responses, and cellular structural integrity (Kuzmanov and Emili, 2013). The combination of experimental and computational methods provides a comprehensive framework for identifying and characterizing these interactions, ultimately contributing to a deeper understanding of cellular functions (Ori et al., 2016; Titeca et al., 2018). PPI studies employ various methods to identify and characterize how proteins interact with each other in biological systems. Historically, the study of PPIs has evolved from traditional biochemical methods, such as yeast two-hybrid assays and co-immunoprecipitation (Co-IP), to advanced high-throughput techniques like mass spectrometry and protein microarrays. Recent advances in computational biology and bioinformatics have further enhanced our understanding of PPIs by facilitating the prediction and modeling of interactions based on protein structural data and sequence homology (Hashemifar et al., 2018; Zhang et al., 2020). Machine learning algorithms and network analysis techniques have also emerged as powerful tools for dissecting complex PPI networks, enabling researchers to predict the functional consequences of specific interactions and identify critical nodes within signaling pathways (Sun et al., 2017; Jumper et al., 2021). Despite these advancements, many challenges remain in the study of PPIs. The transient and context-dependent nature of many interactions complicates their detection and interpretation. The yeast two-hybrid (Y2H) system is a commonly used experimental method for investigating protein- protein interactions *in vivo* using yeast cells. The underlying principle of the Y2H system is based on the

modular structure of transcription factors, which typically consist of two domains: a DNA-binding domain (DBD) and a transcriptional activation domain (AD). In this system, a protein of interest known as the "bait" is combined with the DBD, whereas a second protein referred to as the "prey" is linked to the AD. When both proteins are expressed in yeast cells, interaction between the bait and prey brings the DBD and AD together, resulting in the activation of a reporter gene. This activation allows for the growth of yeast on selective media (his3 which allows yeast to grow in selective media) or measurable enzymatic activity or (lacZ which can produce a color change), indicating a successful interaction (Makuch, 2014; Mehla et al., 2015). *Mycoplasmas* are one of the first organisms to have their genomes fully sequenced and an intriguing model for studying minimal cells and synthetic biology. *Mycoplasmas* typically have extremely small genomes, often fewer than 1,000 genes (Razin et al., 1998). This can make them a potential model organism to study genetic function and gene interactions, as there are fewer genes to analyze and manipulate. But, studying PPI in *Mycoplasmas* is challenging due to a modification in their genetic code. They use UGA as tryptophan which is a stop codon throughout prokaryotes and eukaryotes (Inamine et al., 1990). Moreover, the expression of heterologous genes introduced into mycoplasmas can be unpredictable due to differences in regulatory elements, which may lead to low or variable protein production (Ana et al., 2024). These challenges necessitate the development and optimization of techniques and methods tailored to mycoplasma PPI research to achieve successful functional studies. Recent advances in proteomics and molecular biology have enabled a deeper understanding of the interactions between mycoplasma proteins and host cells. Techniques such as co-immunoprecipitation, mass spectrometry, and fluorescence microscopy have been pivotal in elucidating these complex protein-protein interactions (Wang et al., 2024). Studies have also revealed that certain mycoplasmas can translocate into host cells, where they can manipulate host cellular machinery and signaling pathways, thereby disrupting normal cellular functions (Liu et al., 2022). Despite the advances made in this field, many aspects of mycoplasma protein interactions remain poorly understood, particularly concerning the full repertoire of mycoplasmal effectors and their mechanisms of action. This lack of comprehensive understanding hinders the development of effective therapeutic interventions and vaccines against mycoplasma infections. *Mycoplasma pneumoniae* is a bacterium belonging to *Mycoplasmas* family causes respiratory infections, notably atypical pneumonia, particularly in children and young adults. *M. pneumoniae* possesses unique characteristics, one of which is its gliding motility which plays a significant role in its pathogenicity (Bajanti et al., 2018; Torres et al., 2021). Gliding motility aids in the adhesion of *M. pneumoniae* to respiratory epithelial cells. By moving along the surface, it can find and tightly bind to host cells, increasing its ability to colonize the respiratory tract. The ability to adhere to the respiratory epithelium is critical for infection. *M. pneumoniae* uses surface proteins (adhesins) to attach to host cells. Unlike more conventional bacterial motility, which often relies on flagella or cilia (Basemann et al., 1982). The gliding motility of *M. pneumoniae* is a sophisticated mechanism that enables it to move along surfaces through a combination of adhesion and internal cellular dynamics. The gliding machinery is composed of a network of proteins

including nap-like surface protrusions (P1 adhesin complex including the P40/P90 polypeptides) and internal structure which consists of a terminal button, paired plates (HMW1 and HMW2) and a bowl complex (Hegermann et al., 2002) (Figure 1A-B-C). P1 adhesin (MPN141) is a protein consisting of 1,627 amino acids, known to be the main adhesin that enables bacteria to attach to host cells (Feldner et al., 1982; Hu et al., 1982; Inamine 1988). It is primarily concentrated at the tip of *M. pneumoniae* but is also found distributed across the surface of the mycoplasma (Baseman et al., 1982). The high-molecular-weight proteins (HMW proteins) are components of a cytoskeleton-like structure in *M. pneumoniae*, and their activities imply that they might have a scaffolding function (Krause, 1996; Hahn et al., 1998; Willby et al., 2002).

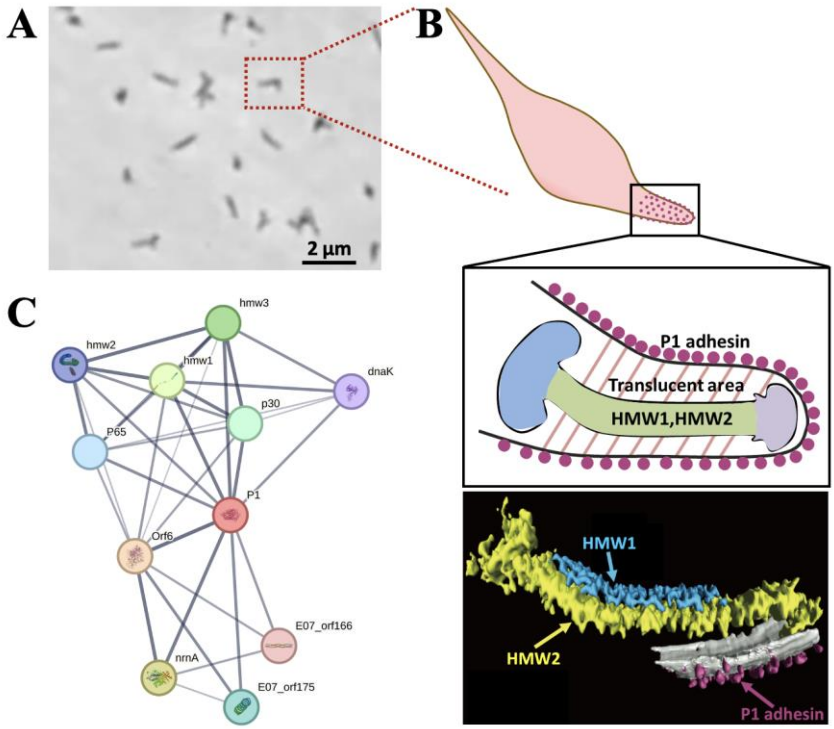


Figure 1. Gliding mechanism of *Mycoplasma pneumoniae*. **A)** Phase contrast microscopy image of *M. pneumoniae* (scale bar: 2 µm). **B)** Schematic of gliding machinery and the localization important proteins. **C)** The network of interactions among P1 adhesin and related proteins. The protein interaction network was constructed using the STRING 9.0 database.

HMW1 (MPN447) is a 1018 amino acids long membrane protein located on the surface of the mycoplasma especially in the attachment organelle and paired plates (Stevens and Krause, 1991). HMW2 (MPN310) is an 1818 amino acids long protein predicted to form dimeric coiled coils and is essential for the development of a cytoskeleton-like structure as well as for cytadherence (Balish et al., 2003). Over the last three decades, increasing evidence suggests that *M. pneumoniae* has a cytoskeleton-like structure, likely serving as a replacement for its absent cell wall and may provide the essential support needed to maintain and stabilize the cell integrity of *M. pneumoniae* and facilitate gliding motion (Radestock and Bredt, 1977; Meng and Pfister, 1980; Krause, 1996). Numerous studies (Krause et al.,

1997; Romero-Arroyo et al., 1999) have demonstrated the connection between the positioning of the attachment organelle and cytadherence. Researchers isolated spontaneous mutants that exhibited a cytadherence-negative phenotype; these mutants contained the P1 adhesin but lacked HMW1 and HMW2 proteins (Krause et al., 1982; Layh-Schmitt et al., 1995; Popham et al., 1997; Hahn et al., 1998; Bose et al., 2009).

M. pneumoniae is distinguished from other bacteria by its minimalistic genome and lack of a cell wall, affording it unique adherence capabilities and pathogenic mechanisms. The interactions of *M. pneumoniae* with host cells are orchestrated through a network of proteins that facilitate adherence, immune evasion, and manipulation of host cellular processes. To dissect these complex interactions, co-immunoprecipitation (Co-IP) has emerged as a critical analytical tool, enabling the identification of protein complexes and interactions in biological systems (Wang et al., 2024). Recent advances in mass spectrometry combined with Co-IP have enhanced the resolution of protein interactions for other mycoplasmas, offering a deeper insight into the molecular basis of mycoplasmal pathogenesis (Yu et al., 2019). While considerable progress has been made utilizing Co-IP to uncover crucial protein interactions, many aspects of the *M. pneumoniae*- host interface remain understudied. The identification of novel proteins and their interaction networks is essential for a comprehensive understanding of the pathogenicity of this organism. In this study, we aimed to develop a Y2H system for *M. pneumoniae* to easily examine possible interactions between motility and cytoskeletal related proteins. For this purpose, we focused on P1 adhesin protein, along with the HMW1 and HMW2 proteins, which are known to be involved in motility and the cellular cytoskeleton and have established interactions; however, detailed interaction studies have yet to be conducted. Key considerations for developing a successful Y2H system included ensuring codon compatibility by attending to interspecies codon usage differences, as well as designing Y2H constructs to avoid structural errors in the corresponding target fragments.

2. Material and Methods

2.1. Strains and Cultivation

Mycoplasma pneumoniae M129 (ATCC29342) was grown in SP4 medium at 37°C in tissue culture flasks (NEST, China), as described previously (Tully, 1983). *Saccharomyces cerevisiae* strain AH109 was grown according to the Yeast Protocol Handbook (Clontech Laboratories, USA) in YPDA medium (Yeast Extract 1%, Bacto Peptone 2%, Glucose 2%, Adenine 0.02%). The *Escherichia coli* strain, stellar cells from In- fusion PCR EcoDry Cloning Kit (TaKaRa Bio, Japan) was grown in LB medium.

2.2. Plasmid Construction

All routine DNA manipulation techniques, digestion with restriction endonucleases and transformation of *E. coli* were performed according to the Cold Spring Harbor Laboratory Manual (Sambrook et al., 1998). The pGADT7 and pGBKT7 vectors were obtained from Takara Bio, USA. The primers were synthesized by oligonucleotide synthesizing service of Macrogen (Macrogen, Korea), and are listed in

(Table 1). *Mycoplasma pneumoniae* 129 genomic DNA was prepared using the Genomic-tip System (Qiagen, Hilden, Germany). P1 Domain-III, HMW1 and HMW2 fragments were amplified by conventional PCR from isolated genomic DNA using KOD-FX-Neo DNA Polymerase (Toyobo, Japan). The fragmentation pattern was designed to avoid frameshift in yeast two-hybrid (Y2H) vector. All primers used for In-fusion cloning consisted of gene-specific sequences and a 15bp overlapping sequence. PCR reactions were performed with KOD-FX-Neo DNA Polymerase (Toyobo, Japan). The PCR protocol was 5 min at 95°C for initial denaturation, followed by 30 cycles of 95°C denaturation for 1 min, 45°C annealing for 30 s, 68°C extension for 1 min, and 68°C for 4 min. 5 µl of the PCR products were analyzed by 1% agarose gel electrophoresis, followed by GelRed staining (Biotium, USA). To obtain vectors suitable for the In-Fusion reaction, pGADT7 and pGBKT7 were linearized with *Eco*RI (NEB, USA). All cloning reactions were performed by using In-Fusion HD EcoDry PCR Cloning Kit following the manufacturer's protocol (Takara Bio, Japan). Briefly, 1 µl of *Eco*RI digested vector and 3 µl of PCR product were mixed with In-Fusion HD EcoDry pellet and incubated 15 min at 37°C, followed by 15 min at 50°C. Then, 2.5 µl of the reaction mixture was transformed into *E. coli* stellar competent cells provided with In-Fusion HD EcoDry PCR Cloning Kit. The transformant was grown on LB solid medium with an appropriate antibiotic (ampicillin for pGADT7- 100 µg/ml) and kanamycin for pGBKT7- 50 µg/ml) for 12–16h at 37°C. HMW1 and HMW2 fragments were inserted into pGADT7 as prey vectors.

The resulting HMW1 prey plasmid were named as hmw1/1-1, hmw1/2-1, hmw1/2-2, hmw1/3-1, hmw1/3-2, and hmw1/3-3. The resulting HMW2 prey plasmids hmw2/1-1, hmw2/1-2, hmw2/1-3, hmw2/1-4, hmw2/1-5, hmw2/1-6, and hmw2/1-7. P1 Domain-III was inserted into pGBKT7 as bait vector resulting in pGBKT7-P1-III. The stop codons (TGA) in HMW1 and HMW2 fragments were changed to tryptophan (TGG) by point mutation using specific primers Table 1. Site-directed mutagenesis was performed by KOD-Plus- Mutagenesis kit according to the manufacturer's protocol (Toyobo, Japan). The presence of correct fragments was confirmed by Sanger sequencing using the T7 universal sequencing primer (ABI Hitachi, Applied Biosystems 3130 Genetic Analyzer).

Table 1. Primers used in this study.

Primer	Sequences (5′→3′)
P1-F	CACACGAATTCCCGATGCATAAAAATAAACAGGCA
P1-R	CACACGGATCCTTATGCCGGTTTTTTCGGAGGCTG
hmw1/1-1-F	CACACGAATTCATGAAGAAAAGCAAAGAAGCAGTT
hmw1/1-1-R	CACACGGATCCATCTGCTTCCAAACCAAAGTCTTC
hmw1/2-1-F	CACACGAATTCGTACCAGCACCAGAAGTTGCTGAA
hmw1/2-1-R	CACACGGATCCCTCTGTAACTACCTGAGGTGTAAT
hmw1/2-2-F	CACACGAATTCCCTGTAGTAGCTGTTGTAGAACAT
hmw1/2-2-R	CACACGGATCCAACGGGTGCTACTGCTGGTTGAGG
hmw1/3-1-F	CACACGAATTCGCTGATATGGATTATGTCTTACAT
hmw1/3-1-R	CACACGGATCCCCATACAACCTCACTGTTACTGTG
hmw1/3-2-F	CACACGAATTCCGAGTAAGCGAACCGAAAACAGTT
hmw1/3-2-R	CACACGGATCCTTGGTACACCGAAAGGTCTTTAGC
hmw1/3-3-F	CACACGAATTCAAGGATGAACTGCTACGCTCTTTA
hmw1/3-3-R	CACACGGATCCCCAATAATCAAGATTAAAATCCCC
hmw2/1-F	CACACGAATTCATGAATGATACTGACAAGAAGTTC
hmw2/1-R	CACACGGATCCCACCTTAAGTGTCGATTCTTCATC
hmw2/2-F	CACACGAATTCGTTTCTAAAGAACAAGCTCAAGAC
hmw2/2-R	CACACGGATCCCCAATCCTCTGCAATCTTTTGTGC
hmw2/3-F	CACACGAATTCGCACATCTCAAACAAAACAAACAC
hmw2/3-R	CACACGGATCCACTGCGTTCGCGCTCTAATAATTC
hmw2/4-F	CACACGAATTCTTTTTACTGCAAAAACAACGTGAA
hmw2/4-R	CACACGGATCCAGCAAAATCAAGCGTTAGTTGGTT
hmw2/5-F	CACACGAATTCTTACTACGTAAAGTGCAACACAAT
hmw2/5-R	CACACGGATCCAGCTTCATTTTGGGCTTTTAGCTC
hmw2/6-F	CACACGAATTCACGGCACACAAAAATCGTGAAGTT
hmw2/6-R	CACACGGATCCCCAAGGATATGGGTAAGGATAGTT
hmw2/7-F	CACACGAATTCTTTTATCCGCAACAAAAACAAGAA
hmw2/7-R	CACACGGATCCCCATTTAGCTGCTTTTTGGGCAAT
hmw1-sd-F	AAGTAACCAGACCAAACCCACTCC
hmw1-sd-R	GGAGTGGGTTTGGTCTGGTTACTT
hmw2-sd-F	TGAAAGTCAGCCCAATTGGCATAA
hmw2-sd-R	TTATGCCAATTGGGCTGACTTTCA

2.3. Yeast Two- Hybrid Assay

Prey and bait vectors were co-transformed into the yeast strain AH109 by LiAc/SS Carrier DNA/PEG method (Gietz and Woods, 2006). The autoactivation of the reporter genes in yeast strain AH109 of the bait vector, pGBKT7-P1-III was examined in the absence of a prey protein, pGADT7-empty. Transformants were plated on a minimal synthetically defined (SD) medium without Trp (SD/-Trp). pGBKT7-empty vector was used as a negative control.

2.4. Screening of Interactions by Dropwise Test

The positive clones expressing bait protein P1 Domain-III interacting with prey proteins were selected on SD/-Leu/-Trp medium at 30°C for 5 days. For further selection, the positive clones were screened on SD/- His/-Leu/-Trp and SD/-Ade/-His/-Leu/-Trp. To limit background growth and detect the strength of the interaction between bait and prey, screening was performed with SD/-His/-Leu/-Trp plates that are supplemented with 1mM and 3mM of 3-Amino-1,2,4-Triazol (3-AT) a competitive inhibitor of the *his3* reporter gene. The resulting colonies were selected and identified by colony PCR.

2.5. Construction of P1 Adhesin-Cytoskeletal Protein Interaction Network

The protein interaction network was constructed on the basis of the data on the identified proteins. Accord- ing to the experimental results, P1 adhesin is likely to interact with two cytoskeletal proteins: HMW1 and HMW2, based on the correlation between the proteins in the STRING 9.0 database (Szklarczyk et al., 2011).

3. Results and Discussion

Considering previous studies on interaction investigations, the 81-amino acid region following the transmembrane (TM) domain at the C-terminus of the P1 adhesin protein (P1-Domain-III) was selected as the primary target interaction partner. To gain a detailed understanding of which regions of the HMW1 and HMW2 proteins interact with P1-Domain-III, HMW1 and HMW2 proteins were grouped into smaller fragments (Figure 2A-B-C). Structurally, the HMW1 protein consists of region 1, region 2, and region 3. The hmw1 gene was analyzed to determine the boundaries of these regions and to create the yeast two-hybrid (Y2H) construct fragments. Region 1 was defined to produce the hmw1-1 fragment, measuring 510 base pairs. Region 2 was divided to generate hmw1/2-1 and hmw1/2-2 fragments, sized 501 bp and 555 bp, respectively. Upon examining the secondary structure of region 3, two coiled-coil regions were identified. Without disrupting the structure of these coiled-coil regions, region 3 was split into three fragments: hmw1/3-1, consisting of 330 bp; hmw1/3- 2, consisting of 561 bp; and hmw1/3-3, consisting of 600 bp (Figure 2B).

The same strategy was applied to the HMW2 protein. Upon examining the secondary structure of HMW2, it was observed to contain 11 coiled-coil regions. To maintain the integrity of these coiled-coil structures, HMW2 was divided into seven fragments: hmw2/1-1, consisting of 939 bp; hmw2/1-2, consisting of 753 bp; hmw2/1-3, consisting of 894 bp; hmw2/1-4, consisting of 699 bp; hmw2/1-5, consisting of 933 bp; hmw2/1- 6, consisting of 636 bp; and hmw2/1-7, consisting of 573 bp (Figure 2C). The identified fragments were amplified from the genomic DNA of *Mycoplasma pneumoniae* using PCR with specific primers (Table 1). P1-Domain-III fragment was inserted into pGBKT7 bait vector with the GAL4 DNA binding domain (BD) by In-Fusion cloning resulting pGBKT7- P1-Domain-III. Individual HMW1 and HMW2 fragments were inserted into pGADT7 prey vector (Figure 3).

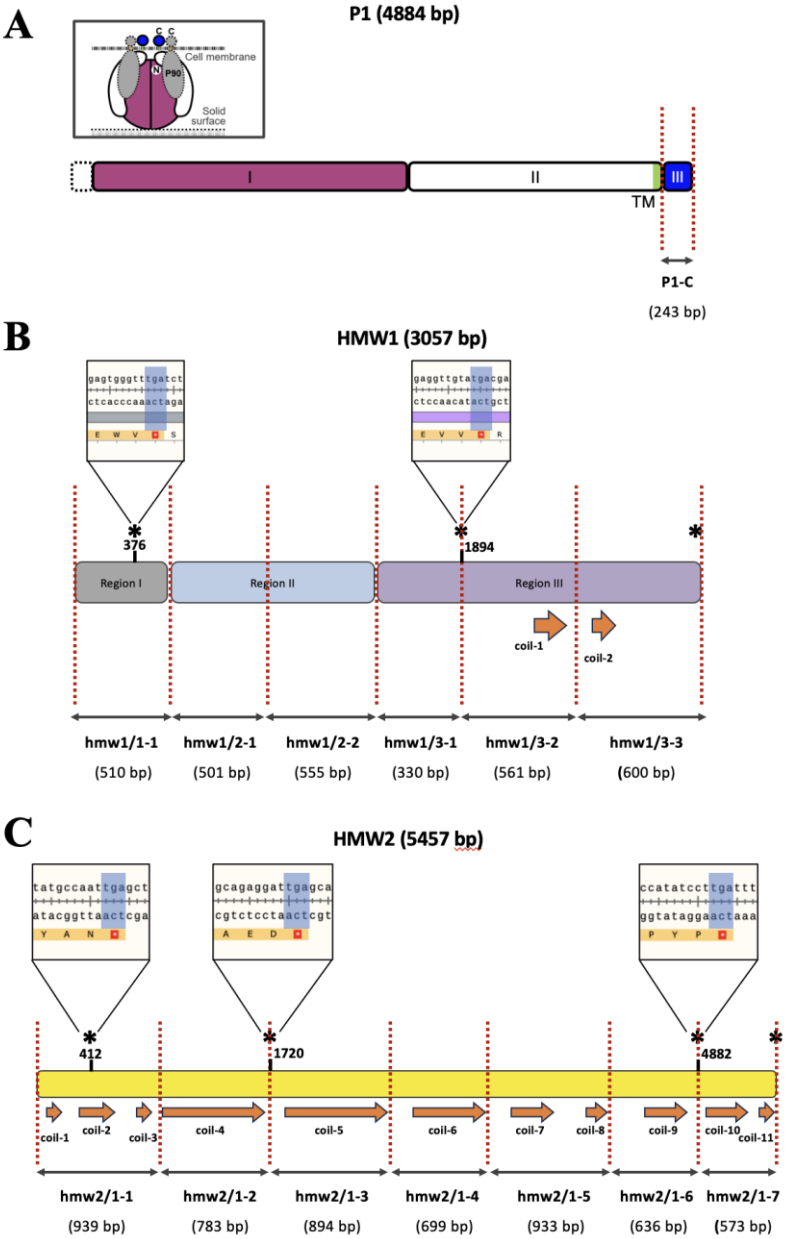


Figure 2. Fragmentation schema and stop codon analyses of P1 adhesin, HMW1 and HMW2 proteins.

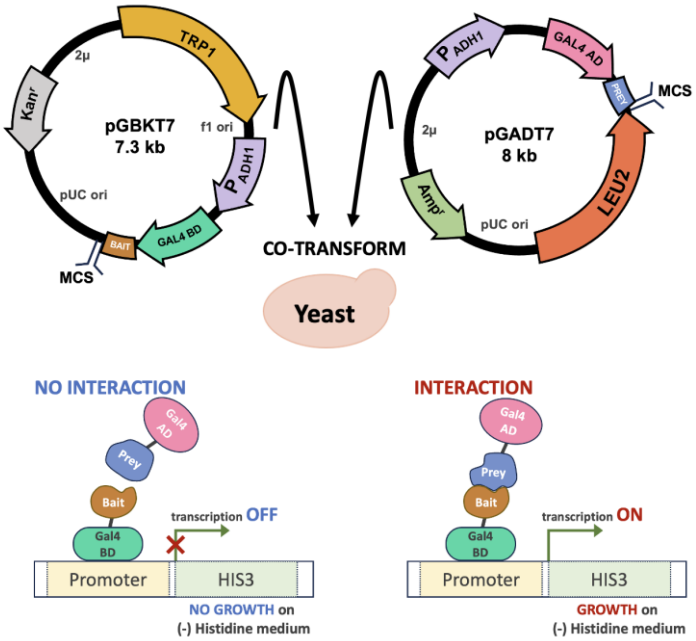


Figure 3. Mechanism of yeast two-hybrid system and plasmids that are used.

In *Mycoplasmas*, the UGA codon is encoded as tryptophan, whereas it is a stop codon in prokaryotes and eukaryotes. So, we investigated whether UGA codons were present in the sequences encoding the relevant proteins. In the *hmw1* gene, two UGA codons were found at positions 376 and 1894 (Figure 2B). In the *hmw2* gene, three UGA codons were identified at positions 412, 1720, and 4882 (Figure 2C). To prevent these codons from being expressed as stop codons in yeast, modifications were made to change them to UGG codons using specific primers by site-directed mutagenesis (Table 1). Correct clones were verified by DNA sequencing. The autoactivation of *his3* reporter gene in the bait (P1-Domain-III) was examined by co-transforming with the empty prey vector. AH109 cells were transformed with bait plasmid pGBKT7-P1-Domain-III and plated on SD/- Trp agar plates and incubated at 30◦C for 2–4 days. pGBKT7-empty vector was used as the negative control. Self-activation assay showed that Y2H transformed with pGBKT7- P1-Domain-III could grow normally on the SD/–Leu/ –Trp plate (Figure 4); it did not grow on the SD/–Trp/–Leu/–His/–Ade. Hence, empty vectors did not activate reporter genes. For the pairwise tests, the yeast two-hybrid strain A109 was co-transformed with plasmids that encode bait and prey fusions of the respective proteins. The interactions between these fusion proteins were assessed by culturing on SD/-His/-Leu/-Trp and SD/-Ade/-His/-Leu/-Trp. Furthermore, SD/-His/-Leu/-Trp plates that are supplemented with 1mM and 3mM of 3-AT were used for the screening of activation of HIS3 reporter gene. All possible pairwise interactions among the selected proteins were examined, and these interactions were also tested for nonspecific binding with control plasmids (Figure 5).

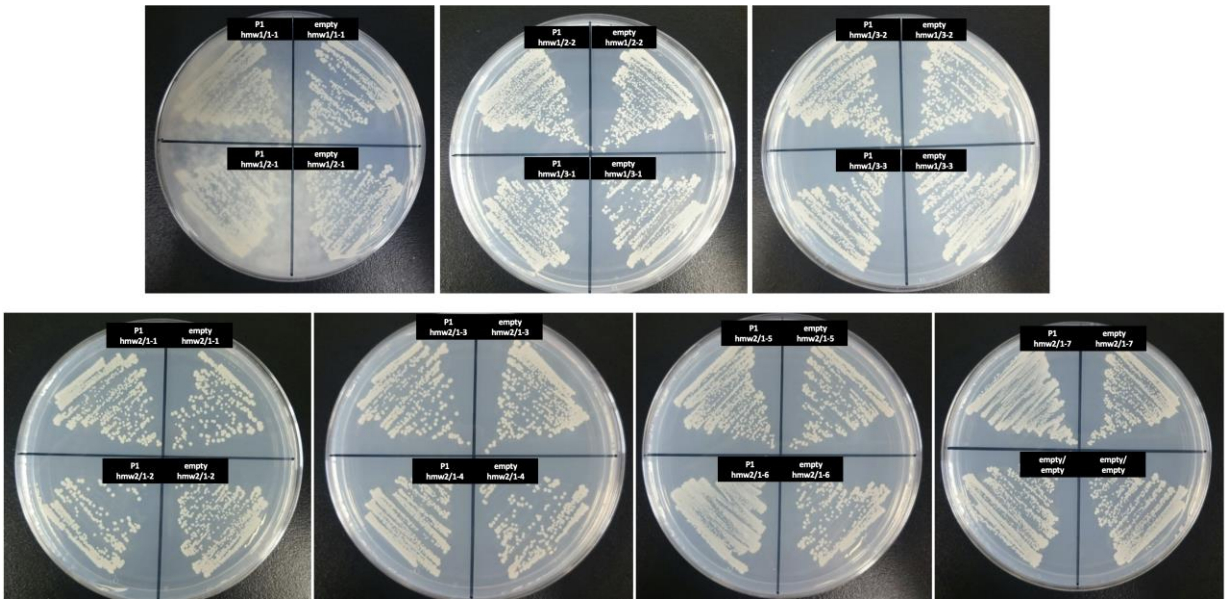


Figure 4. Transformation control of yeast two-hybrid system. The clones grew normally on SD/-Leu/-Trp plates.

Following the Y2H screening, a total of 105 yeast colonies were chosen from SD/-Trp/-Leu/-Ade/-His plates for the determination of positive clones that demonstrated interactions between the bait and prey proteins. According to our results, the P1-Domain-III region shows strong interaction with the hmw1/3-2 and hmw1/3-3 fragments, which correspond to the C-terminal end of the HMW1 protein. These fragments represent the region-3 area located at the C-terminal end of the HMW1 protein. The P1-Domain-III region shows strong interaction with the hmw2/coil6 and hmw2/coil7 fragments which also correspond to the C- terminal end of the HMW2 protein.

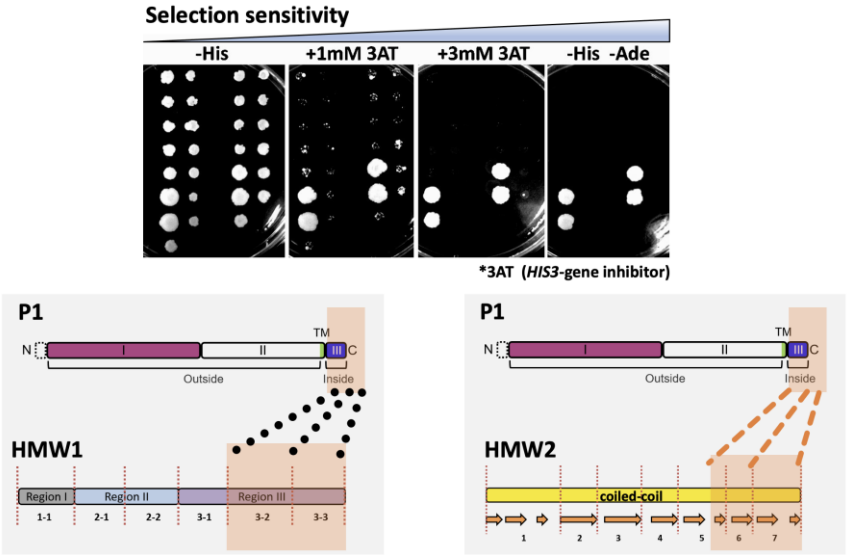


Figure 5. Detection of interaction and activation of reporter gene *his3*. The clones were selected on SD/-His, SD/-His/-Ade, SD/-His/-Leu/-Trp (+1mM 3AT), and SD/-His/-Leu/-Trp (+3mM 3AT) plates. The interactions were mapped on protein schema.

Previous research has thoroughly characterized the regions in P1 (Schurwanz et al., 2009). It is hypothesized that the binding site for sialylated oligosaccharides might be located in the N-terminal region of the protein. This is based on the idea that the amino acid sequences of binding sites are not likely to change quickly, while the C-terminal end is anticipated to be more tucked within the protein's structure. Movements initiated in other regions might be conveyed to the P1 adhesin complex, where the C-terminal end, located internally, could be crucial for transferring force from another internal section of the organelle.

4. Conclusions

Protein interaction networks are central to the biology and pathogenesis of *Mycoplasma pneumoniae*. By elucidating these networks, we can gain valuable insights into the mechanisms of infection, immune evasion, and metabolic adaptation. In this study, we successfully designed a usable yeast two-hybrid system (Y2H) for *Mycoplasma pneumoniae* for the first time. We demonstrated that when designing yeast two-hybrid vectors for *Mycoplasmas*, it is essential to control the codon usage of the proteins to be studied and to consider the secondary structures. Using the newly designed Y2H vectors, we tried to clarify the interaction regions between three important proteins involved in cytoskeletal structure and motility, namely P1 adhesin, HMW1, and HMW2. Our results will not only make essential contributions to the *Mycoplasma* studies, but also will have significant implications for developing novel therapeutics and vaccines. As experimental and computational techniques continue to advance, our understanding of *M. pneumoniae* PPIs will deepen, paving the way for innovative strategies to combat this important pathogen. Future research should focus on the characterization of lesser-known mycoplasma species and their proteins, as well as the implications of these interactions in chronic diseases.

Conflict of interests

Author declare that she has no conflict of interest.

Consent for publication

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

References

Ana Y., Gerngross D., Serrano L. Heterologous protein exposure and secretion optimization in *Mycoplasma pneumoniae*. Microbial Cell Factories 2024; 23(1): 306.

Bajantri B., Venkatram S., Diaz-Fuentes G. *Mycoplasma pneumoniae*: A potentially severe infection. Journal of Clinical Medicine Research 2018; 10(7): 535.

Balish MF., Santurri RT., Ricci AM., Lee KK., Krause DC. Localization of *Mycoplasma pneumoniae* cytadherence-associated protein HMW2 by fusion with green fluorescent protein: implications for attachment organelle structure. Molecular Microbiology 2003; 47(1): 49-60.

Baseman JB., Cole RM., Krause DC., Leith DK. Molecular basis for cytadsorption of *Mycoplasma pneumoniae*. Journal of Bacteriology 1982; 151(3): 1514-1522.

Bose SR., Balish MF., Krause DC. *Mycoplasma pneumoniae* cytoskeletal protein HMW2 and the architecture of the terminal organelle. Journal of Bacteriology 2009; 191(21): 6741-6748.

Feldner J., Gobel U., Bredt W. *Mycoplasma pneumoniae* adhesin localized to tip structure by monoclonal antibody. Nature 1982; 298: 765-767.

Gietz RD., Woods RA. Yeast transformation by the LiAc/SS carrier DNA/PEG method. In: Xiao W. (ed.) Yeast Protocol. Methods in Molecular Biology. NJ: Humana Press 2006; 313.

Hahn TW., Willby MJ., Krause DC. HMW1 is required for cytadhesin P1 trafficking to the attachment organelle in *Mycoplasma pneumoniae*. Journal of Bacteriology 1998; 180: 1270-1276.

Hashemifar S., Neyshabur B., Khan AA., Xu J. Predicting protein–protein interactions through sequence-based deep learning. Bioinformatics 2018; 34(17): 802-810.

Hegermann J., Herrmann R., Mayer F. Cytoskeletal elements in the bacterium *Mycoplasma pneumoniae*. Naturwissenschaften 2002; 89: 453-458.

Hu PC., Collier AM., Baseman JB. Surface parasitism by *Mycoplasma pneumoniae* of respiratory epithelium. Journal of Experimental Medicine 1977; 145: 1328-1343.

Inamine JM., Ho KC., Loechel S., Hu PC. Evidence that UGA is read as a tryptophan codon rather than as a stop codon by *Mycoplasma pneumoniae*, *Mycoplasma genitalium*, and *Mycoplasma gallisepticum*. Journal of Bacteriology 1990; 172(1): 504-506.

Inamine JM., Loechel S., Hu PC. Analysis of the nucleotide sequence of the P1 operon of *Mycoplasma pneumoniae*. Gene 1988; 73: 175-183.

Jumper J., Evans R., Pritzel A., Green T., Figurnov M., Ronneberger O., Tunyasuvunakool K., Bates R., Zidek A., Potapenko A., Bridgland A. Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold. Nature 2021; 596(7873): 583-589.

Krause DC. *Mycoplasma pneumoniae* cytadherence: unravelling the tie that binds. Molecular Microbiology 1996; 20: 247-253.

Krause DC., Proft T., Hedreyda CT., Hilbert H., Plagens H., Herrmann R. Transposon mutagenesis reinforces the correlation between *Mycoplasma pneumoniae* cytoskeletal protein HMW2 and cytadherence. Journal of Bacteriology 1997; 179(8): 2668-77.

Kuzmanov U., Emili A. Protein-protein interaction networks: probing disease mechanisms using model systems. Genome Medicine 2013; 5: 1-12.

Liu Y., Li J., Lu X., Zhen S., Huo J. Toll-like receptor 4 exacerbates *Mycoplasma pneumoniae* via promoting transcription factor EB-Mediated autophagy. Contrast Media and Molecular Imaging 2022; 1: 3357694.

Makuch L. Yeast two-hybrid screen. Methods in Enzymology. MD: Academic Press; 2014; 539, 31-51.

Mehla J., Caufield JH., Uetz P. Mapping protein–protein interactions using yeast two-hybrid assays. Cold Spring Harbor Protocols 2015; 5: pdb-prot086157.

Meng KE., Pfister RM. Intracellular structures of *Mycoplasma pneumoniae* revealed after membrane removal. Journal of Bacteriology 1980; 144: 390-399.

Ori A., Iskar M., Buczak K., Kastritis P., Parca L., Andres-Pons A., Singer S., Bork P., Beck M. Spatiotemporal variation of mammalian protein complex stoichiometries. Genome Biology 2016; 17: 1-15.

Popham PL., Hahn TW., Krebes KA., Krause DC. Loss of HMW1 and HMW3 in noncytadhering mutants of *Mycoplasma pneumoniae* occurs post-translationally. Proceedings of the National Academy of Sciences 1997; 94: 13979- 13984.

Radestock U., Bredt W. Motility of *Mycoplasma pneumoniae*. Journal of Bacteriology 1977; 129: 1495-1501.

Razin S., Yogev D., Naot Y. Molecular biology and pathogenicity of mycoplasmas. Microbiology and Molecular Biology Reviews 1998; 62(4): 1094-1156.

Sambrook J., Fritsch EF., Maniatis T. Molecular cloning: a laboratory manual. NY: Cold Spring Harbor Laboratory Press; 1989.

Schurwanz N., Jacobs E., Dumke R. Strategy to create chimeric proteins derived from functional adhesin regions of *Mycoplasma pneumoniae* for vaccine development. Infection and Immunity 2009; 77(11): 5007-15.

Stevens MK., Krause DC. Localization of the *Mycoplasma pneumoniae* cytadherence-accessory proteins HMW1 and HMW4 in the cytoskeleton-like Triton shell. Journal of Bacteriology 1991; 173(3): 1041-1050.

Sun T., Zhou B., Lai L., Pei J. Sequence-based prediction of protein protein interaction using a deep-learning algorithm. BMC Bioinformatics 2017; 18: 1-8.

Szklarczyk D., Franceschini A., Kuhn M., Simonovic M., Roth A., Minguez P., Doerks T., Stark M., Muller J., Bork P., Jensen LJ. The STRING database in 2011: functional interaction networks of proteins, globally integrated and scored. Nucleic Acids Research 2010; 39(suppl_1): D561-D568.

Titeca K., Lemmens I., Tavernier J., Eyckerman S. Discovering cellular protein-protein interactions: Technological strategies and opportunities. Mass Spectrometry Reviews 2019; 38(1): 79-111.

Torres A., Cilloniz C., Niederman MS., Menendez R., Chalmers JD., Wunderink RG., van der Poll T. Pneumonia. Nature Reviews Disease Primers 2021; 7: 25.

Tully JG. New laboratory techniques for isolation of *Mycoplasma pneumoniae*. Yale Journal of Biology and Medicine 1983; 56: 511-515.

Wang Y., Ma C., Hao X., Wang W., Luo H., Li M. Identification of *Mycoplasma pneumoniae* proteins interacting with NOD2 and their role in macrophage inflammatory response. Frontiers in Microbiology 2024; 15: 1391453.

Willby MJ., Balish MF., Ross SM., Lee KK., Jordan JL., Krause DC. HMW1 is required for stability and localization of HMW2 to the attachment organelle of *Mycoplasma pneumoniae*. Journal of Bacteriology 200; 186(24): 8221-8228.

Yu Y., Zhang L., Chen Y., Li Y., Wang Z., Li G., Wang G., Xin J. GroEL protein (heat shock protein 60) of *Mycoplasma gallisepticum* induces apoptosis in host cells by interacting with Annexin A2. Infection and Immunity 2019; 87(9): 10-128.

Zhang J., Guan M., Wang Q., Zhang J., Zhou T., Sun X. Single-cell transcriptome-based multilayer network biomarker for predicting prognosis and therapeutic response of gliomas. Briefings in Bioinformatics 2020; 21(3): 1080-1097.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1089-1099, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1089-1099, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Osmaniye Korkut Ata University Journal ofThe Institute of Science and Technology

Farklı Seviyelerde Mısır Flake İlavesinin Yonca Silaj Kalitesine Etkilerinin Belirlenmesi

Esra Tuğçe GÜL[1*], Behlül SEVİM[2]

[1]Department of Animal Science, Agriculture Faculty, Selcuk University, 42130, Konya, Türkiye
[2]Department of Food Processing, Aksaray Technical Sciences Vocational School, Aksaray University, 68100, Aksaray, Türkiye

[1]https://orcid.org/0000-0002-2496-685X
[2]https://orcid.org/0000-0003-2996-3241
*Corresponding author: esra.gul@selcuk.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 15.11.2024
Kabul tarihi: 23.02.2025
Online Yayınlanma: 16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Yonca silajı
Silolama
Mısır flake
Fermentasyon
Uçucu yağ asitleri
pH

ÖZ

Mevcut çalışma, farklı seviyelerde (%0, %5 ve %10) mısır flake ilavesi ile silolanan yonca silajlarında mısır flakenin yonca silajının kimyasal kompozisyon, sindirilebilirlik ve enerji değerleri ile fermentasyon özelliklerine etkisini belirlemek için yürütülmüştür. Çalışma kapsamında, 1-3 cm boyutlarında parçalanan yoncalar anaerob plastik kaplara, kontrol grubuna herhangi bir katkı eklenmeden, muamele gruplarına ise %5 ve %10 seviyelerinde mısır flake ilave edilerek silolanmıştır. Araştırma sonucunda kuru madde (KM), ham protein (HP), kül, asit deterjan fiber (ADF), nötral deterjan fiber (NDF), asit deterjan lignin (ADL) ve asit deterjan çözünmez ham protein (ADHP) parametrelerinin kontrol grubuna göre muamele gruplarında önemli ölçüde düştüğü saptanmıştır (P<0,01). Ham yağ (HY) %5 seviyesinde mısır flake ve kontrol gruplarında benzer bulunmuş fakat %10 seviyesinde önemli ölçüde artmıştır (P<0,01). Nişasta seviyesi de muamele gruplarında kontrole göre artmış en yüksek değer %10 mısır flake ilave edilen grupta tespit edilmiştir (P<0,01). Nötral deterjan çözünmez ham proteini (NDHP) %5 mısır flake ile önemli ölçüde düşerken %10 mısır flake ilave edilen grup ve kontrol grubunda benzer olmuştur (P<0,05). Metabolik enerji (ME) muamelelerden etkilenmemiş (P>0,05), fiber olmayan karbonhidrat, total sindirilebilir protein ve laktasyon net enerji değerleri mısır flake ilavesi ile önemli ölçüde artmıştır (P<0,01). Laktik ve bütirik asit mısır flake ilavesi ile önemli seviyede artmış, pH ise %10 mısır flake ilaveli grupta kontrol ve diğer muamele grubuna kıyasla önemli ölçüde azalmıştır (P<0,01). Ayrıca, asetik asit ve propiyonik asit muamele gruplarında kontrol grubuna göre önemli düzeyde yüksek olmuştur (P<0,01). Ancak artan mısır flake seviyesi (%10) ile asetik asit ve propiyonik asit seviyesi azalmıştır (P<0,01). Sonuç olarak mısır flake ilavesinin silaj için önemli parametreler olan özellikle laktik asit ve pH parametreleri üzerinde olumlu etkileri dikkate alındığı ve diğer parametreler üzerindeki net etkileri de incelendiğinde yonca silajı yapımında mısır flake kullanımının olumlu etkileri olacağı söylenebilir. Ancak ileriki çalışmalarda %10 ve üzerindeki seviyelerin değerlendirilmesine ihtiyaç vardır.

Determination of Alfalfa Silage Quality with Different Levels of Corn Flakes Addition

Research Article

Article History:
Received: 15.11.2024
Accepted: 23.02.2025
Published online: 16.06.2025

Keywords:

ABSTRACT

The present research was carried out to determine the effects of corn flakes on the chemical composition, digestibility and energy values, and fermentation properties of alfalfa silages ensiled with different levels (0%, 5%, and 10%) of corn flakes addition. Within the scope of the study, alfalfa shredded to 1-3 cm sizes were ensiled in anaerobic plastic containers by

Alfalfa silage
Ensiling
Corn flakes
Fermentation
Volatile fatty acids
pH

adding 5% and 10% flaked corn to the treatment groups. As a result of the research, it was determined that the parameters of dry matter (DM), crude protein (CP), ash, acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent lignin (ADL) and acid detergent insoluble crude protein (ADICP) decreased significantly in the treatment groups compared to the control group (P<0,01). Ether extract (EE) was found to be similar in the 5% corn flakes added group and the control group but increased significantly at the 10% corn flakes level (P<0,01). Starch also increased in the treatment groups compared to the control, and the highest mean was determined in the group to which 10% corn flakes were added (P<0,01). Neutral detergent insoluble crude protein (NDICP) decreased considerably with 5% corn flakes and was similar in the 10% corn flakes added group and the control group (P<0,05). Metabolizable energy (ME) was not affected by the treatments (P>0,05) but non-fiber carbohydrate, total digestible nutrients and lactation net energy values were significantly increased by the addition of corn flakes to alfalfa silage (P<0,01). Lactic and butyric acids significantly increased with the addition of corn flakes, and pH decreased significantly in the 10% corn flakes added group compared to the control and other treatment group (P<0,01). Additionally, acetic acid and propionic acid were significantly higher in the treatment groups than in the control group (P<0,01). However, acetic acid and propionic acid levels decreased with increasing corn flake level (10%) (P<0,01). As a result, considering the positive effects of corn flakes addition on important parameters for silage, especially lactic acid and pH, and examining the net effects on other parameters, it can be said that the use of corn flakes in alfalfa silage production would have positive effects. However, levels of 10% and further need to be evaluated in future studies.

To Cite: Gül ET., Sevim B. Determination of Alfalfa Silage Quality with Different Levels of Corn Flakes Addition. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1089-1099.

1. Introduction

Ensiling forage is a common technique worldwide because it gives ruminants a steady, regular, and dependable supply of nutrients (Nascimento Agarussi et al., 2019). Alfalfa (*Medicago sativa* L.) is the oldest species cultivated as a forage crop and is widely known as the “father of all forages” (al-fal-fa) owing to its high protein content and profusion of several bioactive compounds (Bora and Sharma, 2011). Additionally, alfalfa is an indispensable perennial legume in animal feeding and is a remarkable feed ingredient in that it can be harvested 6-7 times a year, is delicious, has good digestibility, and can be made into both dry grass and silage (Ünal et al., 2024). Alfalfa, one of the most important feed ingredients in the world through its high nutritional quality, efficiency and adaptability, is generally used as hay in animal nutrition. However, since alfalfa is rich in leaves and has a high grass yield, significant nutrient losses occur during the period from drying to feeding to animals due to the thin and weak leaf stalks, or mold and microbial spoilage due to incomplete drying in regions with high rainfall (Ergün et al., 2011; Orak and Gökkaya, 2014).

Ensiling is a conventional technique for preserving fresh feed that relies on lactic acid bacteria's anaerobic fermentation. Following closure, aerobic microbial respiration consumes the trapped oxygen, resulting in an anaerobic environment that stops respiration (Li et al., 2020). Alfalfa are one of the materials that is difficult to make silage with its high buffering capacity, low dry matter (DM), water-soluble carbohydrate content (Gao et al., 2021; Kang et al., 2021; Boğa and Ayaşan, 2022) and tubular hollow stem structure that prevents complete removal of air during ensiling. Therefore, during

the silage of forage plants such as alfalfa, which are rich in protein and minerals but poor in carbohydrates, the use of additives to ensure fermentation is sometimes necessary (Kamalak et al., 2009). For this purpose, additives that are aimed at closing the carbohydrate gap that is insufficient in the environment are mostly used. The commonly used carbohydrate sources are molasses, grape pulp, apple pulp, and sugar (McDonald et al., 2002; Karabulut and Filya, 2007; Canbolat et al., 2013; Ünal et al., 2024). On the other hand, as an alternative to these, fruits with high sugar content and cheap prices also come to the forefront for this purpose (Kamalak et al., 2009; Canbolat et al., 2013). Information on the use of variously processed cereal grains in alfalfa silage production is limited.

The high steam and pressure used in corn flakes production increases the digestibility of starch in the grain. In addition, with this production technology, harmful microorganisms in the product are also removed. On the other hand, increasing the soluble carbohydrate content has made corn flakes a suitable raw material for use in alfalfa silage production. However, no evidence was found in the literature regarding the use of corn flakes in alfalfa silage production. The hypothesis of this study was that positive effects will be determined on some important indicators of alfalfa silage made by adding different levels of corn flakes. Therefore, this study was conducted to investigate the effects of corn flakes addition on the chemical composition, digestibility, energy values, and fermentation properties of alfalfa silage.

2. Material and Method

2.1. Preparation of Silage Samples

The alfalfa used in the experiment was harvested in May 2023 from the Aksaray Eskil Region (between latitude 38,401752 and longitude "33,412792" coordinates). Fresh alfalfa (*Medicago sativa* L.) samples harvested during the flowering period and at a DM value of approximately 20% were withered in the laboratory for one day and shredded into 1-3 cm sizes with a chopping machine. Corn flakes were supplied from a commercial company (KON-ÇİNİ Tarım Ürünleri & Yem) and added to the shredded alfalfa in 3 parallel at levels of 0, 5 or 10%. By providing uniform distribution, it was thoroughly compressed in 1 kg plastic lidded anaerobic drums and silage was carried out by providing an oxygen-free environment. The tightly capped samples were fermented for 60 days. At the end of the silage period, the following analyses were performed.

Table 1. Nutrients of corn and corn flake (%).

Materials	Dry matter	Crude protein	Ash	Crude fiber	Ether extract	Starch	Neutral detergent fiber	Acid detergent fiber	Acid detergent lignin
Corn flake	85.83	6.74	1.3	1.41	3.41	64.57	6.77	2.51	0.35
Alfalfa	15.94	30.58	-	-	-	4.02	35.56	28.20	-

2.2. Chemical Analysis

At the end of the ensiling period, opened samples were prepared for chemical analysis. Silage samples taken to represent the mass were dried in an air circulating oven at 60ºC for 48 hours to determine their DM contents. After DM analysis, the samples were ground in a laboratory mill (IKA MF.10) to pass through a 1 mm sieve diameter. Crude protein (CP) analysis was performed using the Dumas method, ash by burning in a muffle furnace at 550°C for 3-5 hours, ether extract (EE) and crude fiber (CF) analysis were performed using the petroleum ether extraction method according to the methods specified in AOAC (1999). Neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF), acid detergent insoluble lignin (ADL), acid detergent insoluble crude protein (ADICP) and neutral detergent insoluble crude protein (NDICP) analyses were performed on the Ankom Fiber Analyzer according to the method reported by Van Soest (1982). Starch contents of research silages were determined by polarimetric method.

2.3. Digestibility and Energy Calculations

Digestibility and energy values were calculated according to the chemical composition analysis of the silage samples of the research. In this context, total digestible nutrients (TDN_{1X}), metabolizable energy (ME), and net energy lactation (NE_L) values were calculated with the formulas in the NRC (2001) report; non-fiber carbohydrate (NFC) was calculated with the equation NFC = 100 – (CP+EE+ash+NDF).

2.4. Fermentation Properties

At the end of 60 days of fermentation; pH, acetic, propionic, butyric and lactic acid levels of the samples were determined. For this purpose, 40 g of silage sample was mixed in a blender by adding 360 mL of pure water and completed to 400 mL. This liquid was filtered again through filter paper (Whatman 54) and centrifuged. Samples were stored at -20°C until analyzed. Lepper's abbreviated method was used for lactic acid analysis (Akyıldız, 1984). Acetic acid, propionic acid, and butyric acid analyses were determined by gas chromatography (Model, Agilent, 7890, USA).

2.5. Statistical Analysis

At the end of the research, the one-way analysis (ANOVA) of variance was applied to all variables obtained from the experimental groups, and the differences between the means of the groups were determined by using the Duncan multiple comparison test. Differences were considered significant at $P < 0.01$ and $P < 0.05$.

3. Results and Discussion

Silage is a very complex fermentation matrix that differs in its chemical makeup, water-soluble carbohydrates, local microbiota, and nitrogenous substances that microorganisms can use (Saarisalo et al., 2007). The quantity and kind of microorganisms in the plant, as well as the feed's DM content, buffering ability, and water-soluble carbohydrate content, all influence the occurrence of the intended silage fermentation. In other words, the properties of the silage material directly affect the fermentation properties of the silage (Guan et al., 2018). Alfalfa are one of the forages that are difficult to ensile due to both its DM content and water-soluble carbohydrate level. Therefore, additives are needed to increase the amount of soluble carbohydrates when making silage. For this purpose, in this study, corn flakes, a highly digestible raw material, was added to alfalfa and ensiled.

As a result of the study, the chemical composition of alfalfa silage made with different levels of corn flakes addition (5% or 10%) was shown in Table 1. Of these parameters, DM, CP, CA, ADF, NDF, ADL, and ADICP decreased significantly in the treatment groups compared to the control group ($P<0.01$). Ether extract was similar in the 5% corn flakes supplemented group and the control group but increased significantly at the 10% level ($P<0,01$). Starch levels also increased in the treatment groups compared to the control, with the highest value found in the group with 10% corn flakes added ($P<0.01$). Neutral detergent insoluble crude protein decreased significantly with 5% corn flakes ($P<0.05$) and was similar in the 10% corn flakes group and the control group. As is known, NDF and ADF are important factors affecting feed intake and feed's digestibility (Gül, 2023) and can be fermented by microorganisms to produce water-soluble carbohydrates or organic acids (Peng et al., 2024). The notable decrease in ADF and NDF in the current study supports this opinion. In addition, the decrease in CP can be attributed to the decrease in CP density due to the addition of carbohydrate sources. There is no evidence in the literature regarding alfalfa silage with corn flakes added. However, Ünlü et al. (2015) reported that the addition of 5, 10 or 15% cracked corn reduced the CP, CF, ADF, and NDF in alfalfa silage. In addition, Acar and Bostan (2016) stated that CP, ADF and NDF levels decreased in alfalfa silage to which 50 or 100 g/kg barley mash was added. These results were partially consistent with the current study. Although not related to the addition of corn flakes or grain, Doğan Daş (2024) stated that DM, ADF and NDF contents were not affected in alfalfa silage to which pasta was added at levels of 0,00, 0,75, 1,50, and 3,00% as a carbohydrate source, while CP decreased at levels of 1.50 and 3.00% compared to the control. Ünal et al. (2024) clarified that DM decreased in 10% level in silage with 5 or 10% apple pomace addition, and CP, EE, CA, starch, NDF, ADF, ADL, ADICP, and NDICP were not affected. Canbolat et al. (2010) found that grape pomace was added to alfalfa silage at different levels (40, 80, 120, 160 or 200 g/kg) and that as the amount of grape pomace increased, CP, CA, NDF and ADF levels decreased, while water-soluble carbohydrates, EE and polyphenol levels increased. Doğan (2019) and Erişçi et al. (2022) reported that the addition of apple (5 or 10%) or apple pomace (5, 10 or 15%) to alfalfa silage did not affect the chemical composition. Although these differences among studies may be related to the type and level of

additives, the ensiling period and the harvest time of the alfalfa and its nutrients are also important factors.

Table 2. Effect of corn flakes additive on chemical composition of alfalfa silage

Parameters	Corn Flakes Level (%)			*P value*
	0	**5**	**10**	
DM, %	31.38^{A}	26.19^{B}	20.61^{C}	0.000
CP, % DM	20.04^{A}	17.90^{B}	14.87^{C}	0.000
EE, % DM	2.60^{B}	2.82^{B}	3.92^{A}	0.002
CA, % DM	16.43^{A}	11.94^{B}	9.13^{C}	0.000
Starch, % DM	2.50^{C}	21.14^{B}	35.28^{A}	0.000
ADF, % DM	27.82^{A}	18.49^{B}	15.51^{C}	0.000
NDF, % DM	35.84^{A}	22.06^{B}	18.87^{C}	0.000
ADL, % DM	6.47^{A}	3.50^{B}	3.02^{B}	0.000
ADICP, % DM	3.15^{A}	1.19^{C}	1.56^{B}	0.000
NDICP, % DM	2.54^{a}	1.23^{b}	1.32^{ab}	0.038

ADF: Acid detergent fiber, **ADICP:** Acid detergent insoluble crude protein, **ADL:** Acid detergent lignin, **CA:** Crude ash, **CP:** Crude protein, **DM:** Dry matter, **EE:** Ether extract, **NDF:** Neutral detergent fiber, **NDICP:** Neutral detergent insoluble crude protein.

A, B, C: The difference between the means shown with different letters on the same line was statistically significant (P<0,01). a, b: The difference between the means shown with different letters on the same line was statistically significant (P<0,05).

The data in Table 2 listed the digestibility and energy values of alfalfa silage made by adding corn flakes at 0% (control), 5% or 10% levels. In the present study, ME was the only parameter among these parameters that was not significantly affected by the treatments (P>0,05). The NFC and TDN_{1X} increased considerably with the addition of corn flakes and statistically the highest values were detected in the 10% added group (P<0.01). The NE_L also increased significantly with treatments and was found to be higher in both treatment groups than the control group, and no difference was observed between treatments (P<0.01). The increase in NFC, TDN_{1X} and NE_L criteria in alfalfa silage with corn flakes is very important in terms of digestibility and bioavailability of the silage. So much so that the high NFC in the feed raw material indicates that it is of higher quality and can be easily digested by animals (Raffrenato et al., 2017; Bai et al., 2023). Although not related to corn flakes, Ünlü et al. (2015) reported that the addition of different levels of cracked corn (5, 10 or 15%) increased ME and nitrogen-free extract matter at 10 and 15% levels. Acar and Bostan (2016) noted that total digestible nutrients decreased in alfalfa silage to which crushed barley was added at 100 g/kg level. Ünal et al. (2024), on the other hand, stated that digestibility and energy values were not affected in silage with 5 or 10% apple pulp addition.

Table 3. Effect of corn flakes additive on digestibility and energy values of alfalfa silage

Parameters	Corn Flakes Level (%)			*P value*
	0	**5**	**10**	
NFC, %	25.02^{C}	45.07^{B}	53.03^{A}	0.000
ME, Mcal/kg	2.19	2.40	2.54	0.133
$NE_{L,}$ Mcal/kg	1.17^{B}	1.56^{A}	1.61^{A}	0.000
TDN_{1X}, %	53.56^{C}	67.21^{B}	72.51^{A}	0.000

ME: Metabolizable energy, **NE_L:** Net energy lactation, **NFC:** Non-fiber carbohydrates, **TDN_{1X}:** Total digestible nutrients. $^{A, B, C:}$ The difference between the means shown with different letters on the same line was statistically significant (P<0,01).

Lactic and butyric acid concentrations of alfalfa silage with corn flakes addition were significantly increased in both treatment groups (5 and 10%) compared to the control group (0%) (P<0,01; Table 3). Additionally, acetic and propionic acids also increased significantly with the addition of corn flakes compared to the control, and the highest values for both parameters were obtained in the 5% corn flakes added group (P<0.01). Although there was no difference between the alfalfa silage with 5% corn flakes added and the control group for pH, a significant decrease was found in the 10% added group compared to the other two groups (P<0.01). Due to the low water-soluble carbohydrate content of legumes, it is necessary to increase the carbohydrate concentration of their silages (Borreani et al., 2018). Additives promote rapid and efficient utilization of water-soluble carbohydrate derivatives, resulting in a rapid decrease in pH with intensive lactic acid production (Weinberg and Muck, 1996; Ennahar et al., 2003). Nascimento Agarussi et al. (2019) reported that the pH considered sufficient for legume silages was generally between 4.500 and 4.929. In a good quality silage, the pH is desired to be between 3.5-4.0 but pH values of 4,0 and above are very common in legume silages (Filya, 2001). The main reason for the decrease of pH value in silage is the production of organic acids. Among these, lactic acid is the ideal fermentation product in silage, while acetic acid, propionic acid and butyric acid are less preferred (Besharati et al., 2022). In fact, it can be said that the reason why corn flake cannot provide the easily fermentable carbohydrates required for lactic acid bacteria fermentation is because the proteins in the medium turn into ammonia during fermentation and the pH levels of alfalfa silages remain high (Filya, 2001). Few carbohydrate sources were tested to improve the fermentation quality of alfalfa silage, and their effects were unclear (Gao et al., 2021). Oude et al. (2001) reported that the lactic acid count decreased with increasing pH. Ünlü et al. (2015) reported that the addition of different levels of cracked corn (5, 10 or 15%) significantly increased lactic and butyric acids in alfalfa silage and did not affect acetic acid and pH. According to Acar and Bostan (2016), the addition of 50 and 100 g/kg crushed barley increased the lactic acid level. Doğan Daş (2024) stated that the pH decreased in alfalfa silage to which pasta was added at levels of 0.75, 1.50, and 3.00%. In the studies of Öztürk et al. (2006) in which corn was added to alfalfa silage and Hashemzadeh-Cigari et al. (2011) in which molasses was added, the lactic acid level increased significantly, supporting the results of the present study. In one of the studies conducted with apple pomace, Ünal et al. (2024) stated that apple pomace at different levels (5 or 10%) increased lactic acid,

decreased butyric acid, and pH was not affected. In another study, Canbolat et al. (2010) reported that in alfalfa silages with 40, 80, 120, 160 and 200 g/kg grape pomace addition, lactic acid and propionic acid increased, and acetic acid decreased at levels above 40 g/kg, butyric acid decreased in 120, 160 and 200 g/kg, and pH decreased at levels of 160 and 200 g/kg.

Table 4. Effect of corn flakes additive on some fermentation characteristics of alfalfa silage

Parameters	Corn Flakes Level (%)			*P value*
	0	**5**	**10**	
Lactic acid (g/kg)	1.55^{B}	2.16^{A}	2.62^{A}	0.003
Acetic acid (g/kg)	4.54^{C}	16.26^{A}	6.17^{B}	0.000
Propionic acid (g/kg)	0.22^{C}	0.64^{A}	0.55^{B}	0.000
Butyric acid (g/kg)	0.10^{B}	0.43^{A}	0.36^{A}	0.000
pH	6.67^{A}	6.64^{A}	5.93^{B}	0.000

$^{A, B, C:}$ The difference between the means shown with different letters on the same line was statistically significant ($P<0.01$).

4. Conclusions

As a result, considering the positive effects of corn flakes addition on important parameters for silage, especially lactic acid and pH, and examining the net effects on other parameters, it can be said that the use of corn flakes in alfalfa silage production would have positive effects. However, in future studies, levels of 10% and further levels need to be studied to evaluate their effects on lowering pH and increasing the number of lactic acid bacteria.

Author's Contribution

The contributions of the authors are equal.

Conflict of Interest

The authors have declared there is no conflict of interest.

References

Acar Z., Bostan M. Değişik doğal katkı maddelerinin yonca silajının kalitesine etkilerinin belirlenmesi. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi 2016; 31(3): 433-440.

Akyıldız AR. Yemler bilgisi laboratuvar kılavuzu. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 1984; 895, 213-236.

AOAC. Official Methods of Analysis. 1990; 15th ed., Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, USA. ISBN: 9780935584424, 0935584420.

Bai B., Qiu R., Wang Z., Liu Y., Bao J., Sun L., Liu T., Ge G., Jia Y. Effects of cellulase and lactic acid bacteria on ensiling performance and bacterial community of caragana korshinskii silage. Microorganisms 2023; 11(2): 337.

Besharati M., Palangi V., Salem AZM., De Palo P., Lorenzo JM., Maggiolino A. Substitution of raw lucerne with raw citrus lemon by-product in silage: in vitro apparent digestibility and gas production. Frontiers in Veterinary Science 2022; 9: 1006581.

Boğa M., Ayaşan T. Determination of nutritional value of alfalfa varieties and lines by using the in vitro method and gas production technique. Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society 2022; 73(1): 3613-3620.

Bora KS., Sharma A. Phytochemical and pharmacological potential of Medicago sativa: A review. Bora KS., Sharma A. Phytochemical and pharmacological potential of Medicago sativa: a review. Pharmaceutical Biology 2011; 49(2): 211–220.

Borreani G., Tabacco E., Schmidt RJ., Holmes BJ., Muck RA. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. Journal of Dairy Science 2018; 101(5): 3952-3979.

Canbolat Ö., Kalkan H., Karaman Ş., Filya İ. Üzüm posasının yonca silajlarında karbonhidrat kaynağı olarak kullanılma olanakları. Kafkas Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi 2010; 16(2): 269-276.

Canbolat Ö., Kalkan H., Filya İ. Yonca silajlarında katkı maddesi olarak gladiçya meyvelerinin (Gleditsia Triacanthos) kullanılma olanakları. Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi 2013.

Doğan Daş B. Yonca silajına raf ömrü biten makarna ilavesinin silaj kalitesi üzerine etkisi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 2024; 11(1): 279-283.

Doğan C. Yonca (medicago sativa l.) silajına farklı oranlarda ilave edilen limon ve elma posalarının silaj kalitesi üzerine etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.

Ennahar S., Cai Y., Yasuhito F. Phylogenetic diversity of lactic acid bacteria associated with paddy rice silage as determined by 16S ribosomal DNA analysis. Applied and Environmental Microbiology 2003; 69(1): 444–451.

Ergün A., Tuncer ŞD., Çolpan İ., Yalçın S., Yıldız G., Küçükersan MK., Küçükersan S., Şehu A., Saçaklı P. Yemler, yem hijyeni ve teknolojisi. Pozitif Matbaa, Ankara, 2011.

Erişçi D., Bingöl T., Avcı A. Elma (Malus Pumila) katkısının yonca silaj kalitesi üzerine etkisi. Van Veterinary Journal 2022; 33(3): 135-140.

Filya İ. Bakteriyal inokulantların sorgum silajlannın fermantasyon, aerobik stabilite ve rumen parçalanabilirlik özellikleri üzerine etkileri. Journal of Agricultural Sciences 2001; 7(2): 112-119.

Gao R., Wang B., Jia T., Luo Y., Yu Z. Effects of different carbohydrate sources on alfalfa silage quality at different ensiling days. Agriculture 2021; 11(1): 58.

Guan H., Yan Y., Li X., Li X., Shuai Y., Feng G., Ran Q., Cai Y., Li Y., Zhang X. Microbial communities and natural fermentation of corn silages prepared with farm bunker-silo in Southwest China. Bioresource Technology 2018; 265: 282-290.

Gül S. The impact of wheat bran and molasses addition to caramba mix silage on feed value and in vitro organic matter digestibility. Journal of King Saud University-Science 2023; 35(1): 102400.

Hashemzadeh-Cigari F., Khorvash M., Ghorbani GR., Taghizadeh A. The effect of wilting, molases and inoculants on the fermentation quality and nutrutive value of lucerna silage. South African Journal of Animal Science 2011; 41(4): 377-388.

Kamalak A., Aydın R., Bal MA., Atalay Aİ. Gladiçya meyvesinin katkı maddesi olarak onca silajında kullanımı. TÜBİTAK 2009; Proje No: 1070401.1-67.

Kang J., Tang S., Zhong R., Tan Z., Wu D. Alfalfa silage treated with sucrose has an improved feed quality and more beneficial bacterial communities. Frontiers in Microbiology 2021; 12: 670165.

Karabulut A., Filya İ. Yemler bilgisi ve yem teknolojisi. 4. Basım. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notları 2007; 67.

Li R., Jiang D., Zheng M., Tian P., Zheng M., Xu C. Microbial community dynamics during alfalfa silage with or without clostridial fermentation. Scientific Reports, 2020; 10(1): 17782.

McDonald P., Edward RA., Dreenhalghand Morgan CA. Animal nutrition. Printed by Ashford Colour Pres Ltd., 2002.

Nascimento Agarussi MC., Gomes Pereira O., Paula RAD., Silva VPD., Santos Roseira JP., Fonseca e Silva F. Novel lactic acid bacteria strains as inoculants on alfalfa silage fermentation. Scientific Reports, 2019; 9(1): 8007.

NRC. Nutrient requirements of dairy cattle. seventh Re. Washington, DC. 2001; National Academy Press.

Orak A., Gökkaya G. Yonca Tarımı. İlgi Matbaacılık, Ankara, 2014.

Oude Elferink SJ., Krooneman J., Gottschal JC., Spoelstra SF., Faber F., Driehuis F. Anaerobic conversion of lactic acid to acetic acid and 1, 2-propanediol by Lactobacillus buchneri. Applied and Environmental Microbiology 2001; 67(1): 125-132.

Öztürk D., Kızılşimşek M., Kamalak A., Canbolat O., Özkan CO. Effects of ensiling alfalfa with whole maize crop on the chemical composition and nutritive value of silage mixtures. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences 2006; 19(4): 526-532.

Peng W., Zhang L., Wei M., Wu B., Xiao M., Zhang R., Ju J., Dong C., Du L., Zheng Y., Bao M., Bao H., Bao X. Effects of Lactobacillus plantarum (L) and molasses (M) on nutrient composition, aerobic stability, and microflora of alfalfa silage in sandy grasslands. Frontiers in Microbiology 2024; 15: 1358085.

Raffrenato E., Fievisohn R., Cotanch KW., Richard G., Chase LE., Amburgh MEV. Effect of lignin linkages with other plant cell wall components on in vitro and in vivo neutral detergent fiber digestibility and rate of digestion of grass forages. Journal of Dairy Science 2017; 100(10): 8119–31.

Saarisalo E., Skyttä E., Haikara A., Jalava T., Jaakkola S. Screening and selection of lactic acid bacteria strains suitable for ensiling grass. Journal of Applied Microbiology 2007; 102(2): 327–336.

Ünal Y., Sevim, B., Gümüş E., Sırakaya S., Ayaşan T., Cufadar Y., Olgun O., Duru, A. Elma posası ilavesinin yonca silaj kalitesine etkilerinin belirlenmesi. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology 2024; 12(7): 1190-1196.

Ünlü HB., Ayyılmaz T., Kılıç A. Farklı düzeylerde öğütülmüş dane mısır ilavesinin yonca silajının yem değeri üzerine etkisi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2015; 52(3): 335-341.

Van Soest PJ. Analytical systems for evaluation of feeds. Nutritional Ecology of the Ruminant 1982; 75-94.

Weinberg ZG., Muck RE. New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. FEMS Microbiology Reviews, 1996; 19(1): 53-68.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1100-1119, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1100-1119, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Performance Comparison of Neural Networks: A Case of Data Scientists' Job Change Prediction

Aslı ÖRGERİM[1*], Tuğba TUNÇ ABUBAKAR[2], Mahmut TOKMAK[3]

[1,2,3]Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Bucak Zeliha Tolunay Applied Technology and Business High School, Management Information Systems Department, Burdur, Turkiye

[1]https://orcid.org/0000-0001-7785-6200
[2]https://orcid.org/0000-0002-5447-2391
[3]https://orcid.org/0000-0003-0632-4308
*Corresponding author: agode@mehmetakif.edu.tr

Research Article

Article History:
Received: 10.05.2024
Accepted: 04.03.2025
Published online: 16.06.2025

Keywords:
Artificial neural network
XGBoost
Classification
Data scientists' job change request

ABSTRACT

In today's world, the era of big data, companies in every sector have to deal with huge amounts of data generated. Such data must be processed, analyzed, and interpreted to be used in making business decisions. Businesses employ data scientists for this purpose. These people have great costs to businesses. For this reason, it is a significant issue for businesses to predict the employee who intends to change jobs in people working as data scientists in enterprises. In this study; the job change thoughts of data scientists were predicted by artificial neural networks. Data cleaning, missing data completion with linear regression-based iterativelmputer method, data balancing with SMOTE (Synthetic Minority Oversampling Technique) algorithm, data normalization with standard scaler method were performed on the dataset used, respectively. The dataset was then trained with a multilayer perceptron algorithm and a deep neural network model. The trained models were tested and an accuracy of 84.2% was obtained with the multilayer perceptron algorithm and 87.5% with the deep neural network model. To compare the performance of artificial neural network models, analyses were performed with the frequently used Naive Bayes, Support Vector Machines, Decision Trees, Random Forests, Extra Trees, Gradient Boosting, and XGBoost algorithms. As a result of these tests, an accuracy of 91.1% was obtained with the XGBoost algorithm and performance metrics were presented.

Sinir Ağlarının Performans Karşılaştırması: Veri Bilimcilerinin İş Değişikliği Tahmini Örneği

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 10.05.2024
Kabul tarihi: 04.03.2025
Online Yayınlanma: 16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Yapay sinir ağları
XGBoost
Sınıflandırma
Veri bilimcilerinin iş değişikliği isteği

ÖZ

Büyük veri dönemi olarak adlandırılan günümüz dünyasında, her sektördeki firmaların üretilen çok büyük miktarda veriyle uğraşması gerekmektedir. Bu tür verilerin iş kararları vermede kullanılabilmesi için işlenmesi, analiz edilmesi, yorumlanması gerekir. İşletmeler bu amaçla veri bilimcileri istihdam etmektedirler. Bu kişilerin işletmelere büyük maliyetleri bulunmaktadır. Bu nedenle işletmelerde veri bilimcisi olarak çalışan kişilerde iş değişikliği düşüncesi olan çalışanın tahmin edilmesi işletmeler açısından çok önemli bir konudur. Bu çalışmada; veri bilimcilerin iş değişikliği düşüncelerinin yapay sinir ağları ile tahmini yapılmıştır. Kullanılan veri seti üzerinde, sırasıyla, veri temizleme, lineer regresyon tabanlı iterativimputer yöntemiyle eksik veri tamamlama, SMOTE algoritmasıyla veri dengeleme, standart scaler metodu ile veri normalizasyonu yapılmıştır. Daha sonra veri seti çok katmanlı algılayıcı algoritması ve derin sinir ağı modeliyle eğitilmiştir. Eğitilen modeller test edilip çok katmanlı algılayıcı algoritması ile %84.2 derin sinir ağı modeli ile %87.5 doğruluk değeri elde edilmiştir. Yapay sinir ağları modellerinin performansını karşılaştırabilmek amacıyla sıkça kullanılan Naive Bayes, Destek Vektör Makineleri, Karar Ağaçları, Rastgele Ormanlar, Ekstra Ağaçlar ile gradyan artırma modellerinden Gradient

Boosting ve XGBoost algoritmaları ile analizler yapılmıştır. Bu testler sonucunda ise XGBoost algoritmasıyla %91.1 doğruluk değeri elde edilmiş ve performans metrikleri ortaya konmuştur.

To Cite: Örgerim A., Tunç Abubakar T., Tokmak M. Performance Comparison of Neural Networks: A Case of Data Scientists' Job Change Prediction. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1100-1119.

1. Introduction

Although the amount of data generated worldwide daily constantly changes, it has been increasing rapidly in recent years. Technological advances such as the Internet, mobile devices, sensors, and social media are effective in increasing data generation and storage capacity. In numerical terms, approximately 500 hours of video, 500 million tweets, 4 million hours of YouTube video, and data of 4.3 billion internet users are produced worldwide in a minute. This means that approximately 2.5 quintillion (2.5 x 10^18) bytes of data are generated daily (Domo, 2023; Techjury, 2023).

In parallel with this, the rapid development of technology and digitalization has increased the amount of data obtained by businesses. These data provide information about customer preferences, product performance, market trends, and many other issues. However, these data need to be analyzed correctly in order to make them valuable for businesses. This is where data science and artificial intelligence (Artificial Intelligence: AI) come into play. In today's rapidly digitalizing world, data science and artificial intelligence are becoming increasingly important. The two disciplines complement each other, helping businesses gain valuable insights from large datasets and use this information to make strategic decisions (Górriz et al., 2020). With the advent of artificial intelligence introduced during Industry 4.0, organizations have gained the ability to simulate various variables in advance and make more accurate decisions as a result. Thanks to this technological advancement, which provides the ability to take action a few steps ahead, organizations make the future predictable (Karagöz, 2022).

Artificial intelligence is defined as giving a computers or machines the ability to think, reason, generalize, make decisions, and produce solutions that typically require human intelligence can do. The development of artificial intelligence has provided great benefits to the economy, promoted social development, and contributed to almost every field (Zhang and Lu, 2021). In addition, artificial intelligence has changed many aspects of organizations, from production styles, supply chains, management styles, customer relations, and competition styles to strategic planning (Karagöz, 2022). Expert systems, robotics, natural language processing, speech understanding, computer vision, computer science, control theory, biology, psychology, philosophy, and mathematics constitute the scope and foundations of artificial intelligence. Artificial intelligence technologies can be listed as machine learning, artificial neural networks (ANN), deep learning, fuzzy logic, genetic algorithms and expert systems (Bingöl et al., 2020; Metlek, 2021). ANN, one of these artificial intelligence techniques, is a computational model inspired by biological neural networks that process information in the human brain. Neural networks studies can learn and associate large datasets obtained from experiments, simulations and the real world. A trained neural network serves as an analytical tool for qualified predictions of actual results. Effective neural network models for their training and validation exist and

continue to be developed, while at the same time achieving high accuracy scores in their predictions (Asteris and Mokos, 2020).

Data science helps businesses make strategic decisions to increase their productivity, reduce costs and increase profitability by analyzing trends and patterns in large datasets. Data science is a field that involves the collection, storage, processing, analysis and interpretation of data using disciplines such as statistics, data mining, artificial intelligence and machine learning. Data scientists work on large datasets of businesses by analyzing data using these disciplines. By collecting, storing, processing, analyzing, and interpreting data, data scientists provide important information used in the decision-making processes of businesses. Data scientists develop strategies to increase the growth potential of businesses by analyzing customer behavior, market trends, product performance and many other issues. Data scientists use programming languages such as Python, R, SAS, and SQL to analyze data. They use tools such as Apache Hadoop, Apache Spark, Apache Cassandra, and NoSQL databases to work on large datasets. In addition, data scientists utilize artificial intelligence technologies to process large amounts of unstructured information, and automate or solve complex tasks (Altunışık, 2015; Baumeister et al., 2020; Górriz et al., 2020; Mohamed et al., 2020).

Data scientists help businesses make strategic decisions to increase their productivity, reduce their costs and increase their profitability by working on large datasets. Data scientists are important employees for companies. Hiring, training and developing data scientists represent a huge investment for companies. Businesses spend great efforts to hire data scientists and these efforts are often very costly. However, the departure of the data scientist may cause this investment to be wasted. The intention to change jobs of data scientists working in the enterprise is defined as "the movement of workers in and out of employment in a given company" (Sexton et al., 2005). The reasons for job change of data scientists can be divided into organizational, individual, and environmental reasons. Organizational job change can be given as an example of data scientists being dissatisfied with their work environment (Aras, 2016). Individual reasons include the fact that the intention to change jobs increases as the education level of data scientists increases (Yener, 2016). The low level of education and economic development of the city or country can be given as examples for environmental reasons (Varol, 2017). Data scientist turnover can be costly for businesses in several different ways. Typically, these companies receive multiple candidate registrations for their training programs. Therefore, they want to know which of these candidates, after the training period, might looking for a new job in other companies. This forecast is extremely useful because it helps reduce the cost and time, improves training quality, and aids in planning courses and categorizing candidates (Tran and Nguyen, 2021). Businesses may face several costs due to the departure of data scientists, such as re-hiring costs, data loss, and costs arising from project delays. In addition to these costs, the turnover or resignation of data scientists leads to a loss of productivity. On the other hand, as productivity decreases, corporate profit also decreases. Reducing the rate of turnover in businesses is vital for organizational success. It is of great importance for companies to predict whether data scientists have such an intention or not and to ensure the continuity of data

scientists by human resources through reward, incentive, etc. methods. Therefore, businesses want to predict the intention of data scientists to change jobs to minimize the risk of data scientists leaving their jobs.

For this purpose, various studies have been conducted in the literature: Kyalkond et al. (2022)'s study, Support Vector Machine (SVM), Logistic Regression (LR), K-Nearest Neighbour (KNN), Random Forests (RF) methods were used. As a result of the study, 86.2%, 88.1%, 86.9%, 89.5% accuracy were obtained from the methods respectively. In this direction, the RF algorithm gave the highest accuracy rate. Conlon (2021) RF, AVG Blender, and Light Gradient Boosted Trees Classifier machine learning methods with Early Stopping. On average, they obtained an accuracy value of over 78%. In his study, he revealed that the characteristics that have the most influence on whether a data scientist wants to change his job are; city development index, company size, and company type. In their study, Tran and Nguyen (2021) used DT, Naive Bayes (NB), KNN, SVM, RF, XGBoost and LightGBM (LGBM) methods to predict whether employees intend to change jobs. As a result of the study, they obtained the best accuracy of 80% with the LGBM algorithm. There are studies on different datasets in the literature. Dutta and Bandyopadhyay (2020) used a feed-forward neural network and a 10-fold cross-validation procedure to predetermine the employee's job change process. Oliveira et al. (2019), based on a dataset containing time series data on 3952 managers' e-mail communications for 12 months and using a recurrent neural network technique, predicted the rate of job change. As a result of the study, 80% accuracy was obtained.

The difference of this study from the literature lies in use of boosting machine learning algorithms as well as known machine learning algorithms and their detailed comparison. In addition, the use of the SMOTE method and iterativelmputer methods distinguishes the study from the existing literature.

In this study, a prediction was made to determine whether data scientists, who work in a very important position for businesses, are changing jobs or looking for a new job. Multi-Layer Perceptron (MLP) and Deep Neural Network (DNN) were used as prediction models. To compare the performance metrics obtained in the models used, analyses were made with NB, SVM, Decision Tree (DT), RF, Extra Trees (ET), which are frequently used in the literature, and Gradient Boosting and XGBoost algorithms, which have increased in popularity in recent years. The proposed study aims to contribute to the reduction of labor and cost losses in the entire process of recruiting, training, and integrating data scientists into positions of sensitive importance for businesses. In addition, it aims to compare the performances of MLP and DNN algorithms with existing artificial intelligence methods.

2. Material and Method

2.1. Dataset

This study used the Kaggle dataset "HR Analytics: Data Scientists' Job Change" Kaggle dataset (Kaggle, 2022). This dataset is open access and no permission is required to use it. This dataset comprises 19.158 data with 14 features, including the target feature. In the target feature, a value of 0 indicates that data

scientists do not intend to change jobs, while a value of 1 indicates that data scientists are looking to change jobs. The dataset in question is designed for studies to predict the probability of a data scientist changing to a new job. The features in the dataset and their descriptions are shown in Table 1.

Table 1. Features of the dataset

Features	Description
enrollee_id	Data scientist identification number
city	City code
city_development _index	City development index
gender	Gender distribution of data scientists
relevent_experience	Relevant experience of data scientists
enrolled_university	Type of university program, if any, in which the data scientists are enrolled
education_level	Education level of data scientists
major_discipline	Training ground for data scientists
experience	Total experience of data scientists (in years)
company_size	Number of data scientists in the current employer's company
company_type	Current company type
Last_new_job	Difference between previous job and current job (in years)
training_hours	Completed training hours
target	Output 0-Not seeking a job change, 1-Seeking a job change

When the dataset is analyzed, it is observed that there is up to 38% missing data for some features. The features, numbers, and percentages of missing data are given in Table 2.

Table 2. Number and percentage of features with missing data

Features	Number of Missing Data	Percentage of Missing Data
enrollee_id	0	0.00
city	0	0.00
city_development_index	0	0.00
gender	4508	23.53
relevent_experience	0	0.00
enrolled_university	386	2.01
education_level	460	2.40
major_discipline	2813	14.68
experience	65	0.34
company_size	7409	38.67
company_type	6140	32.05
last_new_job	423	2.21
training_hours	0	0.00
target	0	0.00

Of the 19.158 individuals in the dataset corresponding to the information obtained from the data scientists, 4.777 indicated that they were looking for a new job, and 14.381 indicated that they were not looking for a job. The number of people in the target feature is shown in Figure 1.

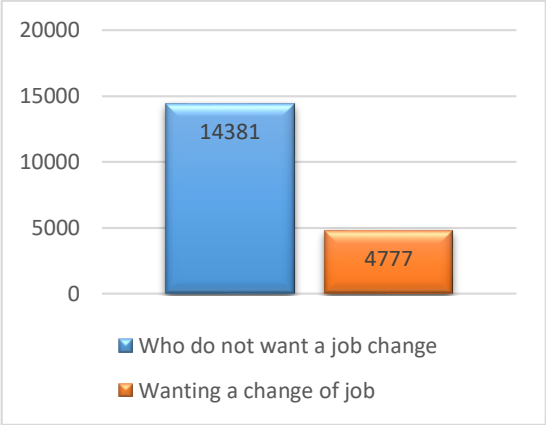


Figure 1. Numbers of target class variable

2.2.Dataset Pre-Processing

Data preprocessing, one of the processes applied to datasets, has critical importance in data analysis and machine learning projects. Data preprocessing refers to a series of processes to improve the quality and consistency of data (Ramkumar et al., 2023). Data preprocessing starts with data collection and cleaning processes. It checks the accuracy, completeness, relevance, and consistency of the data and performs the necessary preprocessing operations to obtain meaningful data. Data preprocessing steps such as data cleaning, data transformation, data scaling, feature selection, and data merging are important to obtain more accurate results for data analysis and the training of machine learning models (Ajakwe et al., 2024). In this study, firstly, data cleaning was performed from the data preprocessing steps, and the "enrolle_id" column, which expresses the number of the data scientists, was deleted. Secondly, since the dataset contains 38% missing data when all fields are taken into account, as shown in Table 2, the fields containing missing data were completed with the Linear Regression-based IterativeImputer method. IterativeImputer is a machine learning technique used to complete missing data, provided by the very popular scikit-learn Python software package (Goh et al., 2023). This technique creates a model using techniques such as LR, DT, KNN, and SVM to predict the missing data and then completes the missing data using this model. IterativeImputer takes into account relationships with other features when estimating missing data. It estimates missing values as a function of other features using a model such as linear regression and updates these estimates in an iterative process. In this way, the filled values are compatible with the natural structure of the dataset. It offers a more advanced approach compared to simple methods (e.g. filling with mean or median). Simple methods often reduce the variance of the feature with missing data, resulting in a loss of information. IterativeImputer overcomes this disadvantage and produces more consistent results. In the third step, categorical features are converted into numerical representations, and the values of different numerical features are converted to the interval [0,1] using the StandardScaler function. In the fourth step, it was observed that the data was unbalanced when looking at the target variable of the dataset as shown in Figure 1. The SMOTE algorithm was used to eliminate data imbalance. SMOTE algorithm is a synthetic sampling method used in datasets with unbalanced class distributions. The SMOTE algorithm selects the samples around the

samples in the minority class in the dataset and creates synthetic samples by randomly combining them. This process is performed based on the measured distances between samples. The SMOTE algorithm aims to reduce the class imbalance in the dataset by increasing the number of samples in the minority class in the dataset (Kartal and Özen, 2017). The number of target class variables in the dataset after the class imbalance is removed is given in Figure 2.

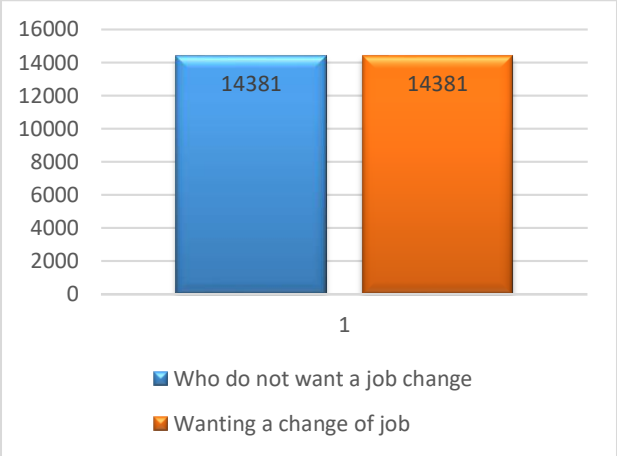


Figure 2. Target class variable numbers after the dataset class ımbalance is removed

2.3. Artificial Neural Networks

ANN is a subfield of artificial intelligence that models and imitates the information processing and learning abilities of the human brain. The main goal of ANN is to make decisions by thinking like a human and to be able to learn on its own. ANN is inspired by the human brain as a result of the mathematical modeling of the learning process (Sadanand and Bhosale, 2023).

Due to the inadequacy of hardware developments, the number of hidden layers and nodes in ANNs increased in the early 2000s, but they were not used. However, afterward, with the GPU and other hardware developments, ANNs with many hidden layers have started to be used again since their computational costs have been reduced (Şeker et al., 2017). Today, ANN is an important technology used in many application areas. Especially the developments in deep learning and neural network architectures make ANN models more and more successful. Research areas in this field have been increasing in recent years. The use of ANN models in areas such as image processing, natural language processing, robotics, gaming and music is becoming widespread. In addition, the use of ANN models in critical areas such as health, finance and security is also increasing (LeCun et al., 2015). ANN applications are used in data interpretation, data filtering, data association, prediction and classification problems (Yılmaz, 2020). In general, ANNs are used for face recognition, license plate recognition (Göde and Doğan, 2023) voice recognition, image processing, system modeling, weather forecasting, fault detection, disease diagnosis, robotics, finance, banking, space sciences, and automotive fields can be given as examples (Öztürk and Şahin, 2018).

ANN mimics the human biological nervous system. Neurons in the biological nervous system consist of four parts: nucleus, dendrite, axon and connections. Each nerve cell receives the incoming

information through the dendrite and transmits it to the nucleus. This information is collected in the soma. The collected information is transmitted to the axon and processed here. The processed information is transferred to the other side of the neuron. The task of the connections is to transmit the processed information to other neurons in the relationship (Zhang et al., 2019). Figure 3 shows the biological nerve cell structure.

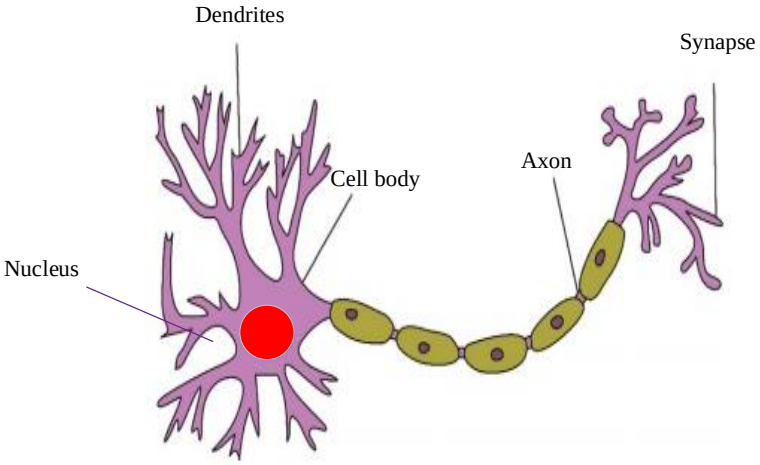


Figure 3. Biological nerve cell (neuron) structure (Fiorelli et al., 2015)

The corresponding elements of biological nerve cell and ANN cell are given in Table 3.

Table 3. Corresponding elements of biological nerve Cell and ANN cell (Tang et al., 2019; Güner, 2021)

Biological nerve cell elements	ANN elements
Dendrite	Aggregation function
Cell Body	Activation function
Axon	Output value
Neuron	Input value
Synapse	Weight

ANN has 5 basic elements. (1) Inputs; information coming from outside or from a different cell. (2) Weights; the importance and effect of the incoming information for the neuron is expressed by weights. Incoming information is first multiplied by the weight. If the weight value is small, it is insignificant, if it is large, it is important. If the weight value is zero, it has no effect. (3) Summation Function; After the information is multiplied by the weights, it is summed in the summation function. Thus, the net input of the relevant cell is calculated. (4) Activation Function; processes the net input information and produces the output value corresponding to this information. (5) Outputs; transfer the output values produced in the activation function to the outside (Maind and Wankar, 2014). Figure 4 shows the ANN structure.

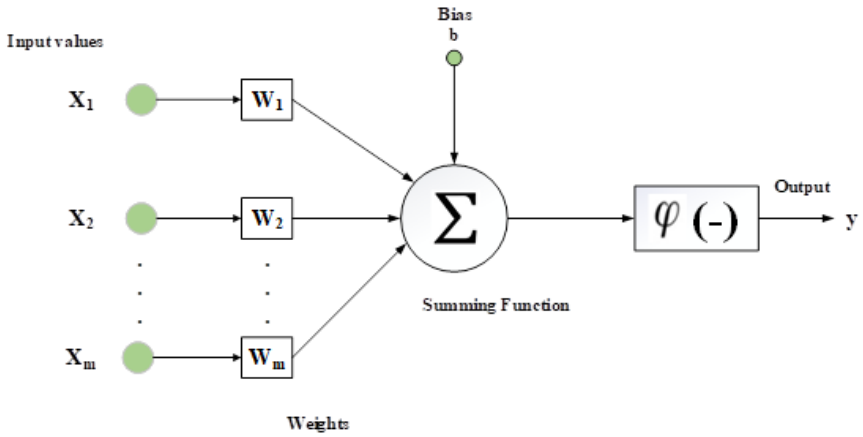


Figure 4. ANN structure (Martínez-Álvarez et al., 2015)

Xi values represent the input elements. Xi input values are multiplied by Wi. The b value is added to the result obtained as a result of multiplication in the summation function. In the next step, the activation function is applied. As a result, y output value is obtained (Oliveira et al., 2017).

2.4. Artificial Neural Network Models

ANN models differ according to architecture, connection direction, and flow direction of network signals. In this context, ANN models are named single-layer perceptrons, multilayer perceptrons, feed-forward networks, and feedback networks (Öztürk and Şahin, 2018). In this section of the paper, the models used in the study are explained.

2.4.1. Multilayer Perceptrons

MLPs consist of the input layer, hidden layer and output layer. MLPs update the error level until the difference between the expected output value and the actual output value is minimized (Zhang et al., 2023). Figure 5 shows the MLP model.

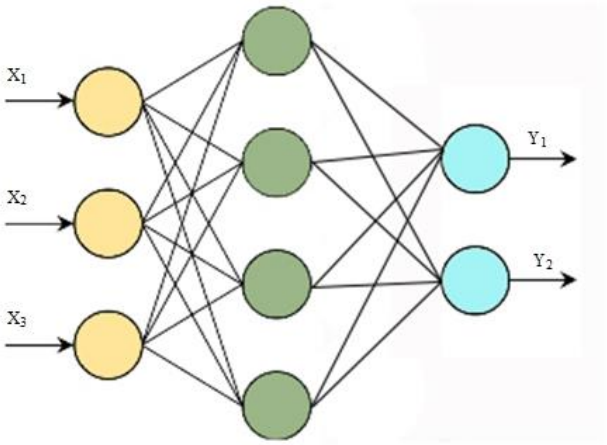


Figure 5. MLP model (Zhang et al., 2023)

2.4.2. Deep Neural Networks

Today, the increase in the amount of data, the diversity of variables, and the studies to reveal the complex relationships between these variables have increased the interest in ANN-based deep learning approach. DNNs are defined as a wider and deeper form of ANNs. These networks contain at least two hidden layers and the number of neurons in these layers is high. The deep learning approach is used in many fields such as speech recognition, computer vision, and natural language processing. There are many different deep network architectures such as deep neural networks (DNN), deep belief network (DBN), convolutional neural networks (CNN), and recurrent neural networks (RNN) (Gazel and Bati, 2019). DNNs consist of multiple levels of non-linear processing with numerous intermediate layers. DNNs are mostly used to deal with unstructured and unlabeled data. Data enters from the input layer and is processed through the layers. At each layer, the input data is multiplied by weights and passed to an activation function. This is done by optimizing the weights. Optimized weights allow the network to provide more accurate results. Today, DNNs are used in many areas such as computer image and video analysis, natural language processing, speech recognition, and games (Lee, 2021). Figure 6 shows the DNN network structure.

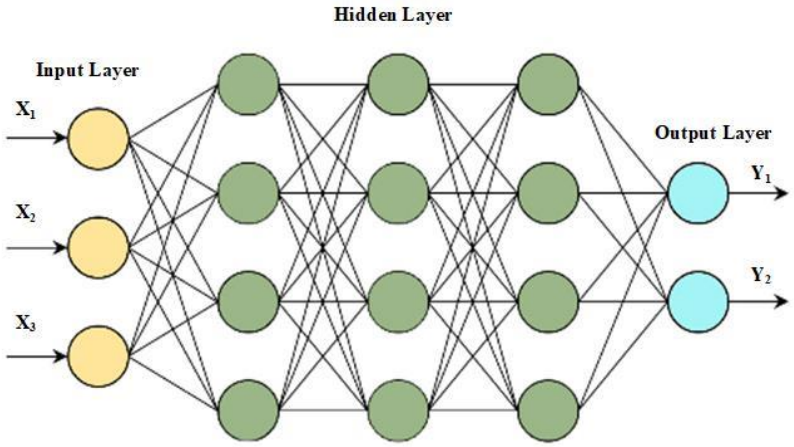


Figure 6. *DNN network structure (Tekerek and Bay, 2019)*

2.5. Performance Evaluation

The dataset consisting of 28.762 samples obtained after the data preprocessing steps was divided into 80% training and 20% testing. Accuracy, precision, sensitivity, and F1-scores were calculated to evaluate the training and test performance of the models. At the same time, the results obtained in the target class prediction with the Confusion Matrix, which contains the numerical data of the actual and predicted classes used to evaluate the performance of classifiers in classification problems, are expressed both numerically and visually (Çavuşoğlu and Kaçar, 2019). The general expression of the confusion matrix is given in Table 4.

Table 4. Confusion matrix

Estimated values	Actual values	
	Negative	Positive
Negative	True Negative (TN)	False Negative (FN)
Positive	False Positive (FP)	True Positive (TP)

Performance evaluation metrics used in the study are explained below (Dutta and Bandyopadhyay, 2020; Nkongolo and Tokmak, 2023):

- Accuracy: It is calculated as the ratio of the correctly predicted areas in the model to the total dataset. The accuracy formula is shown in Equation 1.

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+FN+FP+TN} \quad (1)$$

- Precision: The accuracy of positive predictions is found by the Precision formula. The precision formula is shown in Equation 2.

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

- Sensitivity **(**Recall**):** The proportion of positive samples correctly detected by the model. The sensitivity formula is shown in Equation 3.

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

- F1-Score: When calculating the F1 score value, a new value is calculated by using the precision and sensitivity values together. Equation 4 shows the F1-Score formula.

$$F1\text{-}Score = 2\ x\ \frac{precision\ x\ sensitivity}{precision+sensitivity} \quad (4)$$

The classification models proposed in this study were trained and tested on Google Colab Notebook platform using Python (Colab, 2021). This section describes the methodology of the study. The flowchart of the study is shown in Figure 7.

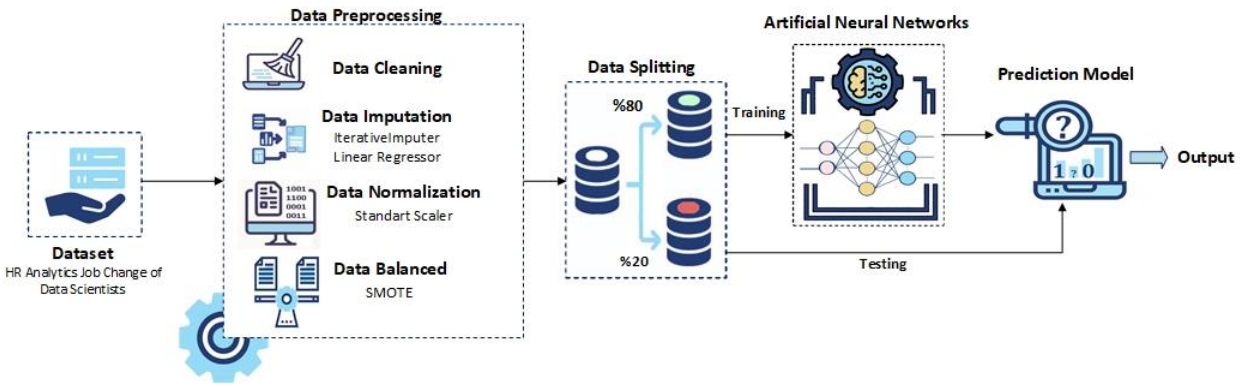


Figure 7. Proposed model

Among the artificial intelligence methods used in the study, Python sklearn library was used for NB, SVC, DT, MLP, RF, Gradient Boosting, ET, classifiers, xgboost library for XGBoost classifier and Tensorflow keras library for DNN classifier. The model parameters used to obtain the experimental results of the artificial intelligence methods employed in this study are presented in Table 5. "Default" parameters were adopted in NB, SVC, DT, ET, XGBoost algorithms. While determining these parameters, the content of the dataset, number of features, and data type were taken into consideration.

Table 5. Model hyperparameters

Model Name	Parameters
RF	max_depth=6, n_estimators=100, max_features=1
Gradient Boost	n_estimators=100, learning_rate=1,0, max_depth=1, random_state=0
MLP	max_iter=500, alpha=1e-4, solver="adam", activation='relu' random_state=40, n_iter_no_change=50, learning_rate_init=0,01, momentum=0,3
DNN	Hidden Layer activation='relu'; Output Layer activation='sigmoid'; loss='binary_crossentropy'; optimiser='adam'; metrics=['accuracy']

3. Results and Discussion

In this study, Google Colab Notebook was used for training and testing the classification models. GPU runtime was selected in the notebook and the models were run with Python 3.10.11 version. The neural network models were trained by systematically increasing the number of hidden layers and the number of neurons in the hidden layers, and then the performances of different network models were tested. The performance metrics of the trained MLP and DNN models obtained as a result of the testing process are given in Table 5. In the test of the MLP network model with two hidden layers, each containing 1000 neurons, the highest accuracy was obtained with an 84.2% accuracy compared to other MLP models. Similarly, in the test of the DNN network model with two hidden layers and 250 neurons in each hidden layer, the highest accuracy was obtained with an 87.5% accuracy compared to other DNN models. The values obtained are shown in Table 6.

In order to compare the performances of the ANN methods used in this study, the dataset was trained with some artificial intelligence methods commonly used in the literature, and forecasting was performed. In order to make a comparison, the classical DT, RF, ET, NB, SVM algorithms and Gradient boosting XGBoost machine learning algorithms, which are among the gradient boosting models which have become popular in recent years, were selected. The performance metrics obtained are given in Table 6, the lowest accuracy performance was 69.2% with the NB algorithm and the highest accuracy performance was 91.1% with the XGBoost algorithm. Table 7 shows the performance comparison.

Table 6. MLP and DNN hidden layer numbers and performance metrics

Hidden Layer	Accuracy		Precision		Recall		F1- Score		Support
	MLP	**DNN**	**MLP**	**DNN**	**MLP**	**DNN**	**MLP**	**DNN**	
5-5	0.763	0.766	0.7667	0.77	0.7633	0.767	0.7622	0.765	5753
10-10	0.786	0.766	0.787	0.766	0.786	0.766	0.786	0.766	5753
50-50	0.793	0.844	0.794	0.844	0.793	0.844	0.793	0.844	5753
100-100	0.795	0.858	0.796	0.858	0.796	0.858	0.795	0.858	5753
250-250	0.808	**0.875**	0.815	0.875	0.809	0.874	0.807	0.874	5753
500-500	0.831	0.862	0.835	0.862	0.831	0.862	0.83	0.862	5753
1000-1000	**0.842**	0.861	0.845	0.861	0.842	0.861	0.842	0.861	5753
5-5-5	0.771	0.765	0.776	0.765	0.772	0.765	0.771	0.765	5753
10-10-10	0.789	0.775	0.79	0.777	0.789	0.776	0.789	0.775	5753
50-50-50	0.795	0.83	0.795	0.832	0.795	0.83	0.794	0.83	5753
100-100-100	0.801	0.854	0.801	0.854	0.8	0.854	0.8	0.854	5753
250-250-250	0.831	0.863	0.832	0.863	0.831	0.863	0.831	0.863	5753
500-500-500	0.839	0.858	0.839	0.858	0.839	0.858	0.839	0.858	5753
1000-1000-1000	0.84	0.862	0.842	0.862	0.841	0.862	0.84	0.862	5753

In Figure 8, the accuracy values obtained as a result of the test after the training according to the number of hidden layers and neurons of the neural network models are presented graphically.

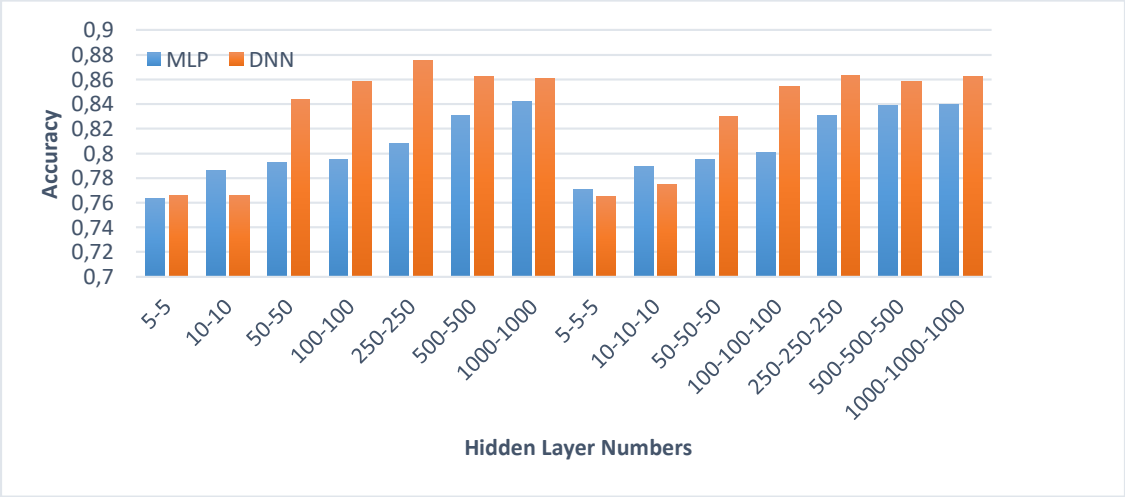


Figure 8. MLP-DNN accuracy rates according to the number of hidden layers

The confusion matrix of the XGBoost algorithm, which obtained the highest accuracy among the artificial intelligence methods used with MLP and DNN algorithms, the motivation source of the proposed study, is presented in Figure 9.

Table 7. Performance comparison of ANN algorithms and other machine learning methods

Models	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score	Support
NB	0.692	0.693	0.692	0.692	5753
SVM	0.678	0.683	0.677	0.675	5753
DT	0.806	0.809	0.805	0.805	5753
MLP	0.842	0.845	0.842	0.842	5753
RF	0.86	0.86	0.86	0.86	5753
Gradient boosting	0.865	0.866	0.865	0.865	5753
ET	0.871	0.872	0.871	0.871	5753
DNN	0.875	0.875	0.874	0.874	5753
XGBoost	0.911	0.911	0.911	0.911	5753

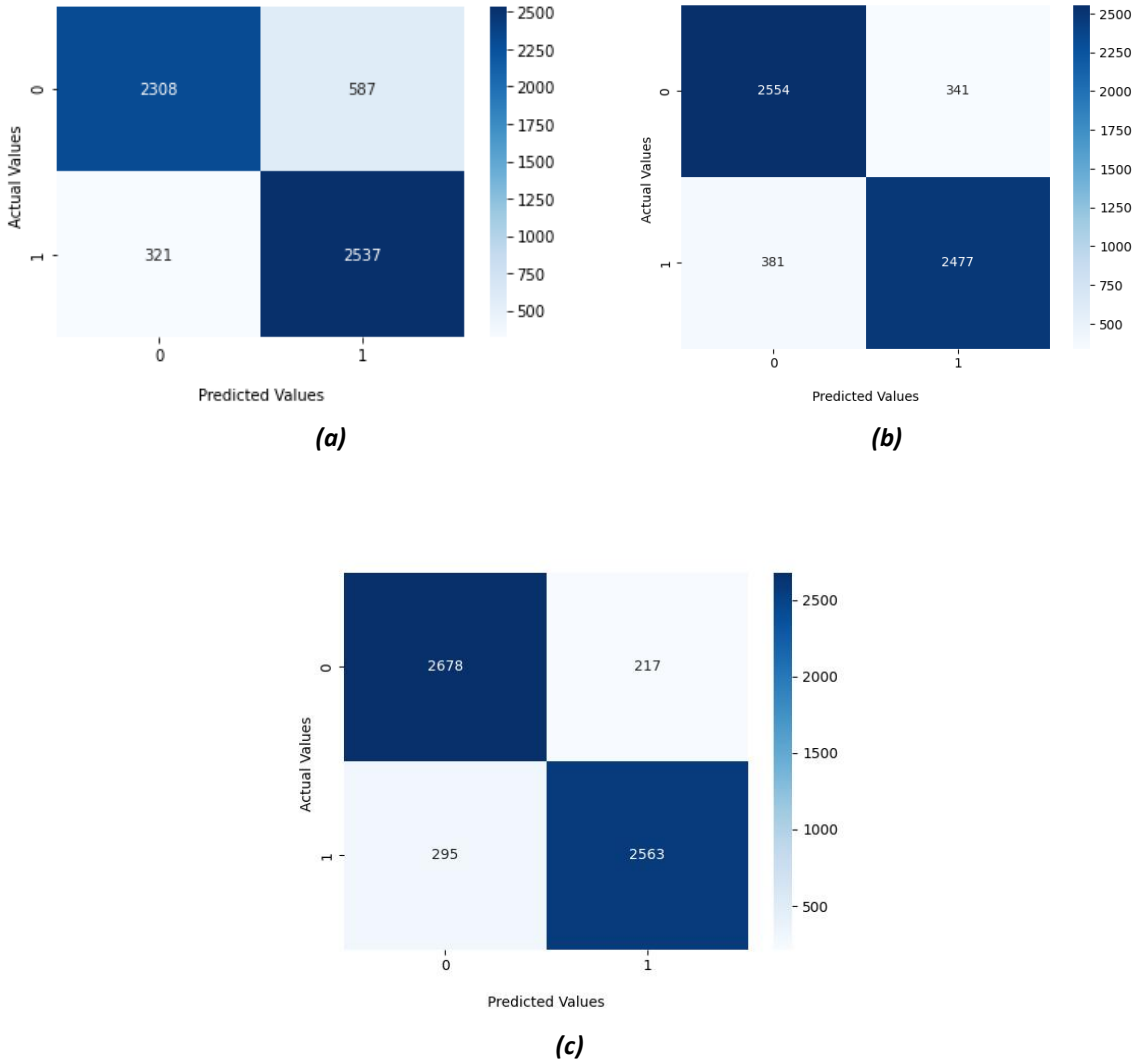


Figure 9. (a) MLP confusion matrix (1000-1000) **(b)** DNN confusion matrix (250-250) **(c)** XGBoost confusion matrix

In this study, the critical impact of the SMOTE and IterativeImputer data preprocessing techniques on model performance is highlighted. The dataset used in the study contained challenges such as missing

data and an imbalanced class distribution. Proper handling of these challenges played a key role in improving classification performance. An imbalanced class distribution can significantly affect the ability of machine learning models to accurately predict minority classes. In this study, the SMOTE method was employed to address the class imbalance issue, and minority class samples were augmented by synthesizing new examples from existing ones. By providing a more balanced structure to the dataset, SMOTE enabled the models to effectively learn from both minority and majority class samples.

Missing data is a common issue in machine learning projects, which can degrade model performance and lead to inaccurate results. In the study, the IterativeImputer method was utilized to overcome the problem of missing data. This method allowed for the estimation and completion of missing data using a linear regression-based approach. IterativeImputer stood out as an effective method, particularly for features with a high level of missing data. Its ability to complete missing data in a manner consistent with the overall structure of the model was a significant factor in improving the accuracy rates obtained. The proper application of SMOTE and IterativeImputer methods not only enhanced the accuracy of classification models but also improved their generalization capabilities. Specifically, SMOTE's augmentation of minority class samples and IterativeImputer's completion of missing data increased the quality and representativeness of the dataset, contributing to the model's ability to produce more consistent results. This outcome made it possible for data-sensitive models, such as the XGBoost algorithm, to achieve a high accuracy rate of 91.1%.

XGBoost generally performs well on smaller and well-structured data sets, while Neural networks tend to perform better on large, complex, and high-dimensional data sets (Zhang and Lu, 2021). The structure of the dataset used in this study allowed XGBoost to take advantage of its advantages but limited the DNN's capacity to learn complex data patterns. Although the DNN model exhibited a slightly lower accuracy rate (87.5%) compared to XGBoost, it demonstrated the strengths of deep learning. The layered structure of DNNs has the capacity to learn more complex patterns in the data. However, the performance of DNN models depends on the hyperparameter settings (e.g., number of layers and neurons, learning rate) and a large amount of computational power. In this study, model performance is improved by determining the optimal number of layers and neurons. However, it was realized that the size of the dataset should be increased to achieve higher performance.

The study differs from most studies in the literature by addressing both the unbalanced class problem and the missing data problem simultaneously. While most studies focus on one of these problems, this study offers a comprehensive solution by addressing both problems together. For example, Conlon (2021) solved the missing data problem by deleting data and ignored the class imbalance. Tran and Nguyen (2021) addressed the data imbalance with Smote's method and completed the missing data using "fillna". Considering the results we obtained in the study, the study makes a difference with the proposed data preprocessing steps and the proposed machine learning methods.

4. Conclusion

In today's world, companies in different sectors need to deal with large amounts of data from the physical world, such as sensors, RF-IDs, GPS, as well as human-generated data such as social networks and the internet. By collecting, storing, processing, analyzing, and interpreting the results of such data, businesses employ data scientists to provide important information used in business decision-making processes. These people have great costs to businesses in the period from recruitment to integration into the department they work in. For this reason, predicting employees who intend to change their jobs or who are looking for a new job is a very important issue for businesses.

This paper provides significant benefits to businesses in retaining talented employees, improving recruitment strategies, and reducing organizational risks. Additionally, it offers opportunities to enhance the employee experience by analyzing the reasons for turnover. In this way, businesses can anticipate potential losses, achieve cost savings, and maintain their data science capabilities in the long term.

In this paper, a study was conducted to predict the probability of job changes for data scientists who are of great importance to the companies. Using demographic information, experience, etc. that affect the decision of data scientists, the probability of continuing to work in the company or changing jobs was predicted by ANN methods. In this context, the dataset was trained and tested with MLP and DNN. MLP and DNN have a layered structure due to their structure. Therefore, the layers and the number of neurons they contain were determined from low to high, and tests were performed. As a result of these tests, the MLP model with two hidden layers and 1000 neurons in each hidden layer obtained the best results compared to other MLP models with 84.2% accuracy and 84.2% F1-score. Similarly, the DNN model with two hidden layers, each containing 250 neurons, achieved 87.5% accuracy and an 87.4% F1-score. When the results are analyzed, it is seen that keeping the number of neurons in the hidden layers low or increasing them too much negatively affects the performance metrics.

Since the motivation of the study is to demonstrate the performance of ANN algorithms, other machine learning methods in the literature such as DT, RF, ET, NB, SVM, Gradient boosting, and XGBoost were also trained and tested. As a result of the tests, the best accuracy rate was obtained with XGBoost algorithm with 91.1%. The MLP algorithm outperformed the NB, SVM, DT algorithms in terms of accuracy, but underperformed the RF, ET, Gradient boosting, and XGBoost algorithms. Similarly, the DNN algorithm outperformed NB, SVM, DT, RF, ET, and Gradient boosting algorithms in terms of accuracy, while XGBoost showed lower performance.

In future studies, it is planned to collect more data and add it to the dataset to improve our performance results obtained with algorithms. In addition, it is thought that it may be useful to conduct an analysis not only for data scientists but also for all employees working in the company and to conduct sentiment analysis to analyze the opinions of employees about their jobs.

Statement of Conflict of Interest

The authors have declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the authors is equal.

References

Ajakwe SO., Deji-Oloruntoba O., Olatunbosun SO., Duorinaah FX., Bayode IA. Multidimensional perspective to data preprocessing for model cognition verity: data preparation and cleansing-approaches for model optimal feedback validation. In Recent Trends and Future Direction for Data Analytics 2024; 15-57. IGI Global. doi: 10.4018/979-8-3693-3609-0.ch002

Altunışık R. Büyük veri: Fırsatlar kaynağı mı yoksa yeni sorunlar yumağı mı? Yıldız Social Science Review 2015; 1(1): 45–76.

Aras M. İşveren markasının örgütsel bağlılık ve işten ayrılma niyetine etkisi: Katılım bankacılığı örneği. Doktora Tezi. Sakarya Üniversitesi, 2016.

Asteris PG., Mokos VG. Concrete compressive strength using artificial neural networks. Neural Computing and Applications 2020; 32(15): 11807–11826.

Baumeister F., Barbosa MW., Gomes RR. What is required to be a data scientist?: Analyzing job descriptions with centering resonance analysis. International Journal of Human Capital and Information Technology Professionals (IJHCITP) 2020; 11(4): 21–40.

Bingöl K., Akan EA., Örmecioğlu HT., Er A. Depreme dayanıklı mimari tasarımda yapay zeka uygulamaları: Derin öğrenme ve görüntü işleme yöntemi ile düzensiz taşıyıcı sistem tespiti. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 2020; 35(4): 2197–2210.

Çavuşoğlu Ü., Kaçar S. Anormal trafik tespiti için veri madenciliği algoritmalarının performans analizi. Academic Platform-Journal of Engineering and Science 2019; 7(2): 205–216.

Colab. Google Colaboratory 2021. https://colab.research.google.com/ (accessed January 21, 2021).

Conlon SJ. Why do data scientists want to change jobs: Using Machine Learning Techniques to Analyze Employees' Intentions in Switching Jobs. IJMIT 2021; 16: 59–71. https://doi.org/10.24297/ijmit.v16i.9058.

Domo. Data Never Sleeps 80 2023. https://www.domo.com/learn/data-never-sleeps-8 (accessed April 24, 2023).

Dutta S., Bandyopadhyay SK. Employee attrition prediction using neural network cross validation method. International Journal of Commerce and Management Research 2020; 6(3): 80–85.

Fiorelli FAS., Campoleone ET., Neto AH. Artificial neural network for predicting energy consumption 2015. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2758.0320.

Gazel SER., Bati CT. Derin sinir ağları ile en iyi modelin belirlenmesi: mantar verileri üzerine Keras uygulaması. Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences 2019; 29(3): 406–417.

Goh WWB., Hui HWH., Wong L. How missing value imputation is confounded with batch effects and what you can do about it. Drug Discovery Today 2023; 28(9): 103661.

Göde A., Doğan A. License plate recognition system based on artificial ıntelligence with different approach. ECJSE 2023. https://doi.org/10.31202/ecjse.1172426.

Górriz JM., Ramírez J., Ortíz A., Martinez-Murcia FJ., Segovia F., Suckling J. Artificial intelligence within the interplay between natural and artificial computation: Advances in data science, trends and applications. Neurocomputing 2020; 410: 237–270.

Güner OÖ. Toplu yemek hizmetlerinde makine öğrenmesi algoritmaları ile talep planlama. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 2021.

Kaggle. Kaggle 2022. https://www.kaggle.com/datasets/arashnic/hr-analytics-job-change-of-data-scientists (accessed May 10, 2023).

Karagöz H. Dijital çağda yönetimde yeni bir anlayış: dijital ikiz entegrasyonu. In: Ceyhan S, Ada S, editors. Dijital Çağda Yönetim Üzerine Güncel Konular ve Araştırmalar, Ankara: Nobel Yayınevi; 2022.

Kartal E., Özen Z. Dengesiz veri setlerinde sınıflandırma. Mühendislikte Yapay Zekâ ve Uygulamaları, 1st Ed, O Torkul, S Gülseçen, Y Uyaroğlu, G Çağıl, and MK Uçar, Eds Sakarya: Sakarya Üniversitesi Kütüphanesi Yayınevi 2017; 109: 131.

Kyalkond SA., Manikanta Sanjay V., Manoj Athreya H., Aithal SS., Rajashekar V., Kushal BH. Data scientist job change prediction using machine learning classification techniques. Ubiquitous Intelligent Systems: Proceedings of Second ICUIS 2022, Springer; 2022, 211–219.

LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning. Nature 2015; 521(7553): 436–444.

Lee KJ. Architecture of neural processing unit for deep neural networks. Advances in Computers, vol. 122, Elsevier; 2021, 217–145.

Maind MSB., Wankar MP. Research paper on basic of artificial neural network. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication 2014; 2(1): 96–100. https://doi.org/10.17762/ijritcc.v2i1.2920.

Martínez-Álvarez F., Troncoso A., Asencio-Cortés G., Riquelme JC. A survey on data mining techniques applied to electricity-related time series forecasting. Energies 2015; 8(11): 13162–13193.

Metlek S. Disease detection from cassava leaf ımages with deep learning methods in web environment. International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry 2021; 5(3): 625–644.

Mohamed A., Najafabadi MK., Wah YB., Zaman EAK., Maskat R. The state of the art and taxonomy of big data analytics: view from new big data framework. Artificial Intelligence Review 2020; 53: 989–1037.

Nkongolo M., Tokmak M. Zero-Day threats detection for critical infrastructures. In: Gerber A, Coetzee M, editors. South African Institute of Computer Scientists and Information Technologists, Cham: Springer Nature Switzerland; 2023, p. 32–47. https://doi.org/10.1007/978-3-031-39652-6_3.

Oliveira JM., Zylka MP., Gloor PA., Joshi T. Mirror, mirror on the wall, who is leaving of them all: predictions for employee turnover with gated recurrent neural networks. Collaborative Innovation Networks: Latest Insights from Social Innovation, Education, and Emerging Technologies Research 2019: 43–59.

Oliveira R., Araújo RC., Barros FJ., Segundo AP., Zampolo RF., Fonseca W., Dmitriev V., Brasil F. A system based on artificial neural networks for automatic classification of hydro-generator stator windings partial discharges. Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications 2017; 16: 628–645.

Öztürk K., Şahin ME. Yapay sinir ağları ve yapay zekâ'ya genel bir bakış. Takvim-i Vekayi 2018; 6(2): 25–36.

Ramkumar M., Malathi K., Pavithra K. Optimizing machine learning model accuracy via OBNT algorithm: Advanced Data Preprocessing Technique 2024; 1-6: doi: 10.1109/icses60034.2023.10465344

Sadanand D., Bhosale S. Basic of artificial neural network. International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology (IJARSCT) 2023; 3(3): doi:10.48175/IJARSCT-8159

Şeker A., Diri B., Balık HH. Derin öğrenme yöntemleri ve uygulamaları hakkında bir inceleme. Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2017; 3(3): 47–64.

Sexton RS., McMurtrey S., Michalopoulos JO., Smith AM. Employee turnover: a neural network solution. Computers & Operations Research 2005; 32(10): 2635–2651.

Tang J., Yuan F., Shen X., Wang Z., Rao M., He Y., Sun Y., Li X., Zhang W., Li Y., Gao B., Qian H., Bi G., Song S., Yang JJ., Wu H. Bridging biological and artificial neural networks with emerging neuromorphic devices: fundamentals, progress, and challenges. Advanced Materials 2019; 31(49): 1902761.

Techjury. Big data statistics 2023. https://techjury.net/blog/big-data-statistics/ (accessed April 6, 2023).

Tekerek A., Bay OF. Design and implementation of an artificial intelligence-based web application firewall model. Neural Network World 2019; 29(4): 189–206.

Tran OT., Nguyen LP. Trainee churn prediction using machine learning: A case study of data scientist job. Proceedings of the 2nd International Conference on Human-centered Artificial Intelligence (Computing4Human 2021). CEUR Workshop Proceedings, Da Nang, Vietnam (Oct 2021), 2021.

Varol F. Çalışanların örgütsel bağlılık ve iş tatminlerinin işten ayrılma niyetlerine olan etkisi: İlaç sektörü örneği. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 2017; 38): 200–208.

Yener S. İşten ayrılma niyetinin belirleyeni olarak psikolojik rahatlık. Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 2016; 18(3): 169–192.

Yılmaz A. Yapay zeka. İstanbul: KODLAB Yayın Dağıtım Yazılım ve Eğitim Hizmetleri San. ve Tic. Ltd. Şti.; 2020.

Zhang C., Lu Y. Study on artificial intelligence: The state of the art and future prospects. Journal of Industrial Information Integration 2021; 23: 100224.

Zhang Jinghua Li C., Yin Y., Zhang Jiawei, Grzegorzek M. Applications of artificial neural networks in microorganism image analysis: a comprehensive review from conventional multilayer perceptron to popular convolutional neural network and potential visual transformer. Artificial Intelligence Review 2023; 56(2): 1013–1070.

Zhang Q., Yu H., Barbiero M., Wang B., Gu M. Artificial neural networks enabled by nanophotonics. Light: Science & Applications 2019; 8(1): 42.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1120-1128, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1120-1128, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Türkiye'de Tavuk Eti Üretiminin Genel Durumu ve Üretim Projeksiyonu

İsmail GÖK[1*], Mustafa ŞAHİN[2]

[1,2]Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Biotechnology, 46100, Kahramanmaraş

[1]https://orcid.org/0000-0002-0759-1187
[2]https://orcid.org/0000-0003-3622-4543
*Corresponding author: gkisoo1995@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 16.12.2024
Kabul tarihi: 16.03.2025
Online Yayınlanma:16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Tavuk eti
Zaman serileri analizi
Yıllar
Projeksiyon

ÖZ

Bu araştırmada, Türkiye'de tavuk eti üretim (ton) sektörünün genel durumunu ortaya konması ve gelecek on yıla ait üretim tahminini yapılması öngörülmüştür. Araştırmadaki veri seti Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK, 2024) tarafından yayınlamış olan 2001-2023 yılları arasında istatistiksel tablolardaki yıllara göre tavuk eti üretim (ton) miktarından elde edilmiş olup, zaman serisi analizlerinden Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) model ve Çift Üstel düzeltme metodu analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda en uygun model Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA; 1,1,1) ve Çift Üstel Düzeltme metodunda da Türkiye'de tavuk eti üretim (ton) miktarının yıldan yıla artış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Türkiye tavuk eti üretiminin (ton) 2026 yılında yaklaşık 936615 ton, 2033 yılında ise yaklaşık 885833 ton olacağı bildirmiştir.

General Situation and Production Projection of Chicken Meat Production in Türkiye

Research Article

Article History:
Received: 16.12.2024
Accepted: 16.03.2025
Published online:16.06.2025

Keywords:
Chicken meat
Time series analysis
Years
Projection

ABSTRACT

This study aims to reveal the general status of the chicken meat production (tonnes) sector in Türkiye and to make a production estimate for the next ten years. The dataset in the study was obtained from the chicken meat production (tonnes) amount according to the years in the statistical tables between 2001-2023 published by the Turkish Statistical Institute (TUIK, 2024), and the Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) model and Double Exponential Smoothing method analyses were performed from time series analyses. As a result of the analyses, it was determined that the chicken meat production (tonnes) amount in Türkiye tended to increase from year to year in the most appropriate model Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA; 1,1,1) and Double Exponential Smoothing method. It was also reported that Türkiye's chicken meat production (tonnes) would be approximately 936615 tons in 2026 and approximately 885833 tons in 2033.

To Cite: Gök İ., Şahin M. General Situation and Production Projection of Chicken Meat Production in Türkiye. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1120-1128.

1. Introduction

In our age, poultry farming has an important place in the industry and still continues to develop. The chicken sector in Türkiye is one of the sectors that is growing steadily, significantly increasing its exports, contributing to agriculture and providing significant added value to the economy with its

structure that provides intensive employment. While it started as a family business in the 1970s, it continues to develop to this day with the transition to the contract production model in the 1980s and investment supports in the 1990s (Çobanoğlu et al., 2003).

Both the increase in nutrition-related diseases such as cardiovascular diseases and obesity and the fact that poultry meat prices are lower than red meat have increased the demand for poultry meat, and in addition, all essential amino acids known to be necessary for human nutrition in terms of protein quality are provided in sufficient and appropriate amounts. Therefore, poultry meat is important in Türkiye, as in the rest of the world (Civaner, 2007; Özer, 2008).

When it comes to poultry meat in Türkiye, broiler chickens have the most important place (Altınel, 1995). The number of broiler chickens and slaughtered poultry in Türkiye have increased significantly over the years; The number of slaughtered broiler chickens, which was 370 million in 2001, reached 1027 billion in 2023, with an increase of approximately 242.46 % (TUIK, 2024).

There are many technical and economic studies examining broiler chicken production in the world and in Türkiye (Lucy, 1990; Kelley, 1994; Gordon, 1997; Ertürk, 2001; Çiçek and Tandoğan, 2007; Tandoğan, 2014; Bars et al., 2018; Kozaklı et al., 2021). Keskin and Demirbaş (2012) emphasized that Türkiye has developed at a pace that can compete with the USA in broiler chicken production. The chicken meat sector in Türkiye has made significant progress over the years and has become one of the trade areas with a large share in the country's economy. For this reason, it has been stated that econometric analyzes should be conducted to better understand the production, consumption and marketing structure in the chicken meat sector (Dagdemir et al., 2004; Aşkan and Dağdemir, 2017).

This research examines the general status of the chicken meat production (tonnes) sector in Türkiye and future production estimates. Chicken meat production data in Türkiye between 2001-2023 were analyzed using Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) model and Double Exponential Smoothing methods. The most important external dependency in the sector stems from feed costs, and therefore it is emphasized that domestic feed production should be increased. The research provides data that will guide decision makers for the sustainability of the sector and is important to use in future production planning.

2. Material and Methods

The data set in this research was obtained from the amount of chicken meat production (tonnes) according to the years in the statistical tables between 2001-2023 published by the Turkish Statistical Institute (TUIK, 2024). In the research, in order to reveal the general situation of the chicken meat production sector in Türkiye and to find the production estimate for the next ten years, the analysis was carried out with the help of Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) model and Double Exponential Smoothing method from time series analysis.

Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) model and Double Exponential Smoothing method; The most well-known stationarity analysis of the models are Box-Jenkins models. The model

applied to the series that are not initially stationary but are stationary as a result of the difference process are called Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) models. This technique is used in modeling dynamic systems and discrete time series.

Mathematically, a typical Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA; p, d, q) model can be expressed as follows.

$$y_t = c_t + \sum_{i=1}^{p} \emptyset_m y_{t-i} + \sum_{j=1}^{q} \emptyset_n e_{t-j} \quad (1)$$

Here, p is the order of the model's autoregression (AR) and the number of lags of the differenced series. d is the order of the difference (I) to make the model stationary. q is the order of the model's moving average (MA) and the number of lags of the estimation errors (Zhang, 2003).

The Double Exponential Smoothing method mathematically corrects past data and gives high weight to the latest observation value in the data set and decreasing weight to the previous observation values. The Double Exponential Smoothing method is used for series with a certain trend. This correction method;

$$St = \alpha yt + (1 - \alpha)(St{-}1 + bt{-}1) \qquad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (2)$$

$$bt = \gamma(St - St{-}1) + (1 - \gamma)bt{-}1 \qquad 0 \leq \gamma \leq 1 \quad (3)$$

It can be formulated as (Yereli et al., 2012).

In this research, firstly;

H_0: The established model is not a suitable model.

H_1: The established model is a suitable model.

hypotheses were determined and the model was established as follows.

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 y_{t-1} + \beta_2 a_{t-1} \quad (4)$$

3. Result and Discussion

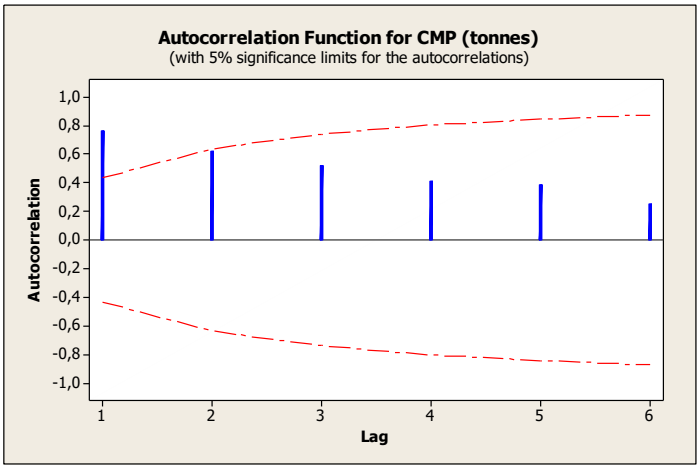
In this study, a 23-year (2001-2023) series of chicken meat production was considered and the most appropriate model for the series was tried to be determined. In the first stage, whether the data showed a normal distribution was determined with the Ryan-Joiner test, and the stationarity analysis of the series was performed using the Augmented Dickey Fuller (ADF) unit root test. This test shows that the series is stationary if the obtained Augmented Dickey Fuller (ADF) unit root test t statistic value is smaller than the MacKinnon critical values at the determined significance level (Saatcioğlu and Karaca, 2004). In this context, the Augmented Dickey Fuller (ADF) unit root test results of the series are given in Table 1; it is seen that the series is not stationary at the level. In the series where the first difference is taken, the Augmented Dickey Fuller (ADF) unit root t statistic value (5.108010) is smaller than the critical-t values at the 1%, 5% and 10% levels, indicating that the series is stationary.

Table 1. Augmented Dickey Fuller (ADF) unit root test results.

	Level Equality		First Difference	
	t- statistics	**Probability**	**t- statistics**	**Probability**
ADF t- statistics	-1.119273	0.6891	-5.108010	0.0005
1% at the level	-3.769597		-3.788030	
5% at the level	-3.004861		-3.012363	
10% at the level	-2.642242		-2.646119	

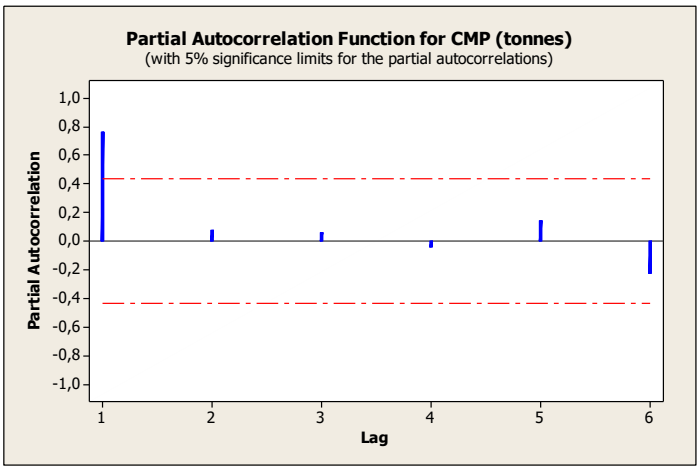
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

Since the Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) model is applied to stationary series; the stationarity of the series was evaluated in the second stage. When the Autoregressive Correlation Function (ACF) and Partial Autoregressive Correlation Function (PACF) graphs were examined, it was seen that the series was not stationary. (Figure 1). The difference taking process was applied to make the series stationary and the Autoregressive Correlation Function (ACF) and Partial Autoregressive Correlation Function (PACF) graphs of chicken meat production whose first difference was taken are given in Figure 2. When these graphs were examined it was concluded that the series became stationary since there was no data exceeding the confidence interval. Figure 2,3,4 and Table 2, 3 are shown below.



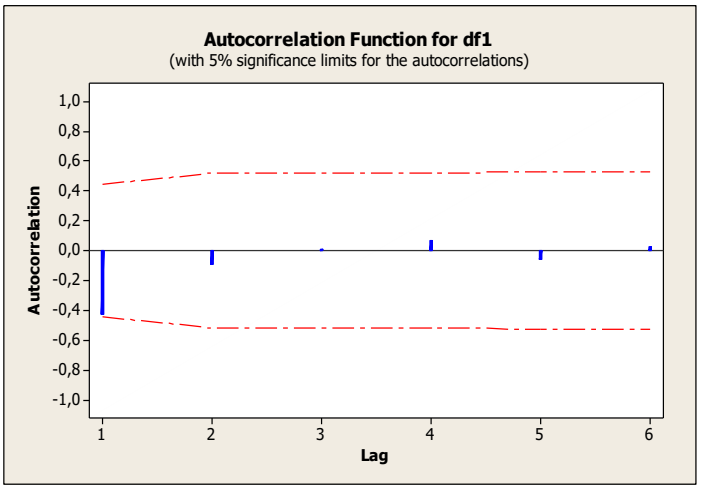
CMP: Chicken meat production (tonnes)

Figure 1. Autoregressive Correlation Function (ACF) graph of chicken meat production (tonnes).



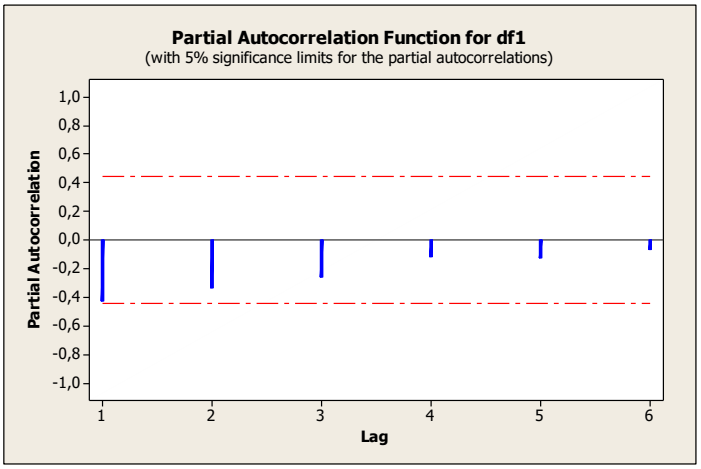
CMP: Chicken meat production (tonnes)

Figure 2. Partial Autoregressive Correlation Function (PACF) graph of chicken meat production (tonnes).



CMP: Chicken meat production (tonnes)

Figure 3. Autoregressive Correlation Function (ACF) graph of chicken meat production (tonnes) with the first difference taken.



CMP: Chicken meat production (tonnes)

Figure 4. Partial Autoregressive Correlation Function (PACF) graph of chicken meat production (tonnes) with the first difference taken.

Table 2. Coefficients related to the result of the Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA;1,1,1) model of chicken meat production (tonnes).

Model	Coefficient	Standard Error	t-value	P-value
AR1	-0.3028	0.2627	-1.15	0.026
MA1	0.9359	0.2145	4.36	0.000
Constant	-2539	201	1.26	0.022

In the model determination phase; Autoregressive Correlation Function (ACF) and Partial Autoregressive Correlation Function (PACF) graphs belonging to chicken meat production were examined. It is seen that the relationships in Autoregressive Correlation Function (ACF) and Partial Autoregressive Correlation Function (PACF) graphs gradually decrease as the number of lags increases. This situation shows that the appropriate model is the Autoregressive moving average model. Since the first lags are important in Autoregressive Correlation Function (ACF) and Partial Autoregressive Correlation Function (PACF) graphs and the first difference of the series is taken; it was concluded that

the p, d, q parameters belonging to the Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) model are (1,1,1) and according to the estimation results, the obtained model is;

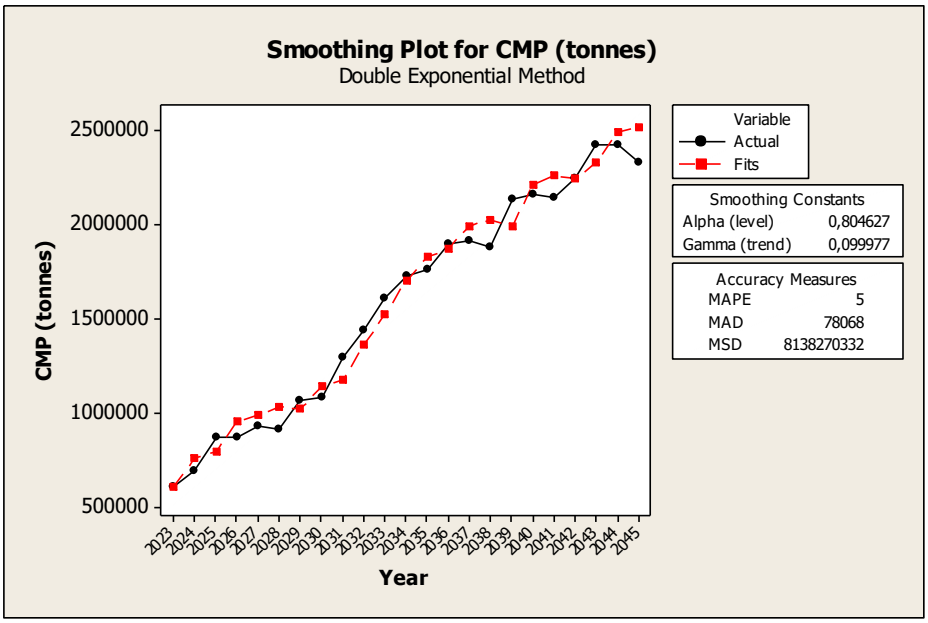
$$y_t = -2539 - 0.3028y_{t-1} + 0.9359a_{t-1} \quad (5)$$

The 10-year forecast of the Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA; 1,1,1) model for Türkiye's chicken meat production is given in Table 3. According to Table 3, 936615 tonnes of chicken meat is expected to be produced in 2026. Thus, an average increase in Türkiye's chicken meat production is predicted over the years between 2025 and 2033.

Table 3. Values for chicken meat production (tonnes) estimation are Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA; 1,1,1)

Years	Estimation (tonnes)	95% Confidence Lower Limit (tonnes)	95% Confidence Upper Limit (tonnes)
2025	1706155	1606155	1806155
2026	936615	926615	946615
2027	1310644	1210644	1410644
2028	477175	467175	487175
2029	1079604	979604	1179604
2030	117145	107145	127145
2031	972391	962391	982391
2032	71626	70626	72626
2033	885833	875833	895833

In addition, when making predictions with the double exponential smoothing method first, the Ryan-Joiner test was applied to the 23-year (2001-2023) series of chicken meat production and it was determined that the data followed a normal distribution. In the next stage, the double exponential smoothing method was applied to this normally distributed series. It is seen that the estimated values obtained tend to increase (Figure 5).



CMP: Chicken meat production (tonnes)

Figure 5. Double Exponential Smoothing method chicken meat production (tonnes) estimates by year.

As can be seen here, although chicken meat (tonnes) production in Türkiye tends to fluctuate over the years, the result may vary across different studies. Therefore, it is extremely important to add equations as much as possible to obtain a reliable parameter. On the other hand, it is important that chicken meat (tonnes) produced in Türkiye by year are easily interpretable and meaningful values for both producers and consumers. Since ignoring the problems that occurred in the past data set in determining the method will cause incorrect interpretations and choices, it will be statistically more accurate to create and consider the appropriate model by taking the differences of the data set.

4. Conclusion

It is known that per capita chicken meat consumption and exports have tended to increase over the years. Today, Türkiye has an increasing trend in chicken meat production and thus provides an advantage to potential export markets.

In addition, the increasing population from year to year shows that chicken meat consumption will increase. Considering these factors, it is very important to make future predictions in order to guide the decision makers in the sector and make production planning.

Predicting the developments in the chicken meat industry through scientifically based research is an opportunity that facilitates decision-making by relevant people and institutions. In this respect, there is a need to create a healthy database and then to make future predictions using appropriate time series analysis models.

In this study, Türkiye's 10-year chicken meat production amount was estimated for the 2023-2033 period by using Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) model and Double Exponential Smoothing method from time series analyses. In the most appropriate model Auto-Regressive Integrated

Moving Average (ARIMA; 1,1,1) model and Double Exponential Smoothing method, it was determined that the amount of chicken meat production in Türkiye tends to increase from year to year. In addition, it was determined by the analysis that Türkiye's chicken meat production will be approximately 1706155 tonnes in 2026 and approximately 936615 tonnes in 2033.

In the data set obtained from the amount of chicken meat production according to years in the statistical tables between 2001 and 2023, published by the Turkish Statistical Institute (TUIK), One of the most important factors affecting chicken meat production is feed cost. In this context, considering the significant dependence on foreign sources in the feed industry; supports (premium, diesel oil and fertilizer, etc.) to increase the domestic production of feed raw materials, especially soybean and corn; It is important for the sustainability of the sector. Additionally, attention should be paid to general cost increases and population changes due to the economic crises that occurred in Türkiye.

Conflict of Interest

The authors declare that have no competing interest.

Consent for Publication

Authors declare that they have contributed equally (50%) to the article

References

Altınel A. Etlik piliç üretiminin temel ilkeleri ve verimliliğin değerlendirilmesi. VI. Hayvancılık ve Beslenme Sempozyumu, Tavuk Yetiştiriciliği ve Hastalıkları, Bildiriler Kitabı, Selçuk Üniversitesi Veteriner Fakültesi Yayın Ünitesi, 1995, Konya, 91-98.

Aşkan E., Dağdemir V. Türkiye broiler (etlik piliç) sektörünün durumu ve sektörün trend analizi. III. IBANESS Kongreler Serisi, 04-05 Mart 2017, Edirne, 1457-1465.

Bars T., Uçum İ., Akbay C. ARIMA modeli ile Türkiye fındık üretim projeksiyonu. KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi 2018; 21(Özel Seri): 154-160.

Civaner EÇ. Kanatlı etleri. İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi, Ankara, 2007.

Çiçek H., Tandoğan M. Türkiye'de piliç eti fiyatları ve etkili faktörler. Tavukçuluk Araştırma Dergisi 2007; 7(1): 52-57.

Çobanoğlu F., Konak K., Bozkurt M. Türkiye etlik piliç sektörünün mevcut durumu ve Dünya genelindeki gelişmeler. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2003; 16(2): 127-133.

Dagdemir V., Demir O., Keskin A. Estimation of supply and demand models for chicken meat in Turkey. Journal of Applied Animal Research 2004; 25: 45-48.

Ertürk YE. Ankara ili Kızılcahamam ilçesinde Köy-Tür'e bağlı olarak faaliyet gösteren broiler işletmelerinin ekonomik analizi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, ss. 85, Ankara, Türkiye, 2000.

Gordon AD. The dynamics of World Poultry Markets, opportunities and added value opportunities. NOVUS Istanbul 1997. GIRA Strategic Market Research Company, 1997.

Kelley CR. All sides should know pitfalls of agricultural contracting. Feedstuffs 1994; 66(23): 19-21.

Keskin B., Demirbaş N. Türkiye'de kanatlı eti sektöründe ortaya çıkan gelişmeler: Sorunlar ve öneriler. U.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi 2012; 26(1): 117-130.

Kozaklı Ö., Mert M., Fırat MZ. Türkiye etlik piliç üretiminin zaman serisi yöntemi ile modellenmesi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakülte Dergisi 2021; 58(4): 557-567.

MacKinnon JG. One-sided p-values. Journal of Biopharmaceutical Statistics, 1996; 6(2): 211-220.

Lucy MP. Management of large broiler farms. The University of Georgia College of Agricultural and Environmental Sciences, Cooperative Extension Service, Leaflet 419/June, 1990.

Özer Ö. Farklı antioksidan ilavesinin dondurularak muhafaza edilen mekanik ayrılmış piliç eti köftelerinin bazı kalite özellikleri üzerine etkisi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, ss. 54, Konya, Türkiye, 2008.

Saatcioğlu C., Karaca O. Döviz kuru belirsizliğinin ihracata etkisi: Türkiye örneği. Doğuş Üniversitesi Dergisi 2004; 5(2): 183-195.

Tandoğan M. Balıkesir, Bolu ve Sakarya illerinde etlik piliç yetiştiriciliğinin ekonomik ve ekonometrik analizi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, ss. 115, Afyon, Türkiye, 2014.

TÜİK. http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id = 1047, 2023 (Erişim Tarihi: 22.02.2024).

Yereli AB., Selçuk IŞ., Köktaş AM. Kırgızistan'ın enerji tüketim projeksiyonu. Prof. Dr. Cusup Pirimbayev'in 60. Yaşına Armağan 2015, KTMU Ekonomi Bölümü, Bishkek, 330-343.

Zhang GP. Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. Neurocomputing 2003; (50): 159-175.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1129-1145, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1129-1145, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

1-(1-(4-hidroksibütil)-6-metil-4-fenil-2-tioksoheksahidropirimidin-5-il)etan-1-on bileşiğinin Moleküler Doking, ADME Analiz ve DFT Yöntemi ile Teorik Hesaplamalar

Efdal ÇİMEN[1*], Kenan GÖREN[2], Veysel TAHİROĞLU[3], Ümit YILDIKO[4]

[1]Kafkas University, Kars Vocational School, Chemistry and Chemical Processing Technologies, 36100, Kars
[2]Kafkas University, Faculty of Art and Sciences, Department of Chemistry, 36100, Kars
[3]Sirnak University, Health Sciences Faculty, Nursing Department, 7300, Şırnak
[4]Kafkas University, Department of Bioengineering, 36100, Kars

[1]https://orcid.org/0000-0003-2461-5870
[2]https://orcid.org/0000-0001-5068-1762
[3]https://orcid.org/0000-0003-3516-5561
[4]https://orcid.org/0000-0001-8627-9038
*Sorumlu yazar: efdalcimen@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 06.10.2024
Kabul tarihi: 15.03.2025
Online Yayınlanma:16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
DFT
Moleküler doking
MEP
ADME
NBO

ÖZ

Gaussian 09W yazılımı kullanılarak, 1-(1-(4-hidroksibutil)-6-metil-4-fenil-2-tioksohekzahidropirimidin-5-il)etan-1-one (HMEP) bileşiğinin teorik olarak ideal moleküler yapısı incelenmiştir. Bileşiğin moleküler yapısı ve kimyasal reaktivitesi incelemek için, Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi (DFT) kullanılarak hesaplandı. Kuantum kimyasal hesaplamalar, DFT(B3LYP/6-311G(d,p), DFT(B3LYP/LANL2DZ) metot ve temel setler kullanılarak yapıldı. HMEP molekülünün reaktif alanlarını belirlemek amacıyla moleküler elektrostatik potansiyel (MEP) haritaları oluşturuldu. Moleküler yük aktarımı için HOMO ve LUMO analizleri yapıldı. Molekülün stabilitesi, NBO analizi kullanılarak yük delokalizasyonu ve hiperkonjugatif etkileşimin bir fonksiyonu olarak incelenmiştir. Moleküler optimizasyon her iki yaklaşımda da aynı metot ve temel setlerle gerçekleştirildi. Çalışmanın devamında HMEP molekülünün moleküler analizi yapıldı. Emilim, dağılım ve metabolizma için uygun değerleri gösteren bileşiklerin ADME profilini tahmin etmek için SwissADME araçları kullanıldı. Bu araştırmanın sonuçları güvenli ve etkili bir farmakolojik ilaç üreten endüstride faydalı olabileceğini göstermektedir.

The Theoretical Calculations by DFT Method and Analysis ADME, Molecular Docking of 1-(1-(4-hydroxybutyl)-6-methyl-4-phenyl-2-thioxohexahydropyrimidin-5-yl)ethan-1-one (pyrimidine-thiones) Compound

Research Article

Article History:
Received: 06.10.2024
Accepted: 15.03.2025
Published online:16.06.2025

Keywords:
DFT
Moleküler docking
MEP
ADME
NBO

ABSTRACT

Using Gaussian 09W software, the theoretically ideal molecular structure of 1-(1-(4-hydroxybutyl)-6-methyl-4-phenyl-2-thioxohexahydropyrimidin-5-yl)ethan-1-one (HMEP) compound was investigated. We investigated the compound's chemical reactivity and molecular structure using Density Functional Theory (DFT). Quantum chemical calculations were calculated using DFT(B3LYP/6-311G(d,p) and DFT(B3LYP/LANL2DZ) methods and basis sets. The reactive sites of the HMEP molecule were determined by creating molecular electrostatic potential (MEP) maps. In order to investigate molecular charge transfer, HOMO and LUMO analyses were done. By the use of NBO analysis, the stability of the molecule was examined in relation to charge hyperconjugative and delocalization interactions. In both cases, the same methodology and basis sets were used for molecular optimization. In continuation of the study, molecular analysis of the HMEP molecule was performed. SwissADME tools were used to predict the ADME profile of compounds showing appropriate values for absorption, distribution and

metabolism. The results of this research indicate that it can be useful in the industry producing safe and effective pharmaceutical drugs.

To Cite: Çimen E., Gören K., Tahiroğlu V., Yıldıko Ü. The Theoretical Calculations by DFT Method and Analysis ADME, Molecular Docking of 1-(1-(4-hydroxybutyl)-6-methyl-4-phenyl-2-thioxohexahydropyrimidin-5-yl)ethan-1-one (pyrimidine-thiones) Compound. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1129-1145.

1. Introduction

The many biological characteristics of pyrimidine-containing substances are well-known. Alloxan, a pyrimidine derivative, was initially isolated by Brugnatelli in 1818, and it was later discovered that this chemical has antineoplastic qualities. Pyrimidine base nucleosides have been widely employed as antiviral and anticancer drugs. As of late, solid tumors and gastrointestinal cancer have been treated using combination therapies based on fluoropyrimidines and fluorouracil. It has been discovered that fluoropyrimidinones are metabolites of dihydropyrimidinones, which are α1a-adrenergic receptor antagonists with subtype selectivity. One of the most well-known structures in nucleic acid chemistry is the pyrimidine entity (Dinakaran et al. 2012). According to clinical trials, the majority of medications used in cancer chemotherapy don't work well enough due to their ineffectiveness, selectivity, or different side effects. A class of chemotherapeutic drugs known as pyrimidine-based small molecules includes 5-FU, capecitabine, decitabine, gemcitabine, raltitrexed, floxuridine, tegafur, and more (Mustafa et al. 2018). These anticancer drugs block the right targets, causing apoptosis as they move through the cell cycle. In addition, system nitrogen, oxygen, and sulfur heteroatoms also contain tiny compounds based on pyrimidines. Organosulfur compounds are parts of tiny molecules based on pyrimidines. Thio-analogs of ketones are significant scaffolds in this context among the organosulfur derivatives (both natural and synthetic), from the perspectives of chemistry, medicine, and industry. The majority of organosulfur derivatives have been reported in the literature to be possible inhibitors of a number of important enzymes, demonstrating the significance of these class molecules in medicinal chemistry (Gularte et al. 2019; Yu and Jiang, 2023).

In this study, the Gaussian 09W program was used to perform initial calculations for 1-(1-(4-hidroksibutil)-6-metil-4-fenil-2-tioksohekzahidropirimidin-5-il)etan-1-one (HMEP) (Taslimi et al. 2018) molecule, which is a pyrimidine derivative. Firstly, the HMEP molecule was drawn using the ChemBioDraw program. Molecular optimization and electronic properties were calculated using (B3LYP/6-311G(d,p)), (B3LYP/LANL2DZ) methods and basis sets. The molecule used complies with drug similarity rules and exhibits acceptable ADME properties. A Molecular docking study was used to compare this molecule with the title compound, a new drug candidate, and to analyze the docking mechanism.

2. Materials and Methods

For initial calculations in the Gaussian 09W program, HMEP molecules were drawn in ChemBioDraw. Then, HMEP molecules were minimized using the Chem3D program. After the molecules were minimized, Gaussian 09W was used to calculate HMEP structure. The molecule was optimized through the use of gas phase (B3LYP/6-311G(d,p)), (B3LYP/LANL2DZ) method and basis sets. Using a

Schrödinger, LLC model on the Maestro Molecular Modeling platform, the ligand's mechanism and the precise binding site over the protein were determined through the molecular docking process. ADME analysis of HMEP molecule was performed using the SwissADME (http://www.swissadme.ch) online database. We used the Origin 2019 64-bit program to compare the Mulliken charges of the molecule graphically.

3. Results and Discussion

3.1. Structure Details and Analysis

Due to their accuracy and efficiency, DFT calculations are currently considered the most widely used computational techniques (Abdullah et al. 2024; Tahiroğlu et al. 2024). The Gaussian 09W program was used for all quantum chemistry calculations in this research. The HMEP molecule, the hybrid correlation functional (B3LYP) with the 6-311(d,p) and LANL2DZ basis sets, was utilized to optimize the compound's geometry. Electrons close to the nucleus are considered to be approximate effective nuclear potentials (ECPs) in very massive nuclei. This atom's behavior is significantly influenced by relativistic effects (Alghamdi et al. 2023; Kartal et al. 2024). We used the best known basis set, LANL2DZ, for our calculations. Table 1 lists the molecule's ideal bond length parameters as established by the B3LYP method, and 6-(311G(d,p)/LANL2DZ) basis sets. This optimization provides the least amount of energy to the molecule. Without taking energy into account, a method is presented to produce a good initial estimate of the transition path between specific initial and final states of a system. In aromatic phenyl rings, bond angles and bond lengths fall in the usual ranges.

The C-C bond lengths are 1.54-1.7 Å for 6-311G(d,p) and 1.37-1.54 Å for LANL2DZ, with values ranging from 1.26 to 1.46 Å for C-O. The aromatic ring has C-H lengths of 1.086–1.088 Å. All C-C-C angles are between 119° and 121°. When atoms are selected as dihedral bonds in the Gaussian 09W program, some dihedral angles give negative results in angle degrees. These calculated numbers were valued according to the atoms' positions and locations in the bonds. The differences between the values of LanL2DZ and 6-311G(d,p) are extremely small.

3.2. Mulliken Atomic Charges

Partial atomic charges are a useful indicator for understanding molecular properties and the mechanisms underlying chemical reactions, as they can show how shifting the molecular geometry affects the flow of electronic charges within the molecule (Gören et al. 2024). In order to learn more about the effects of electron delocalization and π-conjugation on the electronic charges over the atoms in the studied compound. Molecular docking analysis was performed to learn more about the effects of electron delocalization and π-conjugation on the electronic charges on the atoms in the studied molecule. B3LYP method and (6-311G(d,p)/LANL2DZ) basis sets were utilized to calculate the Mulliken atom. The calculated Mulliken values have been presented in Table 2.

Table 1. The pyrimidine-thione molecule's bond lengths (Å) and bond angles (˚) calculated theoretically

Bond Lengths	B3LYP/ 6-311G	B3LYP/ LANL2DZ	Bond Lengths	B3LYP/ 6-311G	B3LYP/ LANL2DZ
C20-O21	1.46529	1.46535	C11-N12	1.36165	1.36122
C1-C2	1.41207	1.41236	C11-N10	1.40337	1.40242
C2-C3	1.40748	1.40720	C8-C9	1.37428	1.37398
C3-C4	1.40814	1.40805	C11-S22	1.71682	1.73774
C4-C5	1.40870	1.40829	C8-C13	1.48978	1.48956
C6-C1	1.41263	1.41242	C13-O14	1.26386	1.26393
C1-C7	1.54123	1.54153	C9-N10	1.42562	1.42610
C7-N12	1.47225	1.47194	C9-C16	1.51789	1.51790
C5-C16	1.40682	1.40685	C5-H26	1.08770	1.08771
C7-C8	1.53242	1.53264	C18-H37	1.09899	1.09901
C17-N10	1.49036	1.49036	C13-C15	1.52801	1.52768
C17-C18	1.54318	1.54306	C18-C19	1.54343	1.54330
C13-O14	1.26386	1.26393	C19-C20	1.52941	1.52930
C2-H23	1.08684	1.08684	C4-H25	1.08750	1.08753
C5-H26	1.08770	1.08771	C3-H24	1.08751	1.08755
Bond Angles	B3LYP/ 6-311G	B3LYP/ LANL2DZ	BondAngles	B3LYP/ 6-311G	B3LYP/ LANL2DZ
C1-C2-C3	120.51791	120.50639	C11-N10-C9	121.45220	115.38839
C3-C4-C5	119.52932	119.51762	C15-C13-O14	117.48352	117.48645
C1-C7-N12	112.34350	112.38371	C8-C13-O14	118.50779	118.49798
N10-C11-N12	115.34350	115.61795	N10-C11-S22	124.14110	124.23937
Planar Bond Angles		B3LYP/ LANL2DZ	Planar Bond Angles	B3LYP/ 6-311G	B3LYP/ LANL2DZ
C1-C2-C3-C4	-0.35882	-0.39674	C7-N12-C11-N10	-18.64753	-18.84226
C1-C7-C8-C9	103.68595	103.05891	C7-C8-C13-O14	-20.08705	-19.852272
C1-C7-N12-C11	-92.93011	-92.20051	C7-C8-C13-C15	154.54595	154.85508
C7-C8-C9-N10	-0.14948	-0.10764	C9-C8-C13-O14	158.36122	158.52735
C17-C18-C19-C20	-177.68734	-177.76847	C18-C19-C20-O21	-177.31779	-177.25439
C9-N10-C11-S22	170.095315	169.53244	C7-N12-C11-S22	162.69431	162.53115

The Mulliken atomic charge distribution shows that the oxygen atom attached to the aromatic ring has negative O14 (-0.233) and O21 (-0.472) charges for B3LYP/6-311G(d,p) and O14 (-0.233) and O21 (-0.485) charges for B3LYP/LANL2DZ, respectively. The positive charge is present in the H atom that is joined to the aromatic ring. It was observed that some atoms were negative, and some were positive. The Mulliken charges of some C atoms of the HMEP molecule calculated using the methods of the study were compared in graphical form in Figure 1. When we examined Figure 1, we observed that the Mulliken charges took similar values.

Table 2. Mulliken atomic charges of HMEP molecule

ATOMS	B3LYP/ 6-311G(d,p)	B3LYP/ LANL2DZ	ATOMS	B3LYP/ 6-311G(d,p)	B3LYP/ LANL2DZ
C1	0.441	0.469	H23	0.226	0.266
C2	-0.452	-0.422	H24	0.218	0.220
C3	-0.226	-0.218	H25	0.220	0.222
C4	-0.230	-0.234	H26	0.217	0.218
C5	-0.239	-0.227	H27	0.226	0.235
C6	-0.291	-0.364	H28	0.281	0.330
C7	-0.258	-0.309	H29	0.252	0.223
C8	-0.139	0.067	H30	0.238	0.249
C9	0.217	0.318	H31	0.186	0.225
C11	-0.335	-0.332	H32	0.239	0.237
C13	0.108	0.160	H33	0.229	0.262
C15	-0.714	-0.736	H34	0.247	0.231
C16	-0.745	-0.781	H35	0.224	0.206
C17	-0.421	-0.339	H36	0.230	0.256
C18	-0.327	-0.318	H37	0.113	0.200
C19	-0.339	-0.310	H38	0.236	0.176
C20	-0.323	-0.293	H39	0.193	0.191
N10	-0.088	-0.138	H40	0.193	0.209
N12	-0.233	-0.309	H41	0.185	0.182
O14	-0.233	-0.288	H42	0.184	0.174
O21	-0.472	-0.485	H43	0.343	0.347
S22	-0.172	-0.048	H44	0.194	0.273

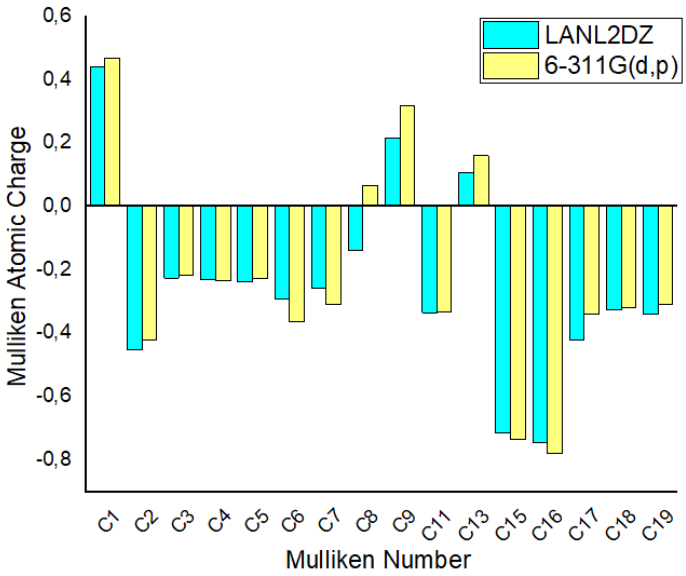


Figure 1. The HMEP molecule's Mulliken Atomic Charges

3.3. HOMO and LUMO Analysis

The DFT method offers useful insights into the molecule's structural characteristics. The location and energy of the molecule's HOMO-LUMO orbitals play a major role in reactivity, and electron exchange results in the involvement of active sites in reactions (Gören et al. 2024; Tahiroğlu and Çimen, 2024). Quantum chemical structures, including the ionization potential (IP) and energy gap (ΔE), were calculated using the energies of the highest occupied (E_{HOMO}) and lowest unoccupied (E_{LUMO}) molecular

orbitals. By estimating the band gap, the lowest unoccupied molecular orbital (LUMO), and the highest occupied molecular orbital (HOMO), one can determine the basic electronic parameters of the molecule (Tahiroğlu et al. 2024). The frontier orbitals are LUMO, which has enough space to take electrons and function as an electron acceptor, and HOMO, which can act as an electron donor. The densities of the HOMO and LUMO orbital representations for the HMEP molecule are displayed in Figures 2, 3.

As illustrates in Table 3, HOMO -5.7676 eV, LUMO -2.0294 eV were calculated to the 6-311G(d,p) basis set and HOMO -5.7742 eV, LUMO -2.0653 eV were calculated for the LANL2DZ basis sets. For the other orbitals; For B3LYP6-311G(d,p) method, HOMO-1 -5.9276 eV, LUMO+1 -0.6084 eV and for B3LYP/LANL2DZ method, HOMO-1 -5.7742 eV, LUMO+1 -0.6395 eV were calculated. Because characteristics like energy and molecular orbitals (HOMO-LUMO) are crucial for quantum chemistry and highly helpful to physicists and chemists. Frontier molecular orbital analysis defines an electron hit from HOMO to LUMO. Electron affinity and ionization potential are directly related to HOMO and LUMO energies, respectively. The potential charge transfer during interaction with molecules is described by the LUMO and HOMO energy gaps (Yildiko et al. 2021; Gören et al. 2024a). Molecules with soft expression, high chemical reactivity and low kinetic stability are associated with frontier orbital fields. The interactions of the molecule with other compounds are determined by the HOMO and LUMO orbitals. It also helps in characterizing the kinetic stability, chemical reactivity and band gap (Suvitha et al. 2015). A molecule with an orbital space has polarization, hardness, electronegativity and other reactivity indices indicated by a small boundary.

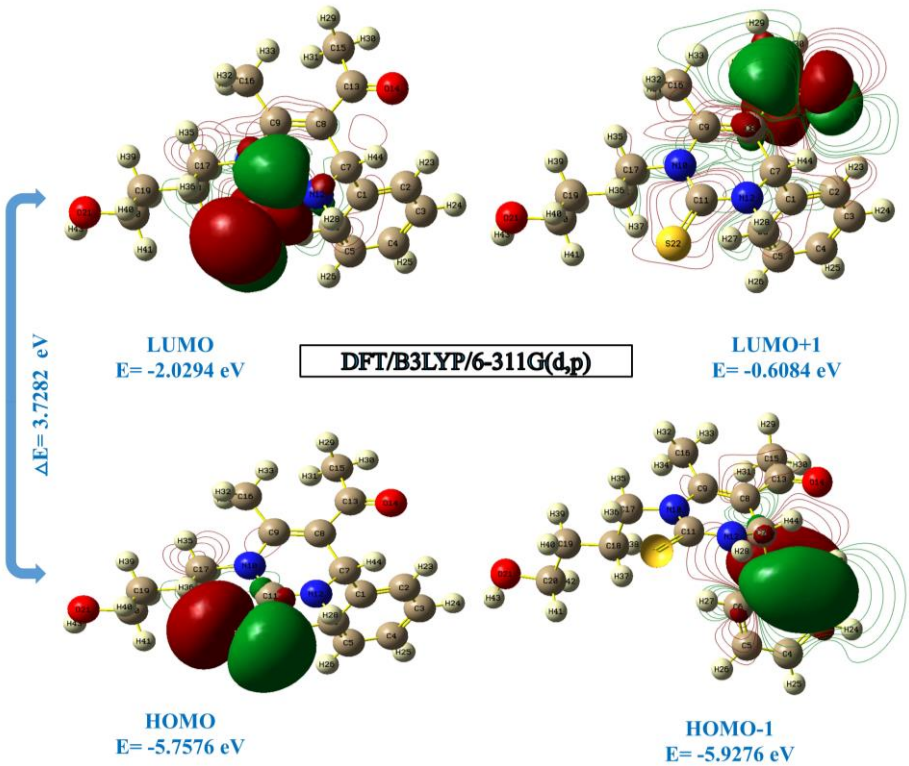


Figure 2. The boundaries molecular orbitals B3LYP/6-311G(d,p) method and basis set of the HMEP molecule

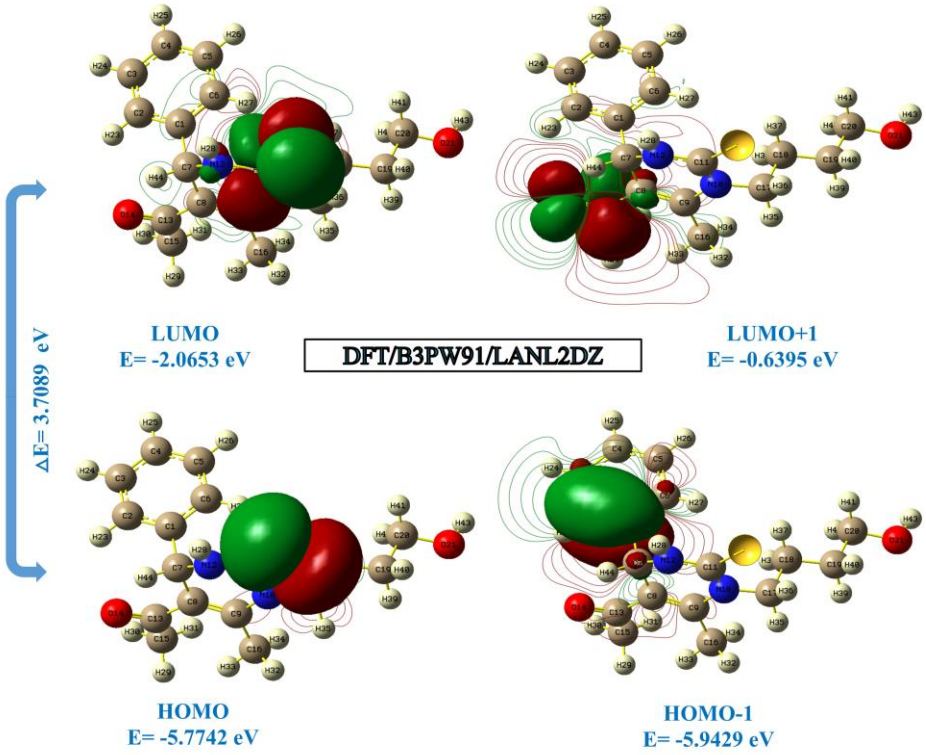


Figure 3. The boundaries molecular orbitals B3LYP/LANL2DZ method and basis set of the HMEP molecule

Table 3. Quantum chemical parameters (in eV) of the HMEP molecule calculated using the (B3LYP/6-311G(d,p)), (B3LYP/LANL2DZ) methods and basis sets

Molecules Energy		DFT/ B3LYP/ 6-311G(d,p)	DFT/B3LYP/ LANL2DZ
E_{LUMO}		-2.0294	-2.0653
E_{HOMO}		-5.7576	-5.7742
E_{LUMO+1}		-0.6084	-0.6395
E_{HOMO-1}		-5.9276	-5.9429
Energy Gap	$(\Delta E)\lvert E_{HOMO}-E_{LUMO}\rvert$	3.7282	3.7089
Ionization Potential	$(I=-E_{HOMO})$	5.7576	5.7742
Electron Affinity	$(A=-E_{LUMO})$	2.0294	2.0653
Chemical hardness	$(\eta=(I-A)/2)$	1.8641	1.8545
Chemical softness	$(s=1/2\eta)$	0.9321	0.9272
Chemical Potential	$(\mu=-(I+A)/2)$	-3.8935	-3.9198
Electronegativity	$(\chi=(1+A)/2)$	1.5147	1.5327
Electrophilicity index	$(\omega=\mu^2/2\eta)$	4.0661	4.1426

3.4. Molecular Electrostatic Potential (MEP)

It is a useful technique to look at molecular charge distributions and variable charge regions (Gören et al. 2024b). The MEP surface was drawn to the HMEP compound in Figure 4. MEP mapping of molecular electrostatic potential is a very important tool for studying various aspects of molecular structure (Gören and Yıldıko 2024). To comprehend hydrogen bonding interactions as well as electrophilic and nucleophilic reactions on organic molecules, MEP is frequently used as a reactivity map (Yildiko et al. 2021). Electrophilic attacks can target molecules with negative electrostatic potential. The electrostatic potential at the surface is represented by a range of colors from blue to red.

The MEP map of the HMEP molecule shows the red areas where the nitrogen atoms are negatively positioned. The relatively large region around the nitrogen atoms of the HMEP molecule is a dark red, highly negative potential region that allows electrophilic interaction. The strongest positive charge is found on the hydrogen atom (dark blue). The nearly neutral potential in the aromatic ring is given primarily with green tones.

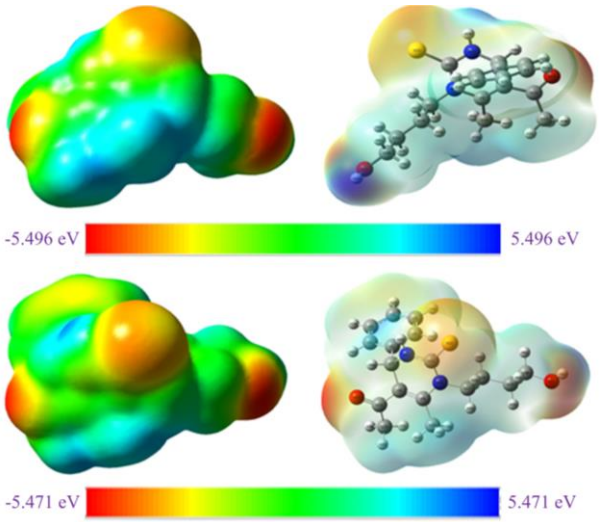


Figure 4. Molecular electrostatic potential surface of HMEP using (B3LYP/6-311G(d,p)), (B3LYP/LANL2DZ) methods and basis sets

3.5. Non-Linear Optical Properties (NLO)

The macroscopic non-local optical activity (NLO) of organic materials is determined by the density of individual organic chromophores, their non-centrosymmetric alignment, and their hyperpolarizability (Tahiroğlu et al. 2024). The nonlinear optical properties of the molecule were calculated using the (B3LYP/6-311G(d,p)), (B3LYP/LANL2DZ) methods and basis sets. The results have been shown in Table 4 in both atomic and electrostatic units. These characteristics included the average polarization α, polarization anisotropy αij, first-order hyperpolarization anisotropy βijk, dipole moment μi component, and total static dipole moment μ. With the 6-311G(d,p) basis set, μ=5.2054 D, α=-155.6472 a.u and β=2.76x10^{-30} esu and with the LANL2DZ basis set, μ=3.6526 D, α=-148.2117 a.u. and β=2.69x10^{-30} esu were calculated. The estimated values of α=-175.055 and -169.8000 a.u in the HMEP molecule can serve as evidence that the material is NLO.

$$\mu \left(\mu_x^2 + \mu_y^2 + \mu_z^2\right)^{1/2} \quad (1)$$

$$\beta_{Total} = (\beta^2 x + \beta^2 y + \beta^2 z)^{1/2} \quad (2)$$

$$= [(\beta xxx + \beta xyy + \beta xzz)^2 + (\beta yyy + \beta yxx + yzz)^2 + (\beta zzz + \beta zxx + \beta zyy)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Table 4. The HMEP molecule's polarizability (au), components, dipole moments (Debye), and total value calculated with (B3LYP/6-311G(d,p)), (B3LYP/LANL2DZ) methods and basis sets

Parameters	B3LYP/ 6-311G(d,p)	B3LYP/ LANL2DZ	Parameters	B3LYP/ 6-311G(d,p)	B3LYP/ LANL2DZ
μ_x	0.4891	-2.0382	β_{XXX}	-10.3898	-64.1882
μ_y	-0.0111	2.8296	β_{YYY}	-2.2931	67.2454
μ_z	-5.1823	-1.0857	β_{ZZZ}	-66.0113	-7.1371
$\mu_{(D)}$	5.2054	3.6526	β_{XYY}	44.1846	-38.1341
αxx	-155.6472	-148.2117	β_{XXY}	91.4034	-118.6383
α_{YY}	-125.0630	-135.5206	β_{XXZ}	-28.3008	-86.3614
αzz	145.7591	-133.6442	β_{XZZ}	-11.0703	21.3886
α_{XY}	0.1861	0.5273	β_{YZZ}	-2.4869	-6.9705
α_{XZ}	-9.2531	8.8203	β_{YYZ}	-46.5252	16.7187
α_{YZ}	-2.6903	-1.7928	β_{XYZ}	-23.1435	-15.1085
α (au)	175.055	-169.8000	β (esu)	$2.76x10^{-30}$	$2.69x10^{-30}$

3.6. NBO Analysis

Natural bond orbital (NBO) analysis is used to study charge transfer interactions within bonds (Bağlan et al. 2023b). NBO of HMEP compound was analyzed using B3LYP/6-311G(d,p) method and basis set. The components of the off-diagonal NBO Fock matrix F(ij) are computed utilizing the interaction energy. You can use the second-order perturbation method to calculate it (Yildiko and Tanriverdi, 2021). NBO analysis reveals that a single Lewis formula-corresponding stable molecular species can be fully represented by a chemical bond by using monocentric lone pairs and eccentric bonds. Valence antibonds (BD) can be observed as non-Lewis structures, non-empty valence bonds (LP) and extra valence shell Rydberg (RY*) orbitals. The occupancy of these Lewis-type NBOs (lone pairs and bonds) can be used to determine the absence of Lewis-type NBOs expressing the density matrix. The analyzed results have been given in Table 5. Intramolecular interactions are observed as an increase in the electron density (ED) in the antibond orbitals, which weakens the corresponding bonds (C-O). The occupancy of σ bonds is higher than that of σ* bonds, allowing for greater localization. The intramolecular hyperconjugative interaction of the distribution of π(C2-C3) electrons in the ring, Table 5 shows how the intermolecular hype-conjugative interaction is propagated by (C5-C6) to σ*(C6-C8), leading to a stabilization of 12.39 KJ/mol. The electron donation from π*(C13-O14) to the antibonding acceptor from π(C8-C9) is the highest and most significant energy of the molecule having a stabilization energy of 18.02 KJ/mol. These values increased conjugation leading to strong localization.

Table 5. The HMEP molecule's selected NBO results calculated using the basis set and 6-311G(d,p) basis set

NBO(i)	Type	Occupancies	NBO(j)	Type	Occupancies	E(2)[a] (Kcal/mol)	E (j)-E(i)[b] (a.u.)	F (i, j)[c] (a.u)
C1-C2	π	1.81487	C3-C4	π*	1.82516	11.43	0.31	0.053
C1-C6	σ	1.96937	C2-H23	σ*	1.97771	4.17	1.13	0.061
C1-C7	σ	1.96436	C2-C3	σ*	1.97308	3.55	1.01	0.054
C2-C3	σ	1.97308	C1-C7	σ*	1.96426	7.19	0.97	0.075
C2-H23	σ	1.97771	C1-C6	σ*	1.96937	7.69	0.92	0.077
C3-C4	π	1.82516	C1-C2	π *	1.81487	11.43	0.31	0.054
C3-H24	σ	1.97779	C4-C5	σ*	1.97765	6.50	0.92	0.069
C4-C5	σ	1.97765	C3-H24	σ*	1.97779	4.20	1.14	0.062
C4-H25	σ	1.97781	C2-C3	σ*	1.97308	6.72	0.91	0.070
C5-C6	π	1.80692	C1-C2	π*	1.81487	12.39	0.31	0.055
C5-H26	σ	1.97794	C1-C6	σ*	1.96937	6.90	0.91	0.071
C6-H27	σ	1.97742	C4-C5	σ*	1.97765	6.32	0.91	0.068
C7-C8	σ	1.96697	C9-C16	σ*	1.97352	5.54	0.95	0.065
C7-N12	σ	1.97668	C11-S22	σ*	1.97370	3.80	0.84	0.053
C7-H44	σ	1.90298	C8-C9	σ*	1.97466	13.25	0.49	0.073
C8-C9	π	1.85950	C13-O14	π*	1.96864	18.02	0.29	0.065
C8-C13	σ	1.96762	C9-N10	σ*	1.97012	7.31	0.92	0.074
C9-N10	σ	1.97012	C8-C13	σ*	1.96762	4.05	1.11	0.060
C9-C16	σ	1.97352	C7-C8	σ*	1.96697	6.76	1.00	0.074
N10-C11	σ	1.97767	C9-C16	σ*	1.97352	3.50	1.08	0.055
N10-C17	σ	1.97081	C11-N12	σ*	1.98008	4.41	1.01	0.060
C11-N12	σ	1.98008	C1-C7	σ*	1.96426	4.13	1.14	0.062
C11-S22	π	1.96776	C11-S22	σ*	1.97370	5.23	1.04	0.067
N12-H28	σ	1.96467	C11-S22	σ*	1.93370	1.92	1.26	0.044
C13-O14	π	1.96864	C8-C9	π*	1.85950	6.17	0.39	0.046
C15-H29	σ	1.69799	C8-C13	σ*	1.96762	4.31	0.87	0.055
C17-H36	σ	1.98281	C18-H38	σ*	1.97593	3.17	1.07	0.052
C20-H42	σ	1.98782	C19-H40	σ*	1.97899	3.12	1.04	0.051

3.7. Molecular Docking Studies

Molecular docking technique is in silico method utilized to identify the mutual effect between proteins and ligands (Bağlan et al. 2023a; Yildiko and Tanriverdi 2022). The protein crystal structures of the enzymes required for the docking analysis of the HMEP compound (PDB:3OG7 and PDB:3WIG) were taken from the Protein Data Bank (http://www.rcsb.org). In the docking analysis, the docking scores of the HMEP compound were calculated as -7.10 cal/mol for PDB:3OG7 and -6.90 cal/mol for PDB:3WIG and these values have been shown in Table 6. the HMEP molecule and the ligands' interactions' visualized findings of and 2D, 3D images have been given in Figures 5 and 6.

Table 6. HMEP molecule's docking score PDB: 3OG7 and PDB: 3WİG

Compound	Docking Score	
	(PDB: 3OG7)	(PDB: 3WİG)
HMEP	-7.40	-6.90

For 3OG7 enzyme is hydrogen bonded to benzene alkyl ASP:209 (6.84 Å), and ASP-209 (5.12 Å) by conventional hydrogen bonds. Pi-alkyl VAL-83 (5.71 Å) is bound to LEU-75 (5.90 Å), LEU-198 (5.04

Å), ALA-96 (6.83 Å), negative donor-donor is bound to HIS-146 (3.18 Å), MET-147 (4.59). GLY-78, GLY-150, VAL-82, SER-195, GLY-76, LEU-198, and LEU-75 are Van Der Waals bonds.

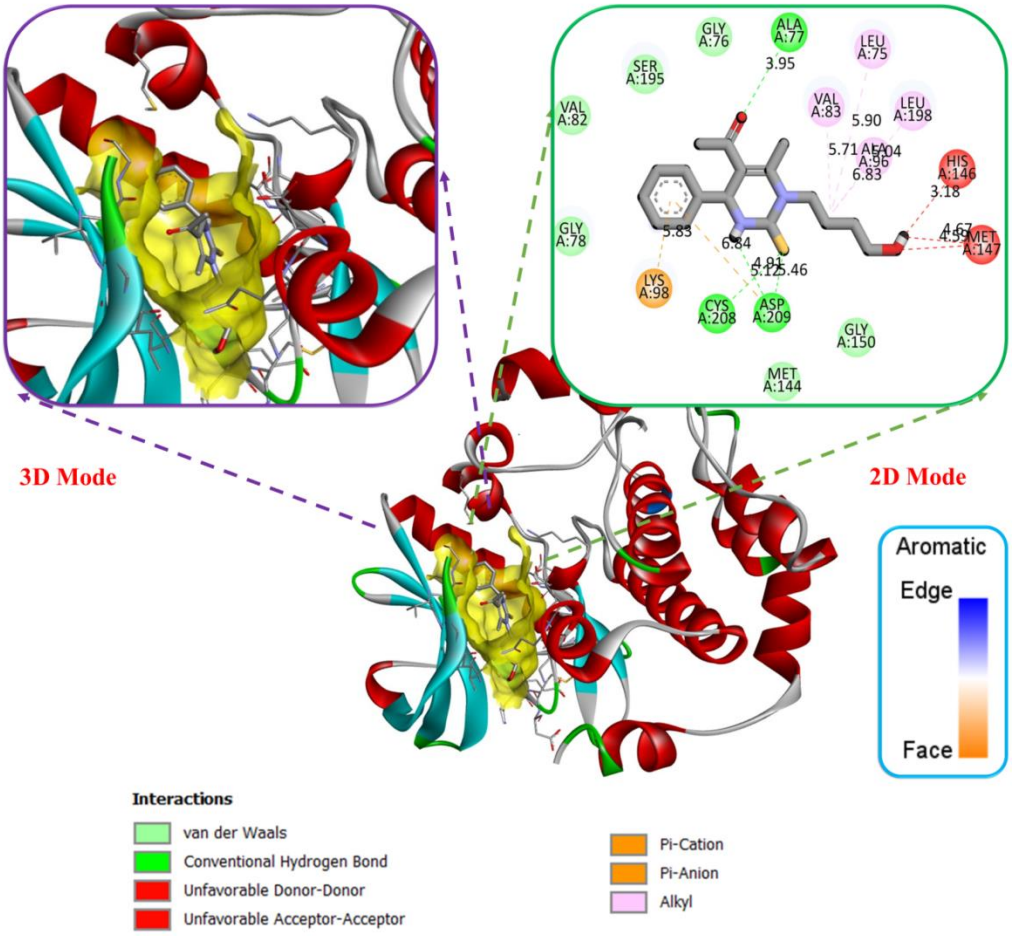


Figure 5. The interaction's 3D and 2D representation between 3OG7 enzym and HMEP compound

For 3WİG enzyme is hydrogen bonded to the HMEP molecule of SER-213 (3.86 Å), VAL-212 (4.18 Å), and PHE-210 (3.20 Å), conventional hydrogen bonds for 3OG7. Pi-alkyl bonds to ILE-142 (5.35 Å), LYS-98 (5.50 Å), and benzene alkyl ARG-190 (6.42 Å). ASN-222, MET-220, ASN-196, LEU-119, LEU-116, LEU-216, and GLY-211 are van der Waals bonds.

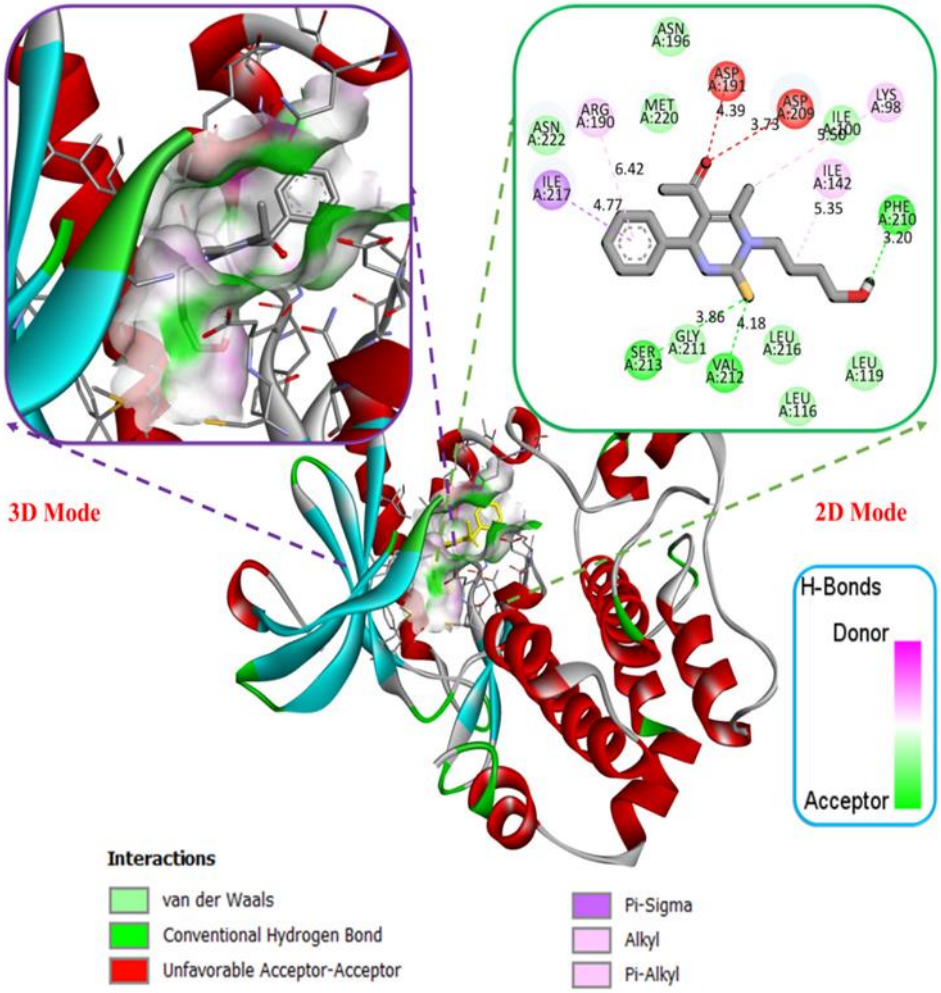


Figure 6. The interaction's 3D and 2D representation between 3WİG enzym and HMEP compound

3.8. ADME Analysis

The extent of the ADME process is significantly influenced by the structural and physicochemical properties of the drug, including its shape, lipophilicity, solubility, dissociation constant, protein binding, hydrogen bonding, and molar fractionation (Bağlan et al. 2023). Lipophilicity is an important factor that defines the efficacy of a drug candidate and can have a major impact on its pharmacokinetic properties. Numerous studies have clarified the relationship between lipophilicity and pharmacokinetic properties (Kassel, 2004; Bağlan et al. 2022). Due to the lipid-based nature of biological targets, there is an increasing need to develop highly lipophilic drugs to achieve the required levels of drug efficacy and selectivity (Khodja et al. 2020). Drug development must take oral bioavailability into account (Bağlan et al. 2022). Lipinski's Rule of Five provides information on oral bioavailability and drug similarity by evaluating molecular weight, partition coefficient (logP), hydrogen bond acceptors, and donors (Chen et al. 2020). Veber extended this rule by adding variables for drug bioavailability such as topological polar surface area (TPSA) and number of rotatable bonds (nRB). The biological and chemoinformatic properties of this ligand molecule were investigated using the web-based server SwissADME (http://www.swissadme.ch/index.php). There are some criteria such as Lipinski's five criteria, Veber and Egan criteria to determine whether the compounds have a drug-like structure and

their activity in living organisms (Chagas et al. 2018). In this study, the compound' drug-like characteristics mentioned in the title were looked into utilizing Lipinski criteria. Lipinski's rule of five is an analysis method to calculate the drug-likeness of the compound and also to determine whether a chemical compound with a certain pharmacological or biological activity can be used as an active and orally active drug in humans (Nogara et al. 2015). Table 7 shows that it complies with the Lipinski requirements of MW 318.43 g/mol (<500), lipophilicity coefficient LogP 2.72 (≤5), H-acceptor 2 (≤5), H-donor 2 (<10) and Topological PSA 84.66 (<140). Figure 7 shows the physicochemical properties and color regions of the HMEP molecule. In the TPSA maps, polar regions are shown in red and non-polar regions are shown in gray. As a result, it is clear that the red colored patches become smaller and smaller as (1) and (2) change. The graphical representation of the HMEP molecule in the form of a boiled egg graph is visually depicted in Figure 8. Blood-Brain Barrier Penetration (BBB: 0956): Category 1: BBB+; Category 0: BBB-; The output value is the probability of being BBB+. Human Intestinal Absorption (0.341) Category 1: HIA+(HIA<30%); Category 0: HIA-(HIA<30%); The output value is the probability of being HIA+. Pgp-substrate (0.005): The output value is the probability of being Pgp-substrate.

Table 7. Physicochemical and lipophilicity of HMEP molecule

Code HMEP	Lipophilicity consensus log P	Physico-chemical properties								
		MW[a] g/mol	Heavy Atoms	Aromatic heavy atoms	Rot. bond	H-acceptor bond	H-donor bond	MR[b]	TPSA[c] (A^2)	% ABS[d]
	2,72	318.43	22	6	6	2	2	99.57	84.66	79.79

[a]**MW**, molecular weight; [c]**TPSA**, topological polar surface area; [b]**MR**, molar refractivity; [d]**ABS%:** absorption percent $ABS\% = 109 - [0.345 \times TPSA]$.

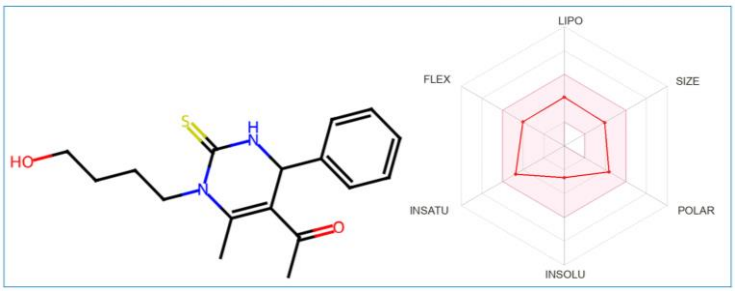


Figure 7. Color regions and physicochemical parameters of the HMEP molecule

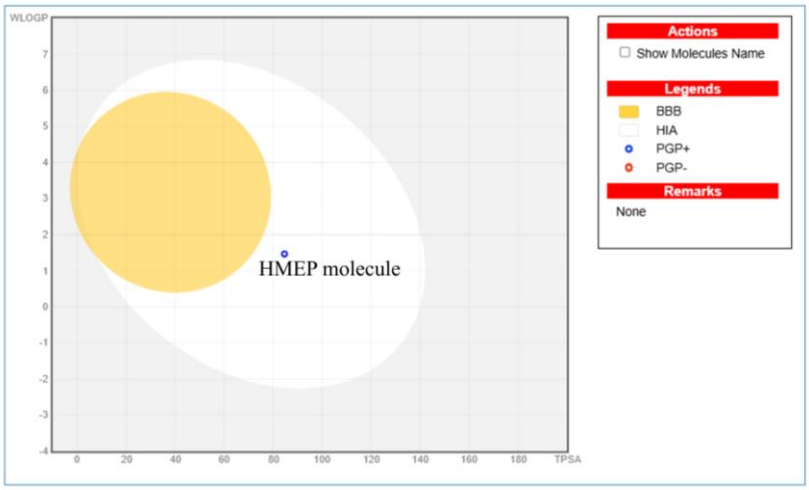


Figure 8. Boiled graph representations of HMEP molecule

4. Conclusion

In this study, theoretical calculations of the HMEP molecule were performed using LANL2DZ and 6-311G(d,p) basis sets. Bond lengths, bond angles and dihedral angles were calculated with this method and basis sets. In addition, NLO, MEP, HOMO-LUMO and Mulliken charges were calculated with this method and basis sets. Based on the same method and theoretical calculations, polarity (α=-175.055 au and α= 169.800 au) and static higher order polarity (β=2.76x10^{-30} esu and β=2.69x10^{-30} esu) values were calculated. In addition, ADME analysis was performed in our study and significant changes were observed in TPSA and logPow values. According to Lipinski's rules, it gave positive results for ADME analysis. Lastly, molecular docking analysis was used in our study to investigate the binding location and ligand activity on the proteins (PDB-CODE: 3OG7) and (PDB-CODE: 3WIG) that cause melanoma cancer. After determining the most suitable position for total ligand-enzyme docking, binding approaches were investigated for a deeper comprehension of the inhibitory procedures. According to the study, the shift scores for binding affinity with 3OG7 and 3WIG were calculated as -6.90 and -7.40 kcal/mol, respectively. The binding receptor score of 3OG7 was more effective than 3WIG enzyme with -7.40 kcal/mol. Considering the therapeutic potential of this molecular structure, we think that new drugs targeting melanoma cancer can be created.

Compliance with ethical standards

The authors declare that they have no conflict of interest.

Summary of researchers' contribution declaration

The authors affirm that their contributions to the essay were equal.

References

Abdullah A., Tanriverdi AA., Khan AA., Lee SJ., Park JB., Kim YS., Yildiko U., Min K., Alam M. Selenium-substituted conjugated small molecule: Synthesis, spectroscopic, computational

studies, antioxidant activity, and molecular docking. Journal of Molecular Structure 2024; 1304: 137694.

Alghamdi S., Abbas F., Hussein R., Alhamzani A., El-Shamy N. Spectroscopic characterization (IR, UV-Vis), and HOMO-LUMO, MEP, NLO, NBO analysis and the antifungal activity for 4-bromo-N-(2-nitrophenyl) benzamide; using DFT modeling and In silico molecular docking. Journal of Molecular Structure 2023; 1271: 134001.

Bağlan M., Gören K., Çakmak İ. Theoretical investigation of 1H and 13C NMR Spectra of diethanol Amine dithiocarbamate RAFT agent. Journal of the Institute of Science and Technology 2022; 12(3): 1677-1689.

Bağlan M., Gören K., Yıldıko Ü. DFT computations and molecular docking studies of 3-(6-(3-aminophenyl)thiazolo[1,2,4]triazol-2-yl)-2H-chromen-2-one(ATTC) molecule. Hittite Journal of Science and Engineering 2023a; 10(1): 11-19.

Bağlan M., Gören K., Yıldıko Ü. HOMO–LUMO, NBO, NLO, MEP analysis and molecular docking using DFT calculations in DFPA molecule. International Journal of Chemistry and Technology 2023b; 7(1): 38-47.

Bağlan M., Yıldıko Ü., Gören K. Computational investigation of 5.5",7"-trihydroxy-3,7-dimethoxy-4'-4"'-O-biflavone from flavonoids using DFT calculations and molecular docking. Adıyaman University Journal of Science 2022; 12(2): 283-298.

Bağlan M., Yıldıko Ü., Gören K. DFT calculations and molecular docking study in 6-(2”-pyrrolıdınone-5”-Yl)-(-) epicatechın molecule from flavonoids. Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B - Teorik Bilimler 2023; 11(1): 43-55.

Chagas CM., Moss S., Alisaraie L. Drug metabolites and their effects on the development of adverse reactions: revisiting lipinski’s rule of five. International Journal of Pharmaceutics 2018; 549(1): 133-149.

Chen X., Li H., Tian L., Li Q., Luo J., Zhang Y. Analysis of the physicochemical properties of acaricides based on lipinski's rule of five. Journal of Computational Biology 2020; 27(9): 1397-1406.

Dinakaran VS., Jacob D., Mathew JE. Synthesis and biological evaluation of novel pyrimidine-2(1H)-ones/thiones as potent anti-inflammatory and anticancer agents. Medicinal Chemistry Research 2012; 21(11): 3598-3606.

Gören K., Bağlan M., Tahiroğlu V., Yıldıko Ü. Theoretical calculations and molecular docking analysis of 4-(2-(4-bromophenyl)hydrazineylidene)-3,5-diphenyl-4H-pyrazole molecule. Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences 2024; 10(4): 786-802.

Gören K., Bağlan M., Yıldıko Ü. Antimicrobial, and antitubercular evaluation with adme and molecular docking studies and dft calculatıons of (z)-3-((1-(5-amino-1,3,4-thiadiazol-2-yl)-2-phenylethyl)imino)-5-nitroindolin-2-one schiff base. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi 2024a; 14(4): 1694-1708.

Gören K., Bağlan M., Yıldıko Ü. Melanoma cancer evaluation with adme and molecular docking analysis, Dft calculations of (e)-methyl 3-(1-(4-methoxybenzyl)-2,3-dioxoindolin-5-yl)-acrylate molecule. Journal of the Institute of Science and Technology 2024b; 14(3): 1186-1199.

Gören K., Yıldıko Ü. Aldose reductase evaluation against diabetic complications using ADME and molecular docking studies and DFT calculations of spiroindoline derivative molecule. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 28(2): 281-292.

Gularte MS., Anghinoni JM., Abenante L., Voss GT., de Oliveira RL., Vaucher RA., Luchese C., Wilhelm EA., Lenardão EJ., Fajardo AR. Synthesis of chitosan derivatives with organoselenium and organosulfur compounds: characterization, antimicrobial properties and application as biomaterials. Carbohydrate Polymers 2019; 219: 240-250.

Kartal B., Tanriverdi AA., Yildiko U., Tekes AT., Çakmak I. Polyimide synthesis and characterizations: DFT-assisted computational studies on structural units. Iranian Polymer Journal 2024: 1-23.

Kassel DB. Applications of high-throughput ADME in drug discovery. Current Opinion in Chemical Biology 2004; 8(3): 339-345.

Khodja IA., Boulebd H., Bensouici C., Belfaitah A. Design, synthesis, biological evaluation, molecular docking, DFT calculations and in silico ADME analysis of (benz) imidazole-hydrazone derivatives as promising antioxidant, antifungal, and anti-acetylcholinesterase agents. Journal of Molecular Structure 2020; 1218: 128527.

Mustafa M., Zreid MS., Abadlehb MM. One-pot synthesis of model 1H, 1'H-5, 5'-Bi (1, 2, 4-triazoles). Heterocycles 2018; 96(6): 1080-1087.

Nogara PA., Saraiva RdA., Caeran Bueno D., Lissner LJ., Lenz Dalla Corte C., Braga MM., Rosemberg DB., Rocha JBT. Virtual screening of acetylcholinesterase inhibitors using the lipinski's rule of five and zinc databank. BioMed Research International 2015; 2015(1): 870389.

Suvitha A., Periandy S., Gayathri P. NBO, HOMO–LUMO, UV, NLO, NMR and vibrational analysis of veratrole using FT-IR, FT-Raman, FT-NMR spectra and HF–DFT computational methods. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy 2015; 138: 357-369.

Tahiroğlu V., Çimen E. 3-[1-(5-Amino-[1,3,4]tiadiazol-2-il)-2-(1H-imidazol-4-il)-etilimino]-2,3-dihidro-indol-2-on molekülün teoriksel incelenmesi. Türk Doğa ve Fen Dergisi 2024; 13(2): 6-13.

Tahiroğlu V., Gören K., Bağlan M., Yıldıko Ü. Molecular docking and DFT analysis of thiazolidinone-bis schiff base for anti-cancer and anti-urease activity. Journal of the Institute of Science and Technology 2024; 14(2): 822-834.

Tahiroğlu V., Gören K., Çimen E., Yıldıko Ü. Moleculer docking and theoretical analysis of the (E)-5-((z)-4-methylbenzylidene)-2-(((e)-4-methylbenzylidene)hydrazineylidene)-3-phenylthiazolidin-4-one molecule. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2024; 13(3): 659-672.

Tahiroğlu V., Gören K., Yıldıko Ü., Bağlan M. IInvestigation, structural characterization and evaluation of the biological potency by molecular docking of amoxicillin analogue of a schiff base molecule. International Journal of Chemistry and Technology 2024; 8(2): 190-199.

Taslimi P., Sujayev A., Turkan F., Garibov E., Huyut Z., Farzaliyev V., Mamedova S., Gulçin İ. Synthesis and investigation of the conversion reactions of pyrimidine-thiones with nucleophilic reagent and evaluation of their acetylcholinesterase, carbonic anhydrase inhibition, and antioxidant activities. Journal of Biochemical and Molecular Toxicology 2018; 32(2): e22019.

Yildiko U., Tanriverdi AA. Synthesis and characterization of pyromellitic dianhydride based sulfonated polyimide: survey of structure properties with DFT and QTAIM. Journal of Polymer Research 2021; 29(1): 19.

Yildiko U., Tanriverdi AA. A novel sulfonated aromatic polyimide synthesis and characterization: Energy calculations, QTAIM simulation study of the hydrated structure of one unit. Bulletin of the Korean Chemical Society 2022; 43(6): 822-835.

Yildiko Ü., Türkan F., Tanriverdi AA., Ata AC., Atalar MN., Cakmak İ. Synthesis, enzymes inhibitory properties and characterization of 2- (bis (4-aminophenyl) methyl) butan-1-ol compound: Quantum simulations, and in-silico molecular docking studies. Journal of the Indian Chemical Society 2021; 98(11): 100206.

Yu J., Jiang X. Synthesis and perspective of organosulfur chemicals in agrochemicals. Advanced Agrochem 2023; 2(1): 3-14.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1146-1168, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1146-1168, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Bir Tarım Makineleri Üreticisi için SARIMA Modeli ile Tahminleme

Şule ERYÜRÜK[1*]

[1]KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Konya

[1]https://orcid.org/0000-0003-2746-1598
*Sorumlu yazar: sule.eryuruk@karatay.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 13.09.2024
Kabul tarihi:15.03.2025
Online Yayınlanma: 16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Tarım makineleri
SARIMA
Zaman serileri analizi
Box-Jenkins modeli

ÖZ

Tarım makineleri üretiminde karşılaşılan en önemli riskler günümüzde iklim değişikliğinden kaynaklı talep zamanlarında ve miktarlarında kayma ve rekabet unsurları olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle tarım makineleri üretiminde istatistiksel talep tahmini yapmak elzem bir konu olmuştur. Bu çalışmanın amacı, tarım makineleri sektöründe bir imalatçıdan elde edilen 2011-2021 yılları arasındaki aylık üretim verilerinden yararlanarak gelecek 12 aylık dönemde üreticinin ürettiği en önemli iki ürününe ait üretim miktarlarını tahmin etmek ve gelecek üretim adetlerine dair öneriler geliştirmektir. Tarım makineleri üretimi adedi için gelecek tahmininde bulunurken mevsimselliği yansıtmak adına SARIMA diğer adıyla Box-Jenkins modeli kullanılmıştır. Zaman serilerini analiz etmek için geliştirilen yöntemlerden biri olan SARIMA yöntemi, tek değişkenli zaman serilerini analiz etmek için kullanılan güçlü metotlardandır. Araştırmada, belirlenen iki ürün için SARIMA modelleri arasında en iyi istatistiksel sonuçlar belirtilmiştir. Ürün 1 için SARIMA(1,1,2)(0,1,1) modeli, ürün 2 için ise SARIMA(0,1,1)(1,1,0) modeli en uygun model olarak bulunmuştur Seçilen iki ürün için belirlenen uygun SARIMA modeline bakarak, üretici için 2022 yılı 12 aylık üretim tahmini ve beklentisi hesaplanmıştır.

Forecasting with SARIMA Model for an Agricultural Machinery Manufacturer

Research Article

Article History:
Received: 13.09.2024
Accepted: 15.03.2025
Published online: 16.06.2025

Keywords:
Agricultural machinery
SARIMA
Tme series analysis
Box-Jenkins model

ABSTRACT

The most significant risks encountered in agricultural machinery production today can be considered as shifts in demand times and quantities due to climate change, as well as competitive factors. Therefore, statistical demand forecasting has become an essential issue in the production of agricultural machinery. The aim of this study is to forecast the production quantities of the two most important product produced by a manufacturer in the agricultural machinery sector for the next 12 months using monthly production data from 2011-2021 and to develop recommendations. To reflect seasonality in future forecasts for agricultural machinery production, the SARIMA (Box-Jenkins) model has been employed. The Box-Jenkins method is one of the techniques developed for analyzing time series and is used to analyze univariate time series. In the research, the best statistical results among the SARIMA models for the specified product are indicated. For Product 1, the SARIMA(1,1,2)(0,1,1) model has been identified as the most suitable model, while for Product 2, the SARIMA(0,1,1)(1,1,0) model has been determined to be the best fit. By examining the appropriate SARIMA model determined for the selected two product, the 12-month production forecast and expectations for 2022 have been calculated for the manufacturer.

To Cite: Eryürük Ş. Bir Tarım Makineleri Üreticisi için SARIMA Modeli ile Tahminleme. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1146-1168.

1. Giriş

Tarım makinelerinin üretimi, sürdürülebilir tarım uygulamalarını devam ettirmek için hayati öneme sahiptir. Ülkemizde bu üretim, traktörler ve diğer ekipmanlar olarak kategorize edilebilir (TARMAKBİR, 2023). Traktörlerin yanı sıra, diğer tarım makineleri sulama sistemleri, püskürtücüler ve dağıtıcılar, ilaçlama ekipmanları, yükleyiciler, toprak işleme ve gübreleme aletleri, hasat ve harman makineleri ve tarımsal römorkları içerir. Küresel düzeyde, 2016 itibarıyla Türkiye, traktör ihracatında %2 payla 12. sırada ve ekipman ihracatında %0,8 payla 24. sırada yer almaktadır. Küresel ithalata gelince, dünya 2016 yılında 15,5 milyar dolar değerinde traktör ve 26,2 milyar dolar değerinde ekipman ithal etmiştir. Türkiye, %3 pay ile traktör ithalatında 10. sırada ve %1 pay ile ekipman ithalatında 31. sırada yer almaktadır. 2017 yılında Türkiye, 76.324 traktör ve 752.125 parça ekipman üretmiştir. 2016 yılında Türkiye'nin tarım makineleri ihracatına kategori bazında bakıldığında, traktörler %55 ile ilk sırada, toprak işleme, ekim, gübreleme ve bitki bakım ekipmanları %13 ile ikinci sırada ve diğer tarım makineleri (tohum ilaçlama, çit budama, yem hazırlama, ormancılık, kümes ve arıcılık makineleri) %12 ile üçüncü sırada yer almaktadır. İthalatta ise, traktörler %56,5 ile ilk sırada, hasat, harman, biçme, balya ve sınıflandırma ekipmanları %25,6 ile ikinci sırada ve sulama-ilaçlama parçaları-ekipmanları %4,2 ile üçüncü sırada yer almaktadır. (Tarımsal Mekanizasyon Sektör Politika Belgesi, 2018-2022).

Tarım makineleri üretimi ile ilgili tahminleme çalışmaları literatürde oldukça kısıtlıdır, buna nazaran başka alanlarda tahminleme yapmak üzere, bu çalışmada metod olarak kullanılan Mevsimsel Oto Regresyonlu Bütünleştirici Hareketli Ortalama Modelleri (SARIMA) modeli kullanımı oldukça yaygındır. Literatür taraması bölümünde, SARIMA kullanımı ile ilgili yapılan çeşitli akademik araştırmalara odaklanılmıştır. Farklı veri kaynakları kullanılarak elde edilen bulgular, yapılan değerlendirmeler ve tahminlerin önemini vurgulanmaktadır. Vagropoulos ve ark.,(2016) şebekeye bağlı Fotovoltaik (PV) santrallerin elektrik üretimi tahmini için SARIMA modellemesi, SARIMAX modellemesi (dışsal faktörlü SARIMA modellemesi), SARIMA modelinin modifiye edilmiş modellemesi ve ANN tabanlı modellemesini kullanarak bazı simülasyon sonuçları elde etmiştir. Dubey ve ark., (2021) makalelerinde, toplanan akıllı sayaç ölçümü ve ardından (Otoregresif entegre hareketli ortalama) ARIMA, SARIMA ve uzun kısa vadeli bellek (LSTM) kullanılarak günlük bazda enerji tüketiminin tahmini üzerinde veri analitiği sunmuştur. Valipour (2015) çalışmasında, ABD'de uzun vadeli akış tahmini için SARIMA ve ARIMA modellerinin yeteneği araştırmıştır. Divisekara ve ark., (2021) çalışmasında, SARIMA kullanarak kırmızı mercimek fiyatlarını modellemiş ve tahmin leme yapmıştır. Bu çalışmada, Saskatchewan.ca'dan elde edilen 2010'dan 2019'a kadar olan sekiz yıllık haftalık veriler ve 521 gözlem kullanılmıştır. Dabral ve Murry (2017) aylık, haftalık ve günlük muson yağış zaman serileri için SARIMA modeli geliştirmiştir. Bu çalışmada geliştirilen SARIMA modelleri kullanılarak 2014-2027 yılları arasındaki 14 yıllık dönem için aylık, haftalık, günlük muson zaman serilerinin tahmini yapılmıştır. Choi ve ark., (2011), makalelerinde, klasik SARIMA yöntemini ve dalgacık dönüşümünü (SW) birleştiren bir hibrit tahmin şeması önermişlerdir. Verilen satış zaman serisinin özelliklerine dayalı olarak satış tahmini yapmak için bir yöntem geliştirmişlerdir.

Chikkakrishna ve ark., (2019) çalışmalarında, R yazılımında SARIMA ve Facebook PROPHET paketi kullanarak kısa vadeli trafik tahmini yapmaktadır. Milenković ve ark., (2018) makalelerinde, Sırp demiryolları ağında gerçekleştirilen aylık yolcu sayımlarından oluşan tarihsel verilere dayanarak Ocak 2004- Haziran 2014 dönemlerini kapsayan zaman serisini tahmin etmek için SARIMA yöntemini uygulamıştır. He ve ark., (2021) makalelerinde, günlük frekansta turist talebi verilerini tahmin etmek için bir SARIMA–CNN–LSTM modelini tanıtmış ve bu model geleneksel çerçevede modellemesi zor olan doğrusal ve doğrusal olmayan veri özelliklerinin karışımını göstermiştir. Oliveira (2016)'nın çalışmasının amacı, 2016-2018 yılları arasında Brezilya pazarındaki tarım traktörlerine olan talebi tahmin etmek olmuştur. Bunun için zaman serisi ekonometrisi teknikleri, ARIMA ve SARIMA ve SARIMAX kullanmıştır. Akusta (2024), çalışmasında, Türkiye'deki aylık gayrimenkul satışlarını analiz etmek ve gelecekteki satışları tahmin etmek amacıyla SARIMA modelini kullanmaktadır. Bu çalışmada Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından sağlanan 01/2013-03/2023 tarihleri arasındaki aylık konut satış verilerini kullanmıştır. Loganathan ve Ibrahim (2010) çalışmalarında Box Jenkins SARIMA modelini kullanarak Malezya'ya gelen uluslararası turist sayısını tahmin etmiştir. Komori-Zevallos ve ark., (2023) makalelerinde, bir üretim KOBİ'sinde SARIMAX ve DSS kullanarak yalın 4.0 uygulamalarının talep tahmininin bütünleşik bir modelinin geliştirilmesini amaçlamıştır. Envanter, atık, eski ürünler ve üretkenlik gibi etkilenecek değişkenlerin belirlenmesine olanak sağlayarak modeli doğrulamak için gıda üretim sektöründe bir vaka çalışması yapmıştır. Sharma ve ark., (2023) makalelerinde, zaman serisi modellerini kullanarak orta vadeli güç yükünü tahmin etmeyi ve tarımda güç tahmini için önemli özellikleri tanımlamayı amaçlamıştır. SARIMA, yıl içindeki en yoğun sezonu bulmak için kullanılmıştır. Önen (2023) çalışmasında 2010-2022 yıllarına ait olan ticari gelen-giden toplam uçak hareket sayısı, Devlet Hava Meydanları İşletmesinden (DHMİ) gelen- giden toplam yolcu sayısı, Birleşik Devletler Enerji Bilgi İşletmesinden Ham Petrol Alış Fiyatı ve TUIK'ten Gayri Safi Milli Hasıla (GHSY) değerlerini kullanarak Box-Jenkins metoduna dayalı SARIMA modellemesi ve daha sonra modele dışsal değişkenleri ilave edilerek ARIMAX modeliyle toplam yolcu sayısı tahminlemesi yapmıştır. Ashutosh ve ark., (2021), toplanan akıllı sayaç ölçümleri üzerinde veri analitiği gerçekleştirmiş ve ardından günlük enerji tüketimini tahmin etmek için ARIMA, SARIMA ve uzun kısa süreli bellek (LSTM) yöntemlerini kullanmışlardır. Liu ve ark., (2022) çalışmalarında, transformatör yağındaki çözünmüş gaz konsantrasyonunu tahmin etmek için SARIMA, ARIMA ve LSTM modellerini incelemiş ve SARIMA modelinin diğer yöntemlere göre daha doğru ve kararlı sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur. Megha ve ark., (2023) çalışmalarında, zaman serisi modelleri kullanarak orta vadeli yük tahmini yapmayı ve tarımda güç tahmini için önemli özellikleri belirlemeyi amaçlamaktadır. Zaman serisi modeli, yıl içerisindeki zirve sezonu belirlemek için kullanılırken, XGBoost tekniği yük tahmini yapmak için kullanılmıştır. Peng ve ark., (2018) çalışmalarında, SARIMA tekniklerini kullanarak 1951'den 2017'ye kadar Çin'in Nanjing kentindeki aylık ortalama sıcaklığı analiz etmiştir. 1951'den 2014'e kadar olan veriler eğitim seti olarak kullanılırken, 2015'ten 2017'ye kadar olan veriler test seti olarak kullanılmıştır. Model seçimi ve tahmin doğruluğunun ayrıntılı bir açıklaması sunulmuştur.

Sonuçlar, önerilen araştırma yaklaşımının iyi tahmin doğruluğu elde ettiğini göstermektedir. Çevik ve Yürekli (2003) aylık akım serisinin modellenmesinde 361 adet ARIMA(p,d,q)(P,D,Q) modeli kullanmıştır. Uygun modelin seçiminde, ARIMA(p,d,q) (P,D,Q) modellerinden hesaplanan kalıntıların bağımsız olup olmadıkları göz önüne alınmıştır. Bu amaçla her model için Ljung-Box istatistikleri ve bunların dağılımı için olasılık değerleri saptanmıştır. Aylık akım serisi için, olasılık değeri %5'ten daha büyük olan modeller uygun kabul edilmiştir.

Literatür taraması sırasında, tarım işletmeciliğini ve çeşitli alanlarını ele alan birkaç bilimsel makale bulunmuş olup, ancak Türkiye'de yayınlanan ve Türkiye'deki tarım makinelerinin talep tahminini ele alan bilimsel makale bulunamamıştır. Tarım makineleri sektöründe SARIMA metodu ile zaman serileri tahminlemesi yapan çalışma olmadığından bu çalışma bu boşluğu dolduracaktır. Literatürde SARIMA modeli kullanılarak tahminleme yapan daha birçok makale bulunmaktadır. Buna karşın tarım makineleri sektöründe üretim verilerinin tahminlenmesi için SARIMA modeli kullanan bir makale görülmemiştir.

Makalenin ilerleyen bölümlerinde öncelikle çalışmada kullanılan materyallerin özellikleri ve araştırma sürecinde uygulanan metotlar ayrıntılı bir şekilde açıklanacaktır. Bu açıklamaların ardından, araştırma sonucunda elde edilen bulgular sistematik bir şekilde sunularak, verilerin analizine dayalı temel çıkarımlar ortaya konulacaktır. Bulguların aktarılmasından sonra, çalışmanın tartışma bölümünde elde edilen sonuçlar literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılacak ve bulguların anlamı üzerine detaylı bir değerlendirme yapılacaktır. Tartışma sürecinin ardından, çalışmanın temel çıktıları özetlenerek, araştırmanın amaçları doğrultusunda ulaşılan sonuçlar kapsamlı bir şekilde değerlendirilecektir. Son olarak, araştırmanın genel çerçevesi gözden geçirilerek, elde edilen sonuçların alana katkıları, olası sınırlılıkları ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar için öneriler sunulacaktır.

.

2. Materyal ve Metot

ARIMA

Bu çalışmada gelecek 12 ay için talep tahmini yapılacağından genellikle daha uzun dönemli tahminler için uygun olan yöntemlerden ARIMA yönteminin kullanılmasının nedenleri üzerinde durulmuştur. ARIMA, zaman serisi verilerindeki eğilimleri ve desenleri tahmin etmek için kullanılan güçlü bir istatistiksel modelleme tekniğidir. ARIMA modeli, zaman üzerinde eşit aralıklı ve tek değişkenli zaman serisi verilerini analiz eder ve tahmin eder. Verilerin yalnızca mevcut ve geçmiş gözlemlerini kullanır, dolayısıyla ekonometrik veya regresyon modelleri gibi diğer tahmin modellerinde olduğu gibi dışsal değişkenlere ihtiyaç duymaz.

Adından da anlaşılacağı gibi ARIMA modeli, otoregresif (AR) model ile hareketli ortalama (MA) modelinin bütünleşmiş bir kombinasyon modelidir. Entegrasyon, durağan olmayan verileri fark alarak veya loglayarak durağan hale getirmesi anlamına gelir. Matematiksel model aşağıdaki açıklandığı gibi temsil edilmektedir (Wei, 1989).

Y_t durağan zaman serisi verileri ise, yani bunların ortalaması ve varyansı tüm t için sabittir ve iki gözlemin otokorelasyonu yalnızca zaman gecikmesine bağlıdır.

AR modeli şu şekilde tanımlanır (1) :

$$Y_t = \emptyset_1 Y_{t-1} + \emptyset_2 Y_{t-2} + \cdots + \emptyset_p Y_{t-p} + a_t \quad (1)$$

Burada

$\emptyset$ (i)= AR modelinin parametreleri (i=1,2,⋯,p)

α_t= ilişkisiz, sıfır ortalamalı ve sabit varyansa sahip bir hata terimi olarak tanımlanmıştır.

MA modeli şu şekilde tanımlanır (2):

$$Y_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \cdots - \theta_q a_{t-q} \quad (2)$$

θ_i = MA modelinin parametreleri (i=1,2,⋯,q)

ARMA modeli bu iki modelin kombinasyonu şeklindedir (3). Genel gösterimi şu şekildedir;

$$Y_t = \emptyset_1 Y_{t-1} + \emptyset_2 Y_{t-2} + \cdots + \emptyset_p Y_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \cdots - \theta_q a_{t-q} \quad (3)$$

Y_t' nin durağan olmaması durumunda, uygun derecede ardışık fark alma veya loglama kullanılarak durağan hale getirilebilir (4). $\nabla^d Y_t$ derecesi d farkıyla durağan bir veri serisi ise, bir ARIMA modeli

$$\nabla^d Y_t = \emptyset_1 Y_{t-1} + \emptyset_2 Y_{t-2} + \cdots + \emptyset_p Y_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \cdots - \theta_q a_{t-q} \quad (4)$$

olarak temsil edilir.

SARIMA

Denklem (4)'te verilen ARIMA modeli durağan olmayan ve mevsimsel olmayan zaman serisi verileri için olduğundan, Box ve Jenkins mevsimselliği ele almak için ARIMA modeline SARIMA modu adı verilen bir genelleme önerilmiştir. ARIMA $(\mathrm{p,d,q})_t$ olarak tanımlanırken SARIMA $(\mathrm{p,d,q})(\mathrm{P,D,Q})_t$ olarak gösterilmektedir.

p burada mevsimsel olmayan AR teriminin derecesi, yani geçmiş değerlerin sayısını, d, mevsimsel olmayan fark alma işleminin derecesini, yani seriyi sabit hale getirmek için gereken fark alma sayısını ve q ise mevsimsel olmayan MA teriminin derecesi, yani hata terimlerinin sayısını temsil etmektedir. (P, D, Q) ise burada mevsimsel AR teriminin derecesi, yani geçmiş değerlerin sayısını, D, mevsimsel fark alma işleminin derecesini, yani seriyi sabit hale getirmek için gereken fark alma sayısını ve Q ise mevsimsel MA teriminin derecesi, yani hata terimlerinin sayısını temsil etmektedir.

$$\Phi_p(B^m)\varphi(B)\nabla_s^D \nabla^d x_t = \theta_Q(B^m)\theta(B)w_t \quad (5)$$

Denklem (5)'te;

x_t: Durağan olmayan zaman serisi

w : Gauss beyaz gürültü

$\Phi_p(B^m)$: Mevsimsel bileşenin otoregresif bileşen

$\theta_Q(B^m)$: Trend bileşeninin farklılaşan bileşenlerini gösterir.

B : Geri kaydırma operatörü

$\varphi(B)$: Trend bileşenin polinomlarla temsili

$\theta(B)$: Hareketli ortalamanın polinomlarla temsilidir.

SARIMA modelinin analizinde, model artıklarının bağımsız olup olmadığını anlamak ve modelin varsayımlara uygunluğunu değerlendirmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu bağlamda, Ljung-Box ki-kare istatistikleri, artıkların otokorelasyon fonksiyonu (ACF) ve artıkların kısmi otokorelasyon fonksiyonu (PACF) temel analiz araçlarıdır. Bu analizlerin sonuçları, modelin doğruluğunu ve güvenilirliğini değerlendirme açısından kritik öneme sahiptir.

Bir ARIMA analizini yorumlamak için aşağıdaki adımları tamamlamak gereklidir.

- Adım 1: Modeldeki her terimin anlamlı olup olmadığı belirlenmeli.
- Adım 2: Modelin verilere ne kadar iyi uyduğu belirlenmeli.
- Adım 3: Modelinizin analizin varsayımlarını karşılayıp karşılamadığı belirlenmeli.

Adım 1: Modeldeki her terimin anlamlı olup olmadığı belirlenmeli

Yanıt ile modeldeki her terim arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek için, sıfır hipotezini değerlendirmek üzere her terim için p değeri önem seviyesiyle karşılaştırılmalıdır. Sıfır hipotezi, terimin 0'dan anlamlı bir şekilde farklı olmadığıdır; bu, terim ile yanıt arasında bir ilişki olmadığını gösterir. Genellikle, 0,05'lik bir önem seviyesi (α veya alfa olarak gösterilir) iyi sonuç verir. 0,05'lik bir önem seviyesi, terim 0'dan anlamlı bir şekilde farklı olduğunda, terimin 0'dan anlamlı bir şekilde farklı olmadığı sonucuna varma riskinin %5 olduğunu gösterir.

p değeri anlamlılık düzeyinden büyükse, katsayının istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna varılamaz. Modeli, bu terim olmadan yeniden düzenlemek gereklidir.

Adım 2: Modelin verilere ne kadar iyi uyduğu belirlenmeli

Modelin verilere ne kadar iyi uyduğunu belirlemek için ortalama kare hatası (MS) kullanılmalıdır. Daha küçük değerler daha iyi uyan bir modeli gösterir.

Adım 3: Modelin, analizin varsayımlarını karşılayıp karşılamadığı belirlenmeli

Modelin kalıntıların bağımsız olduğu varsayımlarını karşılayıp karşılamadığını belirlemek için Ljung-Box ki-kare istatistiklerini, kalıntıların otokorelasyon fonksiyonunu (ACF) ve kalıntıların kısmi otokorelasyon fonksiyonunu (PACF) kullanılır. Varsayım karşılanmazsa, model verilere uymayabilir ve sonuçları yorumlarken veya diğer modelleri değerlendirirken dikkatli olunmalıdır.

Ljung-Box testi, model artıklarının bağımsızlık varsayımını test etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu testte, artıkların otokorelasyonlarının sıfır olup olmadığı hipotezi (H_0: Artıklar bağımsızdır) test edilir. Test sonuçlarına ait p-değerleri, seçilen anlamlılık düzeyi (genellikle $\alpha = 0,05$) ile karşılaştırılır.

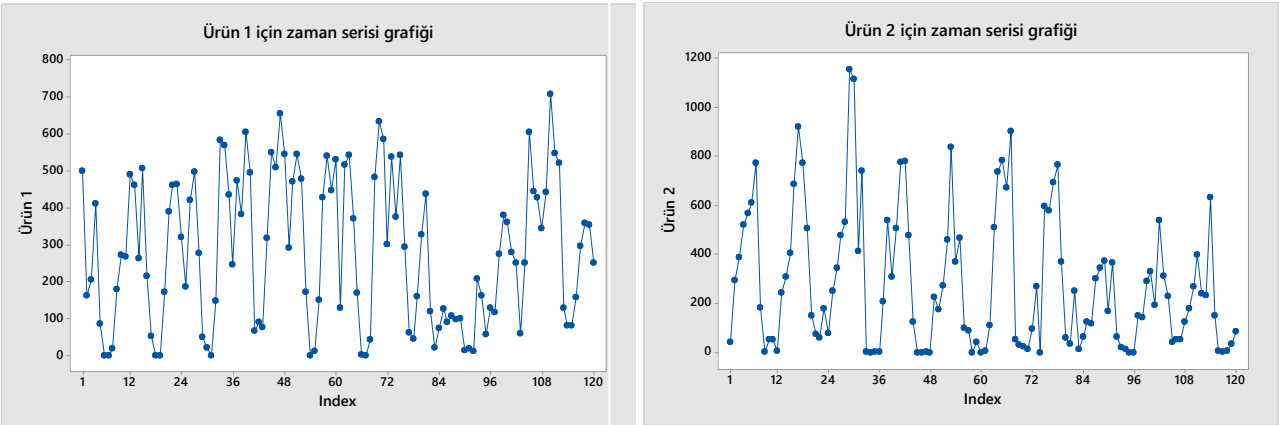
Eğer p-değeri $> \alpha$ ise, artıkların bağımsız olduğu sonucuna varılır ve bu da modelin bağımsızlık varsayımını karşıladığını gösterir. Eğer p-değeri $\leq \alpha$ ise, bağımsızlık hipotezi reddedilir ve model artıklarının bağımsız olmadığı anlaşılır. Bu durumda, modelin iyileştirilmesi gerekebilir. Artıkların otokorelasyon fonksiyonu (ACF), zaman serisi artıklarındaki otokorelasyonları belirlemek için kullanılan bir araçtır. ACF grafiği, her bir gecikme için otokorelasyon katsayılarını görselleştirir ve bu gecikmelerdeki anlamlılık düzeyini kontrol eder. Eğer ACF'de anlamlı bir otokorelasyon yoksa, artıkların bağımsız olduğu sonucuna varılır. Mevsimsel olmayan daha yüksek gecikmelerde bir veya iki anlamlı otokorelasyon görülebilir. Ancak, bu tür otokorelasyonlar genellikle rastgele hatalardan

kaynaklanır ve modelin bağımsızlık varsayımını ihlal ettiğine dair kesin bir işaret değildir. Artıkların kısmi otokorelasyon fonksiyonu (PACF), belirli bir gecikmede diğer gecikmelerin etkisini kontrol ederek otokorelasyonun doğrudan etkisini ölçer. PACF, özellikle artıkları daha ayrıntılı bir şekilde incelemek ve modelin uygunluğunu değerlendirmek için kullanılır. Eğer PACF'de anlamlı bir korelasyon yoksa, artıkların bağımsız olduğu sonucuna varılabilir. Ancak, ACF'de olduğu gibi, daha yüksek mevsimsel olmayan gecikmelerde bir veya iki anlamlı korelasyon görülebilir. Bu durum, genellikle rastgele hatalardan kaynaklanır ve varsayımın karşılanmadığını doğrudan göstermez. Artıkların analizinde anlamlı otokorelasyonların varlığı, genellikle modelin iyileştirilmesi gerektiğine işaret eder. Ancak, ACF ve PACF grafikleri incelenirken mevsimsel olmayan daha yüksek gecikmelerde görülen az sayıdaki anlamlı korelasyonlar, rastgele hatalara bağlanabilir. Bu tür durumlarda, bağımsızlık varsayımının ihlal edilmediği varsayılabilir. Ancak, anlamlı otokorelasyonlar yaygın ve sistematik bir şekilde gözleniyorsa, modelin daha iyi bir şekilde yeniden yapılandırılması veya alternatif bir model kullanılması gerekebilir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bir işletmenin iki ana ürünü olan iki farklı tarım makinesinin üretim tahmini amacıyla, işletmeden erişilen 2011-2021 yılları arasındaki aylık üretim adetleri kullanılmıştır.

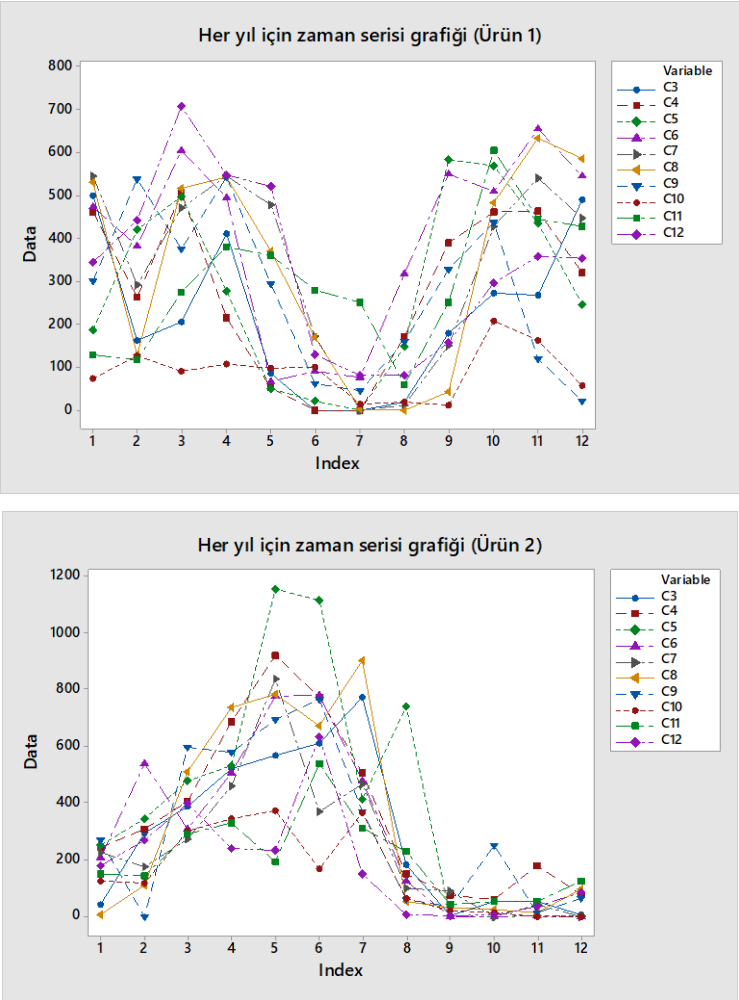
Ürün 1 ve ürün 2'nin serilerinin otokorelasyon (ACF) ve kısmi otokorelasyon (PACF) fonksiyonlarından faydalanılmış, ürünlerin mevcut zaman serilerinin fark alınmadan önce durağan olup olmadığı kontrol edilmiş ve trend, mevsimsellik gibi sahip olabileceği davranışları belirlemek adına serinin grafikleri oluşturulmuştur. Öncelikle, iki ürünün serileri için bahsedilen durağanlık ve desenlerle ilgili olarak zaman serisi grafikleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Ürün 1 ve ürün 2'nin aylık üretim adedi zaman serisi (2011-2021)

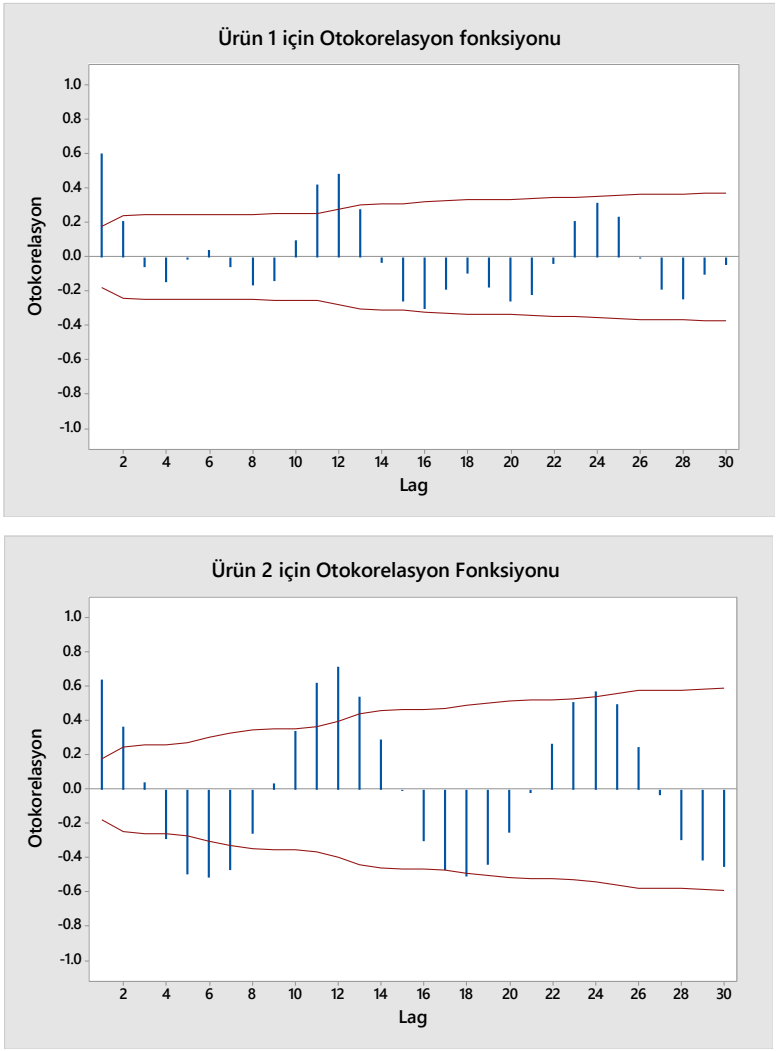
Şekil 1 incelendiğinde ürün 1 ve ürün 2 serilerinde bir artış ya da azalış eğilimine (trend) rastlanmamaktadır ancak belirli ay aralıklarında kendini tekrarlayan döngüler olabileceği fark edilmektedir. Bu durumda mevsimsel etkilerden bahsetmek mümkündür. Her bir yılın 12 aylık verilerini

içeren zaman serisi grafiğinden (Şekil 2) faydalanarak mevsimsel etkileri daha net görebilmemiz mümkündür.



Şekil 2. Her yıl için aylık ürün 1 ve ürün 2 üretim adetleri zaman serisi

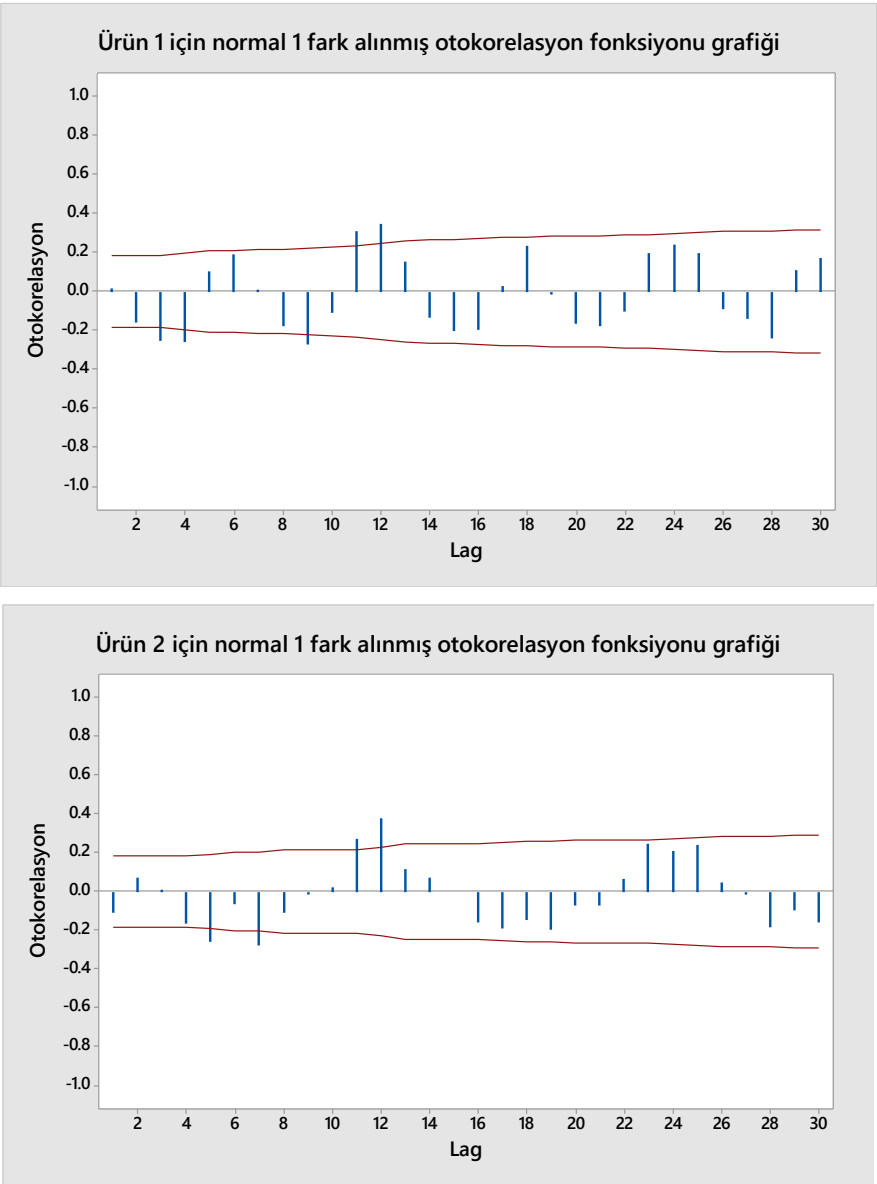
Şekil 2'de Ürün 1 için Mart, Nisan, Ekim ve Kasım aylarında diğer aylara göre daha çok üretim olduğu görülmektedir. Ürün 2 için ise üretimin diğer aylara nazaran yüksek olduğu aylar Nisan, Mayıs ve Haziran ayları olduğu görülmektedir. Bu şekiller ışığında, mevcut zaman serisinin mevsimsel etki davranışına sahip olduğuna dair genel bir bilgi elde edilmiştir. MINITAB paket programından faydalanılarak detaylı analiz yapabilmek ve geçerli SARIMA modelini belirleyebilmek adına ürün 1 ve ürün 2 için elde edilen %5 anlamlılık sınırları içinde otokorelasyon (ACF) fonksiyonu Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Ürün 1 ve ürün 2 'nin otokorelasyon fonksiyonu

Ürün 1 için zaman serisinin ilk gecikmesine ve onbirinci, onikinci gecikmesine ait otokorelasyon değerlerinin oldukça büyük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla serinin durağan olmadığı, aradaki gecikme değerlerinin yavaş yavaş azalmasıyla anlaşılmaktadır. Ayrıca, ACF grafiğinde sinüse benzeyen dalgalanmalar var ise mevsimsel etkinin varlığından bahsetmek söz konusu olabilecektir. Serinin durağan hale gelmesi için yapılması gereken şey, seri tarafından ihtiyaç duyulan miktar kadar farkını almaktır. Ürün 1'in ACF grafiğine baktığımızda birinci dereceden fark almak mevsimsel etkiyi yok etmeyeceğinden ötürü bu yapılan işlem seriyi durağan hale getirmek için yeterli olmayabilir. Dolayısıyla bir de mevsimsel fark almak gerekebilir. Ürün 2 için de zaman serisinin ilk birkaç gecikmelerinin ve onbirinci, onikinci ve onüçüncü gecikmelerinin otokorelasyon değerlerinin oldukça büyük olduğu görülmektedir ve buna ek olarak diğer otokorelasyon değerleri yavaş yavaş azalmaktadır. Bu iki durum serinin durağan olmadığının göstergesidir. Ayrıca, ACF grafiğinde sinüse benzeyen dalgalanmalar var ise mevsimsel etkinin varlığından bahsetmek söz konusu olabilecektir. Bu durumda, serinin ihtiyaç duyduğu kadar farkının alınması seriyi durağan hale getirmekte faydalı olacaktır. Buna ek olarak, ACF grafiklerinin de gösterdiği şekilde mevcut zaman serilerinde mevsimsel etkilerin varlığı söz konusu olduğundan seriyi durağan hale getirmek için birinci dereceden fark almak yetersiz kalabilir. Bu yüzden

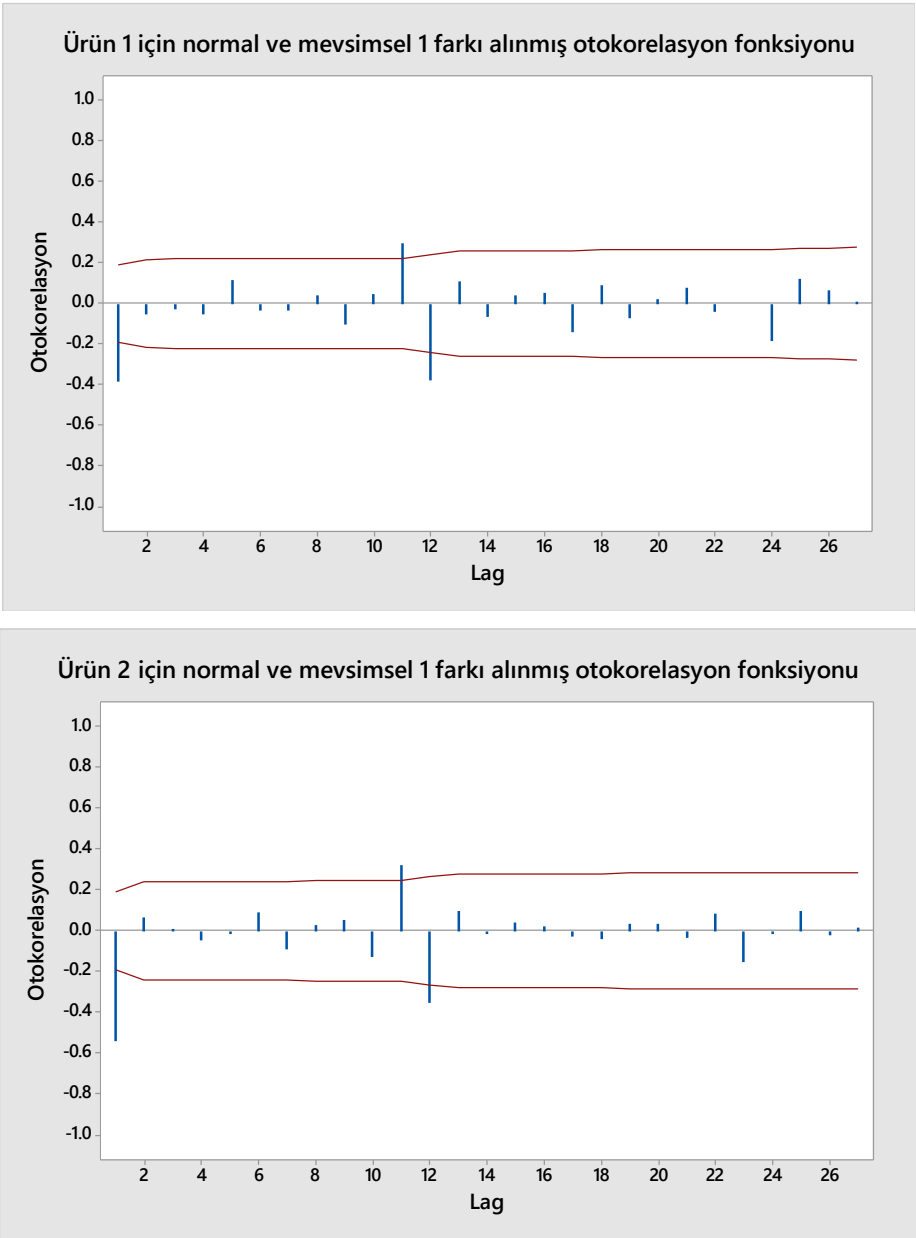
anlaşıldığı üzere en az bir kez mevsimsel fark almak gerekebilir. Şekil 4'de ürün1 ve ürün 2 için birinci dereceden farkı alınmış serilerinin otokorelasyon grafikleri verilmiştir.



Şekil 4. Ürün1 ve ürün 2 için birinci dereceden farkı alınmış serilerin otokorelasyon fonksiyonu

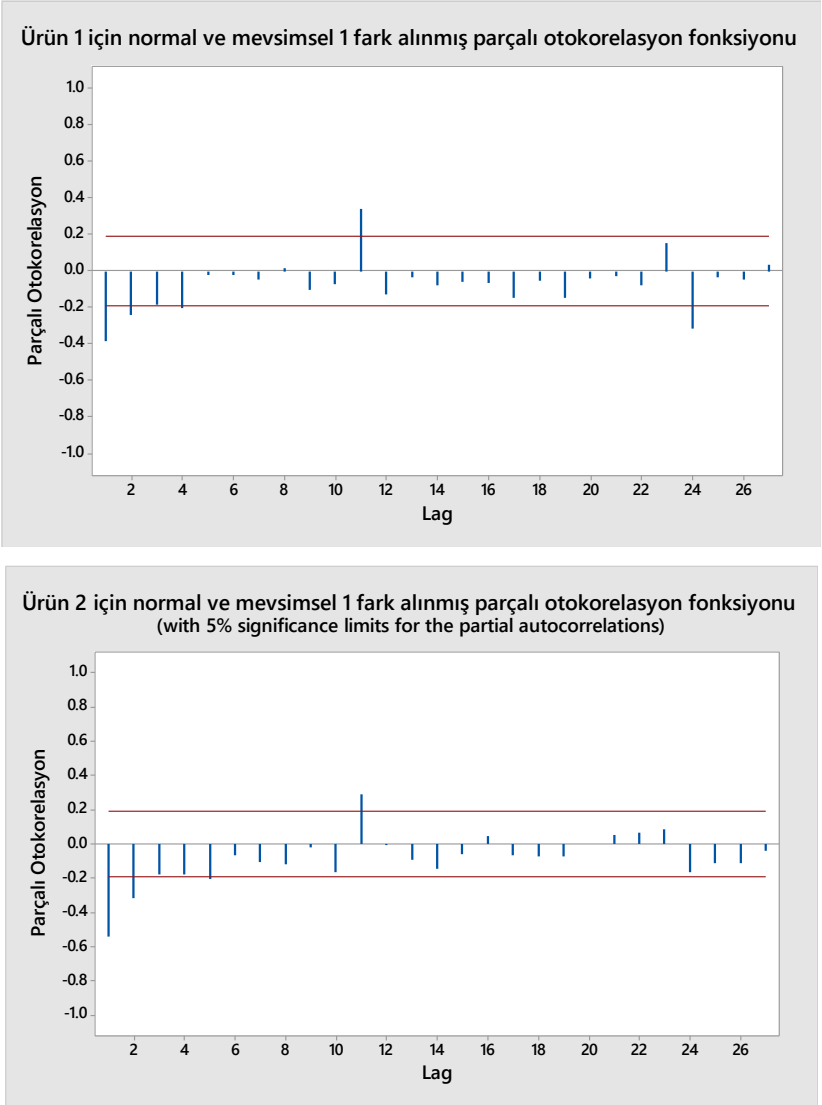
Her bir ürün için birinci dereceden normal farkı alınmış zaman serisinin (ACF) otokorelasyon grafikleri incelendiğinde, ürün 1 için %5 anlamlılık düzeyini dördüncü, dokuzuncu ve onikinci gecikme değerlerine ait otokorelasyon değerlerinin geçtiği göze çarpmaktadır (Şekil 4). Ürün 2 için ise %5 anlamlılık düzeyini beşinci, dokuzuncu, onbir ve onikinci gecikme değerlerine ait otokorelasyon değerlerinin geçtiği gözlenmektedir (Şekil 4). Tüm bunlar iki seriye ait mevsimsellik davranışının da değerlendirmeye alınması gerektiğini gösterir. Bu durumda serileri durağan hale getirmek için birinci dereceden fark ve mevsimsel etki nedeniyle onikinci dereceden fark alınması gerektiğini göstermektedir

(Hanke ve Wichern, 2014). Onikinci farkının alınmasının sebebi Şekil 2'de her iki ürün için de onikişer aylık zaman serilerinin benzer desenler ortaya koymasıdır.



Şekil 5. Ürün 1 ve Ürün 2 için normal düzeyde birinci dereceden ve mevsimsel dereceden farkı alınmış serinin otokorelasyon fonksiyonu

Şekil 5 ve Şekil 6 incelendiğinde, ürün 1 ve ürün 2 serilerinde trend deseni bulunmamakta ve fark alma işlemleri sonucunda serilerin mevsimsel etkilerden kurtularak durağan hale geldiği görülmektedir. Bu nedenle verilerin 1 derece (D=2) daha mevsimsel farkı alınmamıştır. ACF grafiği birinci dereceden mevsimsel fark alma işleminde yol gösterici olmuş ve periyod 12 olarak belirlenmiştir. Mevsimsel fark alma sonucunda, verilerin PACF grafikleri de Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Ürün 1 ve ürün 2 için normal düzeyde birinci dereceden ve mevsimsel dereceden farkı alınmış serinin parçalı otokorelasyon fonksiyonu

Öncelikle durağan hale gelen veri setlerinin (p, q, P, Q) olarak belirtilen diğer parametre değerlerinin belirlenebilmesi gerekmektedir. Bunun için model denemeleri yapılmış ve en iyi tahmin modelinin belirlenebilmesi için, yukarıda bahsedilen 3 adımdaki unsurlar incelenmiştir. Ürün 1 için en iyi model SARIMA $(1,1,2)(0,1,1)_{12}$ olarak bulunmuştur.

Ürün 2 için ise en iyi model SARIMA(0,1,1)(1,1,0) olarak bulunmuştur. En iyi modellerin bulunması için en az 10 farklı kombinasyon denemesi yapılmıştır. Ürün 1 ve Ürün 2 için en iyi SARIMA (p, 1, q)(P, 1, $Q)_{12}$ model parametrelerine göre değerlendirme kriteri olan üç adıma göre istenen değerler ile ACF, PACF grafikleri, hata grafikleri ve zaman serisi tahmin grafiği aşağıda sunulmuştur.

Tablo 1. Ürün 1 ve ürün 2 için en iyi SARIMA (p, 1, q)(P, 1, Q)$_{12}$ model parametrelerine göre değerlendirme kriterleri sonuçları

ÜRÜN 1					
	PARAMETRE DEĞERLERİ			Ljung -Box Ki-Kare	
	TÜR	P DEĞERİ	MSE	LAG	p- değeri
SARIMA(1,1,2)(0,1,1)	AR1	0,000	15287	12	0,201
	MA1	0,000		24	0,387
	MA2	0,000		36	0,576
	SMA12	0,000		48	0,626
ÜRÜN 2					
				Ljung -Box Ki-Kare	
	TÜR	P DEĞERİ	MSE	LAG	p- değeri
SARIMA(0,1,1)(1,1,0)	MA1	0,000	33260	12	0,915
	SAR12	0,000		24	0,564
				36	0,564
				48	0,664

Anahtar sonuçlar olarak öncelikle modeldeki her terimin anlamlı olup olmadığını belirlemek adına P katsayısına bakılmalıdır.

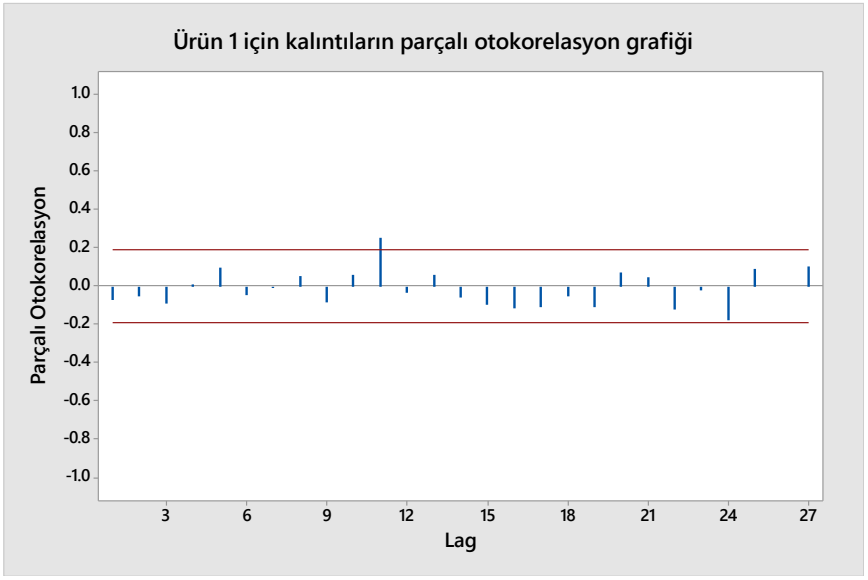
Ürün 1 için AR1, MA1, MA2 ve SMA12 Otoregresif terimlerinin p değeri 0,05'lik anlamlılık seviyesinden küçüktür. Otoregresif terim için katsayının istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna varılabilir ve bu terimleri modelde tutmamız gereklidir. Yapılan denemeler sonucu en ideal model ilk adıma göre Tablo 1'de verildiği şekildedir.

Ürün 2 için MA1 ve SMA12 Otoregresif terimlerinin p değeri 0,05'lik anlamlılık seviyesinden küçüktür. Otoregresif terim için katsayının istatistiksel olarak anlamlı olduğu sonucuna varılabilir ve bu terimleri modelde tutmamız gereklidir. Yapılan denemeler sonucu en ideal model ilk adıma göre Tablo 1'de verildiği şekildedir.

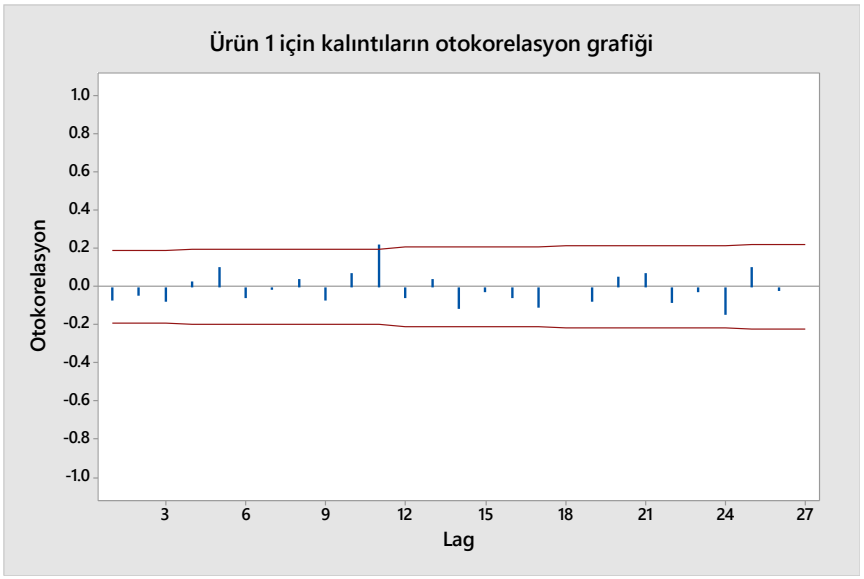
Adım iki'ye göre önerilen model için ortalama kare hatası ürün 1 için 15283'tür. Bu değer kendi başına çok bilgilendirici değildir, ancak farklı SARIMA modellerinin uyumlarını karşılaştırmak için kullandığımızda en düşük kalan MS değerlerinden biri olduğu görülmektedir.

Adım iki'ye göre bu model için ortalama kare hatası ürün 2 için 33260'tır. Daha önce de belirtildiği şekilde bu değer kendi başına çok bilgilendirici değildir, ancak farklı SARIMA modellerinin uyumlarını karşılaştırmak için kullandığımızda en düşük kalan MS değerlerinden biri olduğu görülmektedir.

Adım üç'e göre Tablo 1'deki sonuçlarda, ürün 1 ve ürün 2 için de Ljung-Box ki-kare istatistikleri için p değerlerinin hepsi 0,05'ten büyüktür.



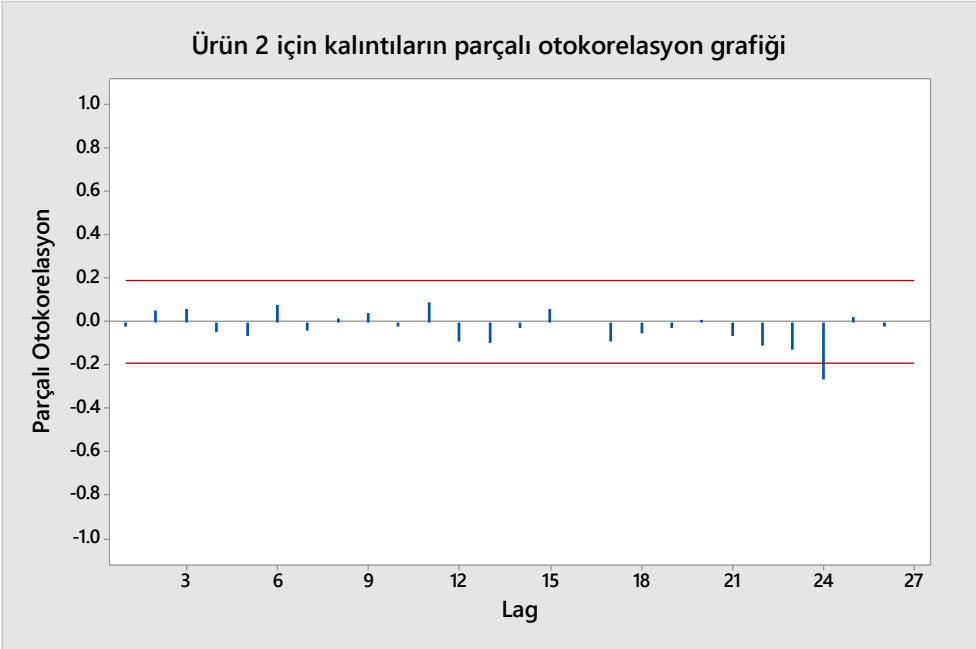
(a)



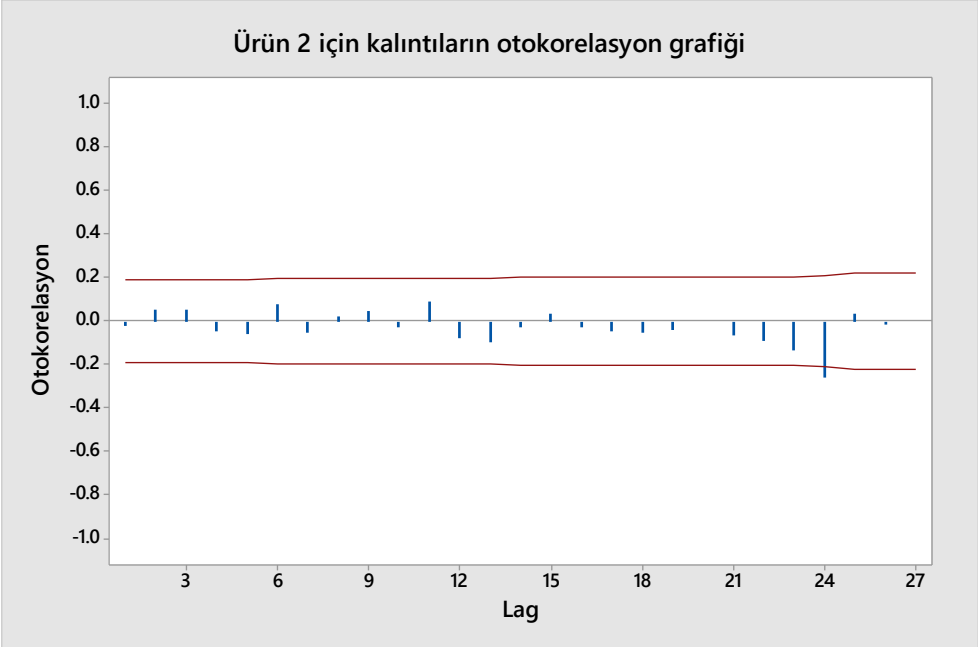
(b)

Şekil 7. Ürün 1 PACF(a), ACF(b) grafikleri

Ürün 1 için kalıntıların otokorelasyon fonksiyonu veya kalıntıların kısmi otokorelasyon fonksiyonu için korelasyonların hiçbiri anlamlı değildir. Modelin kalıntıların bağımsız olduğu varsayımını karşıladığı sonucuna varılabilir (Şekil 7).



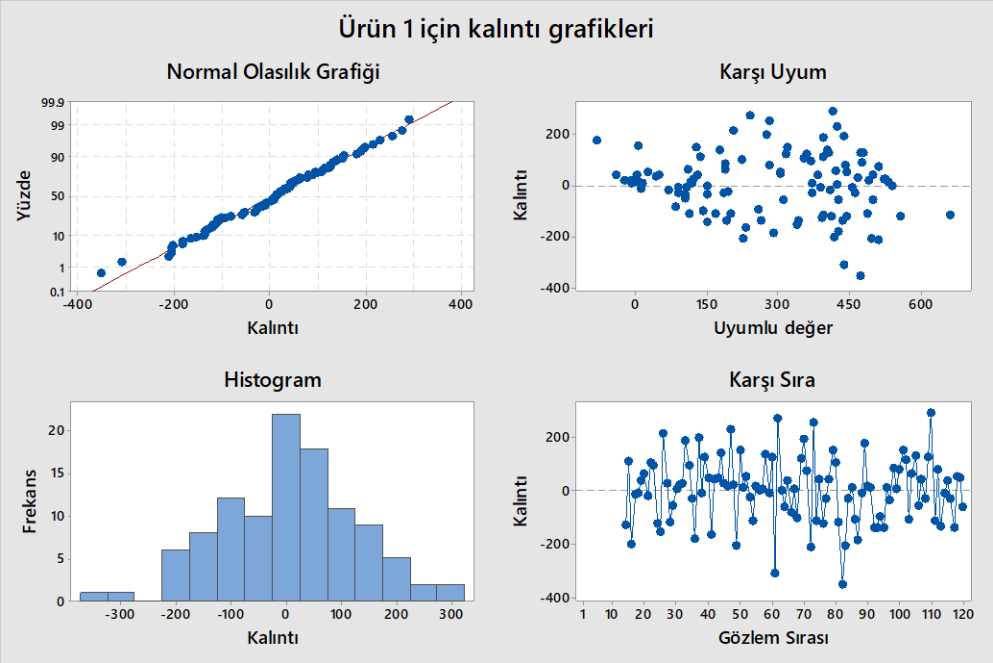
(a)



(b)

Şekil 8. Ürün 2 PACF(a), ACF(b) grafikleri

Ürün 2 için kalıntıların otokorelasyon fonksiyonu veya kalıntıların kısmi otokorelasyon fonksiyonu için korelasyonların hiçbiri anlamlı değildir. Modelin kalıntıların bağımsız olduğu varsayımını karşıladığı sonucuna varılabilir (Şekil 8).

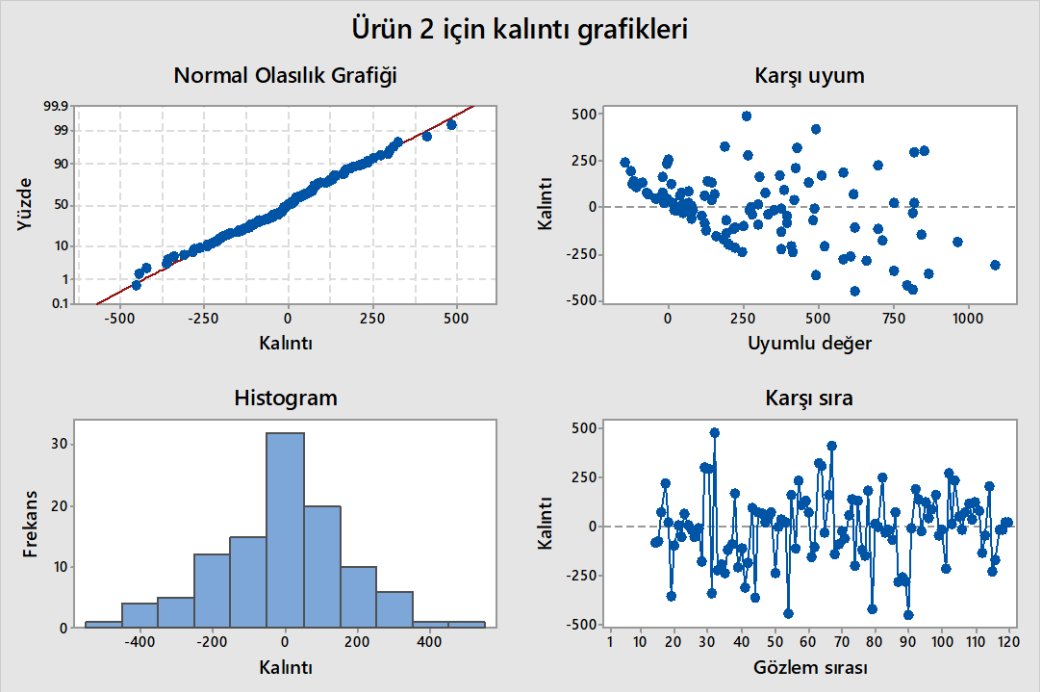


Şekil 9. Ürün 1 için kalıntı grafikleri

Kalıntılar normal dağılımlıysa, kalıntıların normal olasılık grafiği yaklaşık olarak düz bir çizgiyi takip etmelidir. Ürün 1 için kalıntılar normal olasılık grafiğinde yaklaşık olarak düz bir çizgiyi takip etmektedir. Kalıntıların histogramı tüm gözlemler için kalıntıların dağılımını gösterir. Eğer model verilere iyi uyuyorsa, kalıntılar 0 ortalamasına sahip rastgele olmalıdır. Bu yüzden histogram yaklaşık olarak 0 civarında simetrik olmalıdır. Ürün 1 için histogram yaklaşık olarak 0 civarında simetrik denebilir (Şekil 9).

Kalıntıların tarafsız olup olmadığını ve sabit bir varyansa sahip olup olmadığını belirlemek için kalıntılar ve uyumlar grafiği kullanılır. İdeal olan, noktaların 0'ın her iki tarafına rastgele düşmesi ve noktalarda gözle görülebilir bir desen olmamasıdır. Ürün 1 için noktalar 0'ın her iki tarafına rastgele düşmekte ve noktalarda gözle görülebilir bir desen olmamakta denebilir (Şekil 9).

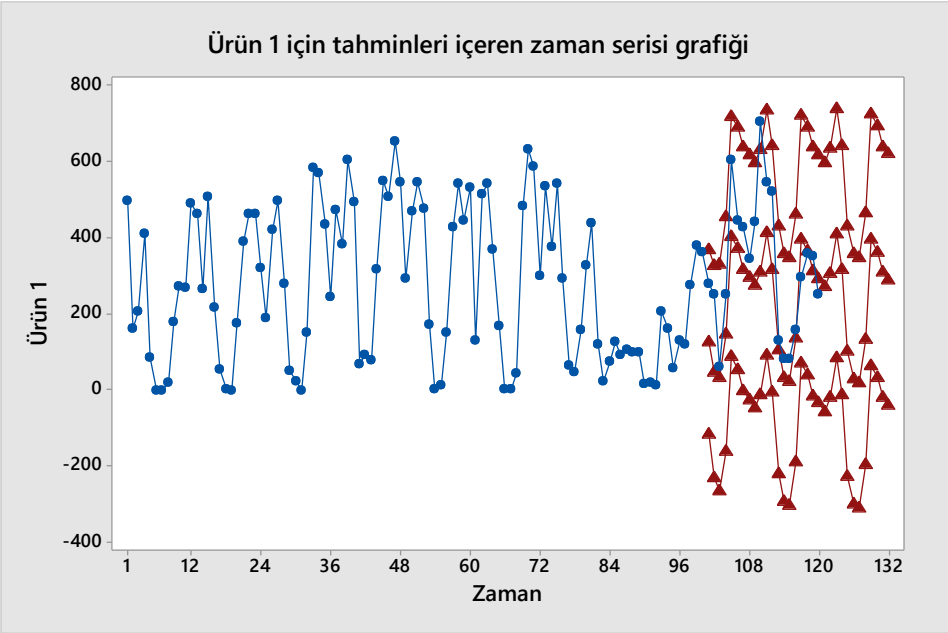
Gözlem periyodu boyunca gözlemlenen değerlerle karşılaştırıldığında uyumların ne kadar doğru olduğunu belirlemek için kalıntılara karşı sıra grafiği kullanılır. Noktalardaki desenler, modelin verilere uymadığını gösterebilir. İdeal olarak, grafikteki kalıntılar merkez çizgisinin etrafına rastgele düşmelidir. Ürün 1 için, grafikteki kalıntılar merkez çizgisinin etrafına rastgele düşmekte denebilir (Şekil 9).



Şekil 10. Ürün 2 için kalıntı grafikleri

Ürün 2 ise için kalıntılar normal olasılık grafiğinde yaklaşık olarak düz bir çizgiyi takip etmektedir. Ürün 2 için yine histogram yaklaşık olarak 0 civarında simetrik denebilir. Kalıntılar ve uyumlar grafiğine göre Ürün 2 için noktalar 0'ın her iki tarafına rassal olarak düşmekte ve noktalarda gözle görülebilir bir desen olmamakta denebilir. Kalıntılara karşı sıra grafiğine göre Ürün 2 için, grafikteki kalıntılar merkez çizgisinin etrafına rastgele düşmekte denebilir (Şekil 10).

.

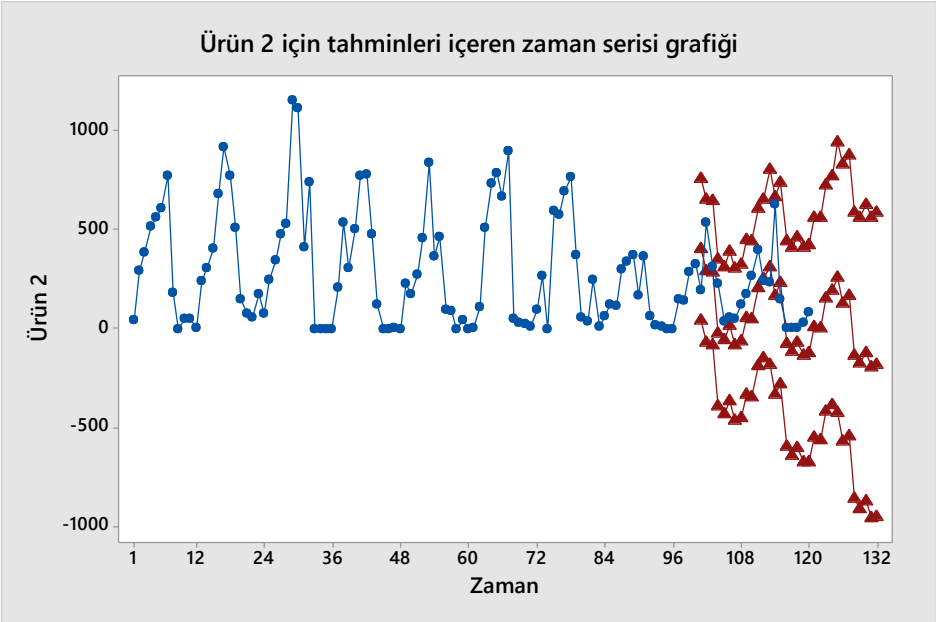


Şekil 11. Ürün 1 zaman serisi tahmin grafikleri

Ürün 1 için 100. Aydan itibaren 132. Aya kadar yapılan tahminleri ve 1 ile 120. Aylar arasındaki gerçek değerleri gösteren grafik Şekil 11'de sunulmuştur. Tablo 2 ise 121-132. Aylar için yapılan tahmin değerlerini göstermektedir.

Tablo 2. Ürün 1 için 121-132.ayların tahminleri

Dönem	Tahmin
121	271,617
122	309,051
123	412,566
124	316,868
125	103,796
126	31,138
127	20,460
128	135,802
129	396,204
130	364,494
131	311,626
132	291,552



Şekil 12. Ürün 2 zaman serisi tahmin grafikleri

Ürün 2 için 100. Aydan itibaren 132. Aya kadar yapılan tahminleri ve 1 ile 120. Aylar arasındaki gerçek değerleri gösteren grafik şekil y2'de sunulmuştur. Tablo y2 ise 121-132. Aylar için yapılan tahmin değerlerini göstermektedir.

Tablo 3. Ürün 2 için 121-132.ayların tahminleri

Dönem	Tahmin
121	154,802
122	211,052
123	347,019
124	257,221
125	205,239
126	585,688
127	191,845
128	70,204
129	2,618
130	10,128
131	25,948
132	85,671

Sonuçları kıyaslanacak olursa, Karakaş (2019), Türkiye İhracatçılar Meclisi internet sitesinden elde edilen 2013-2018 yılları arasındaki aylık otomotiv sanayi ihracat geliri verileri kullanarak yaptığı benzer analizler neticesinde, ARIMA (1,2,1)(0,1,1)12 modelinin tahmin için uygun olduğu ortaya konmuştur. Önerilen model kullanılarak 2019 yılı aylık ihracat geliri tahmini elde edilmiştir. Çiftçi ve Sir (2023) bir acil servise başvuru sayısının tahmini amaçlamış ve Ele alınan, mevsimsel özelliklere sahip verilere yönelik olarak, zaman serisi analizi yöntemlerinden SARIMA, Holt-Winters ve ayrıştırma; makine öğrenmesi yöntemlerinden rastgele ağaç ve rastgele orman teknikleri kullanılmıştır. Yapılan analizlerde SARIMA yönteminin, acil servise yapılacak başvuru sayısının tahmin edilmesinde diğer yöntemlere göre daha etkili sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca hataların normal dağılım grafiklerini inceleyerek en uygun SARIMA modeline karar vermiştir. Çevik ve Yürekli (2003) ise benzer bir şekilde aylık akım serisinin modellenmesinde 361 adet ARIMA(p,d,q)(P,D,Q) modeli kullanılmıştır. Uygun modelin seçiminde, ARIMA(p,d,q)(P,D,Q) modellerinden hesaplanan kalıntıların bağımsız olup olmadıkları göz önüne alınmıştır. Dabral ve Murry (2017) SARIMA modelinin yeterliliğini, Ljung-Box (Q) istatistik testini kullanılarak doğrulamıştır. Ljung-Box istatistiklerinin p-değerleri kritik değeri ($p = 0.05$) aştığından, SARIMA model kalıntılarında otokorelasyon olduğu yönündeki sıfır hipotezi reddedilmiştir. Analiz sonucunda, kalıntıların rastgele bir yapıya sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Martinez-Acosta v.d. (2020), Aylık yağış zaman serileri için SARIMA modelleri geliştirmiştir. En iyi SARIMA modelleri, otokorelasyon fonksiyonu (ACF), kısmi otokorelasyon fonksiyonu (PACF) ve Akaike Bilgi Kriteri (AIC) değerlerinin minimum olmasına dayalı olarak seçilmiştir. Ljung-Box istatistik testi sonucunda, her bir modelin kalıntılarının rastgeleliği ve homojenliği gösterilmiştir. Mombeni v.d. (2013)'in çalışmalarında uygulanan modeller mevsimsel olmasına rağmen, artıklar durağan olmalıdır,

böylece standart güven aralıkları hâlâ geçerli olur. Artık grafikleri herhangi bir düzen göstermemiş olup, bu da uygulanan SARIMA modellerinin yeterli olduğuna dair kanıt sağlamıştır.

4. Sonuç

Tarım makinelerinin üretim adetlerinin zaman serisi analiz yöntemleriyle tahmin edilmesi, işletmelerin üretim kaynaklarını etkili ve doğru bir şekilde planlaması açısından kritik bir öneme sahiptir. Üretim planlamasının doğru tahminlere dayanması hem üretim maliyetlerini optimize etmeye hem de talep karşısında esneklik kazanmaya olanak tanır. Bu bağlamda yapılan çalışmada, zaman serisi analiz yöntemlerinden biri olan SARIMA modeli kullanılarak, bir tarım makineleri üreticisi işletmenin iki önemli ürünü için üretim adetleri tahmin edilmiştir. Çalışmada, tahminleme sonuçları detaylı bir şekilde incelenmiş, model değerlendirme adımları uygulanmış ve her bir ürün için en uygun SARIMA modeli belirlenmiştir. Belirlenen modeller şu şekilde verilebilir.

- **Ürün 1**: SARIMA (1,1,2)(0,1,1)121212
- **Ürün 2**: SARIMA (0,1,1)(1,1,0)121212

Bu modeller, model değerlendirme kriterlerine göre en uygun sonuçları vermiştir. Tahmin edilen üretim adetleri, işletmenin kaynak planlamasına ve talep tahminlerine değerli bir katkı sağlamıştır.

Tarım makinelerinin üretim adetlerinin tahmini üzerine yapılan literatür taramasında, bu çalışmanın SARIMA yöntemi kullanılarak geniş çaplı bir analiz gerçekleştiren ilk çalışma olduğu görülmüştür. Çalışma, özellikle SARIMA gibi zaman serisi analiz yöntemlerinin tarım makineleri üretiminde nasıl etkili bir araç olabileceğini göstermesi açısından önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra, bu çalışmanın son yıllarda yaşanan iklim değişikliği verilerini içermesi, tarım sektöründe artan belirsizlikler ve değişkenliklerin daha iyi anlaşılmasına yönelik önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

İklim değişikliği, tarım sektörü üzerinde ciddi etkiler yaratmakta ve bu durum, tarım makinelerine olan talepte dalgalanmalara neden olabilmektedir. Bu bağlamda, çalışmada kullanılan veri setinin güncel ve değişen çevresel koşulları yansıtması, gelecekteki tahmin modellerine ışık tutacak önemli bir özellik olarak ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan SARIMA modeli, mevcut veri seti ve koşullara uygun en iyi sonuçları vermiştir. Ancak, gelecekte yapılacak çalışmalarla daha uzun bir zaman aralığını kapsayan veri setlerinin analize dahil edilmesi, tahmin sonuçlarının doğruluğunu artırabilir. Özellikle, tarım makinelerinin üretim tahminlerinde farklı model değerlendirme kriterlerinin kullanımı göz önüne alınırsa daha gelişmiş model değerlendirme yöntemlerinin dahil edilmesiyle, mevcut modellerin performansı daha detaylı analiz edilebilir. Makine öğrenmesi ve hibrit yöntemler gibi derin öğrenme yöntemleri veya makine öğrenmesine dayalı algoritmaların SARIMA gibi zaman serisi analiz yöntemleriyle birleştirilmesi, daha güçlü ve esnek tahmin modelleri oluşturabilir. Bu yöntemler, büyük veri setleriyle çalışmaya daha uygun olduğundan, üretim ve talep tahminlerinde gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilebilir.

Gelecekte yapılacak çalışmalar, yalnızca kısa vadeli tahminler değil, aynı zamanda uzun vadeli tahminleri de kapsayacak şekilde genişletilebilir. Bu tür tahminler, işletmelere periyodik kapasite planlaması avantajı sağlayarak üretim altyapısının ve kaynaklarının optimize edilmesini sağlar.

Küresel iklim değişikliğinin etkilerinin izlenmesi ile İklim değişikliğinin tarım makineleri üretimi ve talebi üzerindeki etkilerinin analiz edilmesi mümkün hale gelir. Talep dalgalanmalarının yönetilmesi bağlamında belirsiz talepleri karşılamaya yönelik stratejik bir yol haritası oluşturulması olanağı ortaya çıkar.

SARIMA modelinin performansını daha da iyileştirmek için genetik algoritmalar veya farklı optimizasyon yöntemleri kullanılabilir. Bu tür algoritmalar, model parametrelerinin daha etkili bir şekilde belirlenmesini sağlayarak tahmin doğruluğunu artırabilir. Örneğin, mevcut çalışmada kullanılan SARIMA modelleri, bu algoritmalar yardımıyla daha iyi sonuçlar verebilir ve tahmin performansı daha da güçlendirilebilir.

Çalışmada kullanılmayan diğer makine öğrenmesi yöntemlerinin aynı veri seti üzerinde uygulanması, yeni çalışma alanları yaratabilir. Büyük veri setleri, genellikle makine öğrenmesi modelleriyle daha iyi performans gösterdiğinden, bu yöntemlerin SARIMA ile karşılaştırılması ve aralarındaki farkların incelenmesi literatüre değerli katkılar sağlayabilir.

Sonuç olarak, bu çalışma, SARIMA yöntemiyle tarım makineleri üretim tahmini alanında öncü bir analiz sunarken, gelecekteki araştırmalar için yeni yöntemlerin ve daha kapsamlı veri setlerinin kullanılmasının önemini vurgulamaktadır. Bu tür çalışmalar, tarım makineleri sektörünün gelecekteki üretim planlamasına ve stratejik karar alma süreçlerine rehberlik edecek potansiyele sahiptir.

Teşekkür

Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakemlere teşekkür ederiz.

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

Akusta A. Konut piyasası trendlerinin çözümlenmesi: Türkiye'de toplam konut satışlarının tahmini. Necmettin Erbakan Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi 2024; 6(1): 113-127.

Ashutosh KD., Abhishek K., Vicente GD., Arpit KS., Kishan K. Study and analysis of SARIMA and LSTM in forecasting time series data. Sustainable Energy Technologies and Assessments 2021; 47: 101474

Box G., Jenkins G. Time series analysis: Forecasting and control. 5th ed.San Francisco: Holden-Day; 1970.

Chikkakrishna NK., Hardik C., Deepika K., Sparsha N. Short-term traffic prediction using SARIMA and FBPropeth. 16th India Council International Conference (INDICON), 2019, sayfa no*:* 1-4, India.

Çevik O., Yürekli K. Mevsimsel ARIMA modeli kullanılarak Yeşilırmak nehri aylık akım serisinin Modellenmesi. Tarım Bilimleri Dergisi 2003; 9(3): 261-268.

Çiftçi S., Batur Sir GD. Acil servise başvuru sayısının zaman serisi analiz ve makine öğrenmesi yöntemleri ile tahmin edilmesine yönelik bir uygulama. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2023; 29(7): 667-679

Dabral PP., Murry MZ. Modelling and forecasting of rainfall time series using SARIMA. Environmental Processes 2017; 4: 399-419.

Dickey DA., Fuller WA. Distributions of the estimators for autoregressive time series with a unit root, Journal of American Statistical Association 1979; 74(366): 427-481.

Divisekara RW., Jayasinghe GJMSR., Kumari KWSN. Forecasting the red lentils commodity market price using SARIMA models. SN Business & Economics 2021; 1: 20.

Hanke JE., Wichern D. Business forecasting. England. 9th ed.England: Pearson Education;2014

He K., Lei J., Chi WDW., Kwok FGT. Using SARIMA–CNN–LSTM approach to forecast daily tourism demand. Journal of Hospitality and Tourism Management 2021; 49: 25-33.

Karakaş E. Türkiye'nin otomotiv ihracat gelirinin ARIMA modeli ile tahmin edilmesi, Journal of Yasar University 2019; 14(55): 318-328.

Komori-Zevallos AR., Montedoro-Garay FM., Garcia-Lopez YJ., Quiroz Flores JC. A production model based in lean 4.0 principles and machine learning to enhance the productivity of small and medium-sized enterprises (SMEs) in Peru's food manufacturing sector. Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics, Şubat 2023, sayfa no:139-150, Hannover, Germany.

Liu J., Zhao Z., Zhong Y., Zhao C., Zhang G. Prediction of the dissolved gas concentration in power transformer oil based on SARIMA. Energy Reports 2022; 8(5): 1360-1367.

Loganathan N., Ibrahim Y. Forecasting international tourism demand in Malaysia using Box Jenkins SARIMA application, South Asian Journal of Tourism and Heritage 2010; 3(2): 50-60.

Martínez-Acosta L., Medrano-Barboza JP., López-Ramos Á., Remolina López JF., López-Lambraño ÁA. SARIMA approach to generating synthetic monthly rainfall in the Sinú River Watershed in Colombia. Atmosphere 2020; 11(6): 602.

Megha S., Namita M., Anukram MA., Arun G. Time-series forecasting of power consumption and feature extraction in agriculture sector using machine learning. International Journal of Power and Energy Systems 2023; 43(10).

Milenković M., Švadlenka L., Melichar V., Bojović N., Avramović Z. SARIMA modelling approach for railway passenger flow forecasting. Transport 2018; 33(5): 1113-1120.

Mombeni HA., Rezaei S., Nadarajah S.. Estimation of water demand in Iran based on SARIMA models. Environmental Modeling and Assesment. 2013*;* 18: 559–565

Oliveira CDG. Indústria de máquinas agrícolas no Brasil: um modelo para estimação da demanda de tratores para o triênio 2016–2018. Foundation Getúlıo Vargas School Of Economics Of São Paul Master tezi, Sao Paul, Brasil, 2016.

Önen V. Using the ARIMA and ARIMAX methodologies to estimate, model, forecast, and compare airline passenger transportation demand in Türkiye. Journal of Transportation and Logistics 2023; 8(2): 242-273.

Peng C., Aichen N., Duanyang L., Wei J., Bin M. Time series forecasting of temperatures using SARIMA: an example from Nanjing. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2018; 394(5): 052024.

Vagropoulos SI., Chouliaras GI., Kardakos EG., Simoglou CK., Bakirtzis AG. Comparison of SARIMAX, SARIMA, modified SARIMA and ANN-based models for short-term PV generation forecasting," IEEE International Energy Conference (ENERGYCON) 4-8 Nisan 2016, sayfa no: 1-6. Leuven, Belgium

Valipour M. Long-term runoff study using SARIMA and ARIMA models in the United States. Meteorological Applications 2015; 22: 592-598.

Wei WWS. Time series analysis. Addision Wesley Publishing Company, California, 1989; 478 s.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1169-1186, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1169-1186, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Milk Production Curves Obtained from Cows Raised in Türkiye According to Years and Determination of Production Differences with the Help of Cluster Analysis and Friedman Test

Alper GÜVEN[1], Murat ÇİMEN[2*]

[1]Munzur University, Faculty of Fine Arts, Design and Architecture, Faculty, Department of Gastronomy and Culinary Arts, Tunceli, Türkiye
[2]CMN Statistics and Scientific Research Center, Çorum, Türkiye

[1]https://orcid.org/0009-0007-6698-9754
[2]https://orcid.org/0000-0003-4290-2718
*Corresponding author: mcimen19@gmail.com

Research Article

Article History:
Received: 16.10.2024
Accepted: 18.03.2025
Published online: 16.06.2025

Key words:
Cow
Cluster analysis
Friedman test
Milk production curve

ABSTRACT

In the study, cluster analysis and Friedman tests were used to create curves for cow milk yields in Türkiye between 2010-2023 and to determine yield differences. For this purpose, milk yield records obtained from TUIK for the years in question were used. Since data before 2010 could not be accessed, 2010 was taken as the starting date. When the figures obtained in the study are examined, it is striking that the years generally show similar curves. These curves generally show a decrease from January to February, then an increase until May. Milk yield values, which reach their peak in May, decrease again until November. After this month, a new increase is noted in December. The months showing maximum and minimum values in the graphs of 2016 and 2017 are different. Therefore, different curves were obtained for these years compared to other years. When the curves of all years, cluster analysis and Friedman test results are examined in general, it can be said that the highest production was determined in May and the lowest production in November. The reason for these differences should be investigated for the years 2016 and 2017, when different curve results were obtained. The findings of this study are important in terms of providing preliminary information for those who will conduct model studies on milk production in our country. In addition to the evaluation of curve graphs, it has been seen from the research findings that different statistical techniques such as cluster analysis and Friedman test give effective results in this type of data. Both cluster analysis and Friedman test methods are test methods that can be used safely in new studies where curve graphs will be made.

Türkiye'de Yetiştirilen İneklerden Elde Edilen Süt Verimi Eğrilerinin Yıllara Göre İncelenmesi ve Kümeleme Analizi ve Friedman Testi Yardımıyla Üretim Farklılıklarının Belirlenmesi

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 16.10.2024
Kabul tarihi:18.03.2025
Online Yayınlanma: 16.06.2025

Anahtar Kelimeler
İnek
Kümeleme analizi
Friedman test
Süt verimi eğrisi

ÖZ

Araştırmada, Türkiye'de 2010-2023 yılları arasında inek sütü verimlerine ait eğrilerin oluşturulması ve verim farklılıklarının belirlenmesinde kümeleme analizi ve Friedman testleri kullanılmıştır. Bu amaçla söz konusu yıllara ait TUİK'ten elde edilen süt verimi kayıtları kullanılmıştır.2010 yılından önceki verilere ulaşılamadığı için başlangıç tarihi olarak 2010 yılı alınmıştır. Araştırmada elde edilen rakamlara bakıldığında yılların genel olarak benzer eğriler gösterdiği dikkat çekmektedir. Bu eğriler genel olarak Ocak ayından Şubat ayına kadar bir düşüş, ardından Mayıs ayına kadar bir artış göstermektedir. Mayıs ayında pike ulaşan süt verimi değerleri, Kasım ayına kadar tekrar düşüş göstermektedir. Bu aydan sonra Aralık ayında yeni bir artış dikkat çekmektedir.2016 ve 2017 yıllarına ait grafikte maksimum ve minimum değer

gösteren aylar farklılık göstermektedir. Bu nedenle bu yıllar için diğer yıllara göre farklı eğriler elde edilmiştir. Tüm yıllara ait eğriler, kümeleme analizi ile Friedman testi sonuçları genel olarak incelendiğinde en yüksek üretimin Mayıs ayında, en düşük üretimin ise Kasım ayında belirlendiği söylenebilir. Farklı eğri sonuçlarının elde edildiği 2016 ve 2017 yılları için bu farklılıkların nedeni araştırılmalıdır. Bu çalışmanın bulguları ülkemizde süt üretimi ile ilgilenen model çalışmaları yapacaklar için ön bilgi olması açısından önem taşımaktadır. Eğri grafiklerinin değerlendirilmesinin yanı sıra bu tip verilerde kümeleme analizi ve Friedman testi gibi farklı istatistiksel tekniklerin etkili sonuçlar verdiği araştırma bulgularından görülmüştür. Hem kümeleme analizi hem de Friedman testi yöntemi eğri grafiklerinin yapılacağı yeni çalışmalarda güvenle kullanılabilecek test yöntemleridir.

To Cite: Güven A., Çimen M. Milk Production Curves Obtained from Cows Raised in Türkiye According to Years and Determination of Production Differences with the Help of Cluster Analysis and Friedman Test. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1169-1186.

1. Introduction

To know milk production curve makes it possible valuable insights in planning optimum management models related to health, feeding, and breeding in dairy cows (Lee et al., 2020). By recognizing the curves, it becomes possible to intervene in the negativities observed. Milk production also varies depending on seasonal changes throughout the year (Cimen et al., 2010; Biswal et al., 2020). Periodic changes in milk production require different measures to be taken within the enterprise. It is possible to list many factors such as milk preservation, marketing, feeding patterns and maintenance work among these measures. Curves, in which changes in both milk production and milk biochemical parameters were shown, have been the subject of many studies (Piccardi et al., 2017). In this study, the curves formed by the monthly production amounts of cow milk produced in Turkey between 2010 and 2023 were tried to be shown separately for each year. Differences that can be seen in the curves according to years will constitute an important source for determining possible problems in the years when the differences are observed. It is of great importance to repeat similar studies not only across Turkey but also on a provincial basis and in other animal species. In addition, establishing the curves to be determined in these studies not only for milk yield but also for milk biochemical parameters will provide great gains for the sector working in the field of milk production. Prediction of milk yield through modeling plays an important role in improving the production efficiency and sustainability of the dairy industry. Methods and models developed according to lactation and milk production periods will be decisive for all kinds of improvement to be applied in the dairy industry (Oliveira et al., 2024). The results of the curves and cluster analysis determined by years in our study are thought to be of great importance in terms of providing insight and guidance in modeling that can be done for lactation and milk production periods in our country.At the same time, it will provide great benefits in terms of obtaining up-to-date information by looking at the curves formed by the fluctuations in annual milk productions in our country, as well as what kind of improvement should be made against possible disruptions. This study aims to show the efficiency of cluster analysis and Friedman test in this field in terms of showing the differences between treatment groups in the studies to be conducted on lactation curves and clearly revealing the differences seen while the curves are being formed. Because no studies

were found in the literature review that included comments made with these two test models on lactation curves.

2. Material and Methods

2.1. Obtaining Data

The data used in obtaining cluster analysis results and creating curves of milk production data were taken from TUIK (2024). The data between 2010-2023 examined in the current study represents the total of Turkey's provinces. Since data before 2010 are not available within TUIK, they could not be included in the research. Data in Excel format was downloaded by entering the TUIK data page via the internet connection of Çorum Hitit University Library.

2.2. Shaping of the Curves

In shaping the curves, the graphs were obtained by entering the Graphs>Chart Builder menu from the SPSS package program. SPSS 18.0 package program was used to form the graphics. The results seen in the SPSS output were copied and transferred to a word file.

2.3. Cluster Analysis Application

In the first clustering chart, the month factor was eliminated by combining and a clustering chart was formed by years. In the second clustering chart, the year factor was eliminated by combining and a clustering chart was formed by months. SPSS 18.0 package program was used to apply cluster analysis to the research data. Euclidean distance and Ward method were used in Hierarchical clustering analysis (HCA) performed with the help of SPSS. The algorithm measures the similarity between objects using Euclidean distance, and groups them into cluster. The Euclidean distance measure calculates the distance as a "straight line" between two clusters (Anonymous, 2024).

2.4. Application of Friedman Test Analysis

For Friedman analysis, first the years were eliminated and the analysis was done according to months, then the months were eliminated and the analysis was done according to years. The differences that could be seen according to months and years were reached in this way. For the analysis, the SPSS 18.0 package program was entered from the non parametric test > legacy dialogs > k related samples section. Then, the Friedman test analysis button was marked and the analysis results were reached.

To find the test statistic in the Friedman test, it is used the following formula (Riffenburg, 2006):

$$F = \left[\frac{12}{[N * k * (k+1)]}\right] * \Sigma R^2 - [3 * N * (k+1)]$$

Where N is the blocks, groups (number of lines), k is the transactions (number of columns), and R is the total ranks for each of the columns of data (Karagöz, 2014).

3. Results and Discussion

3.1. Monthly Milk Production Curves

Monthly curves of milk production are shown in the relevant figures (Figure 1-14) for each year respectively. It is possible to see the fluctuations of the curves according to months from the figures (Figure 1-14).

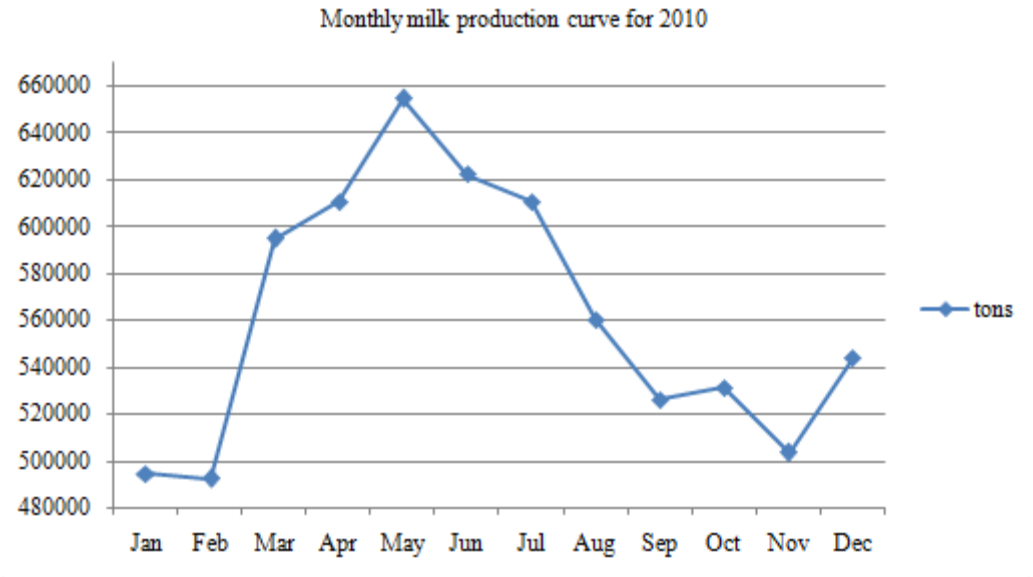


Figure 1. Monthly cow milk production in Turkey for 2010 (tons)

When Figure 1 was examined, raw milk production, which was 490 thousand tons in January, peaked in May (654 thousand tons). Production decreased in the following months, falling to 500 thousand tons in November. It was seen that production started to rise again in December. When the milk production curve is examined, a curve that increases until May and then decreases is noteworthy.

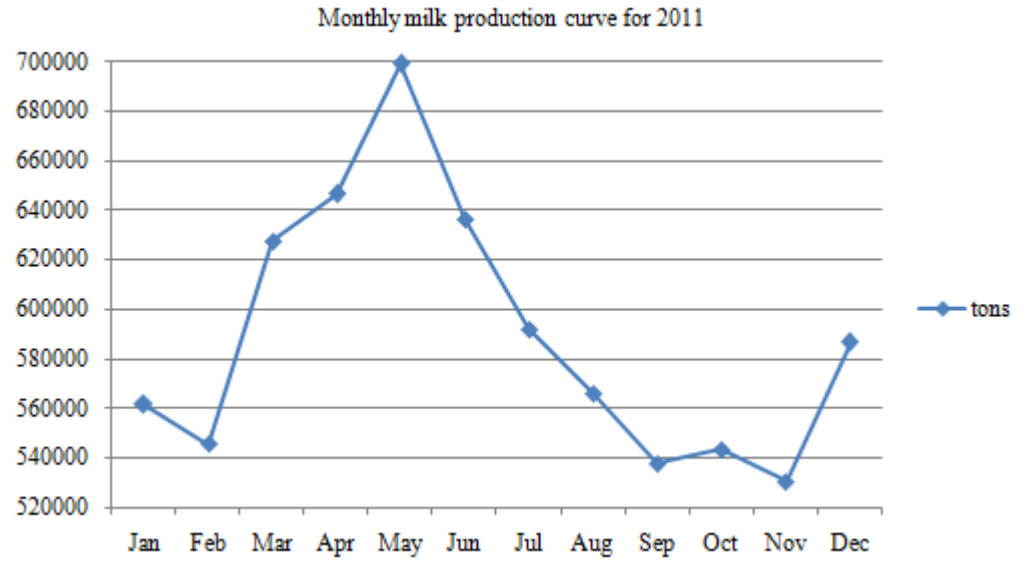


Figure 2. Monthly cow milk production in Turkey for 2011 (tons)

Figure 2 shows a curve similar to Figure 1. There was an increase until May (700 thousand tons) and then a decrease until November (530 thousand tons).

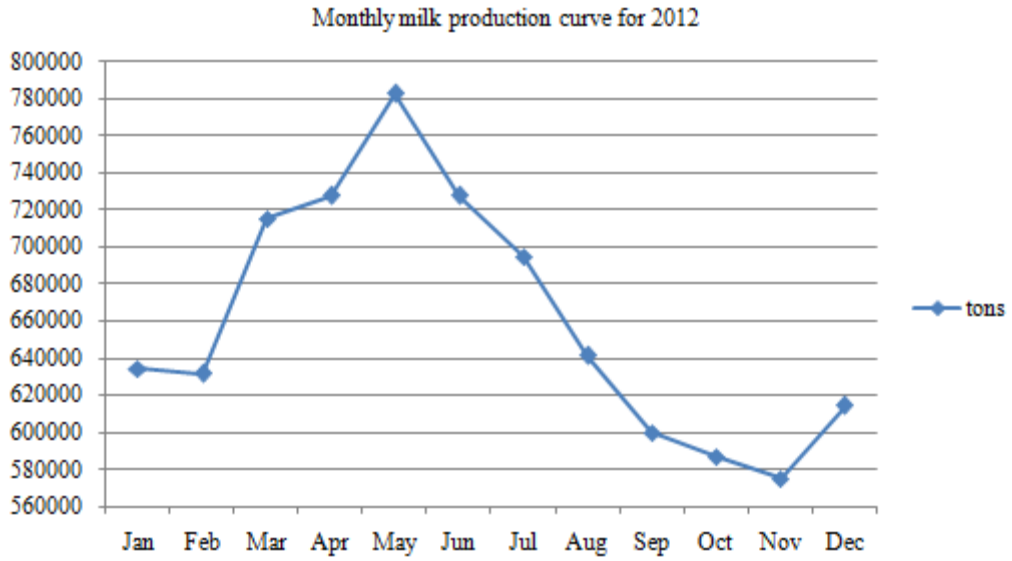


Figure 3. Monthly cow milk production in Turkey for 2012 (tons)

Figure 3 shows a distribution similar to the previous figures. While milk yield was at its peak in May (783 thousand tons), it was found to be at its lowest in November (575 thousand tons).

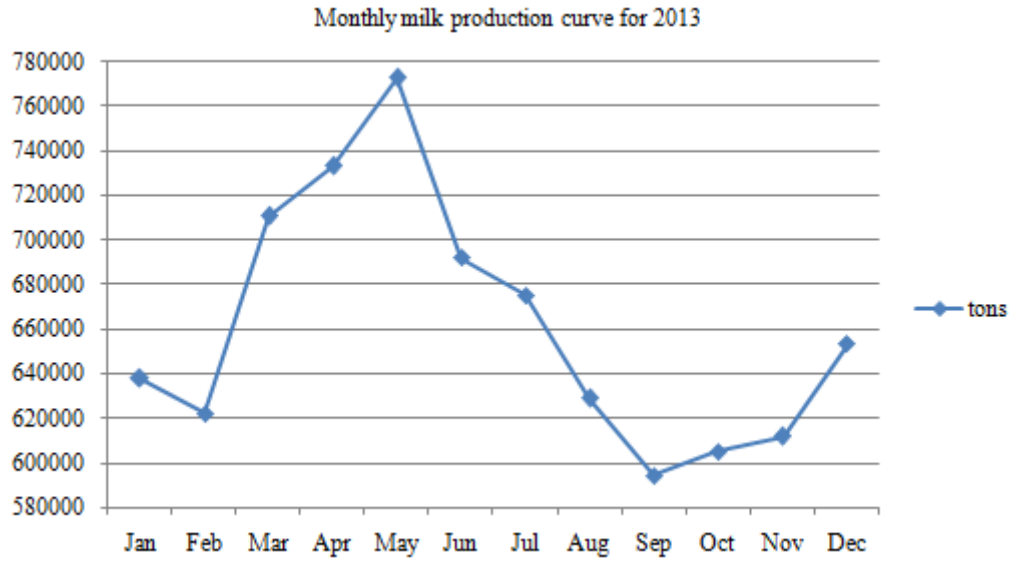


Figure 4. Monthly cow milk production in Turkey for 2013 (tons)

The maximum milk production amount, which was 773 thousand tons in May, decreased to the lowest level with 594 thousand tons in September, unlike other figures (Figure 4).

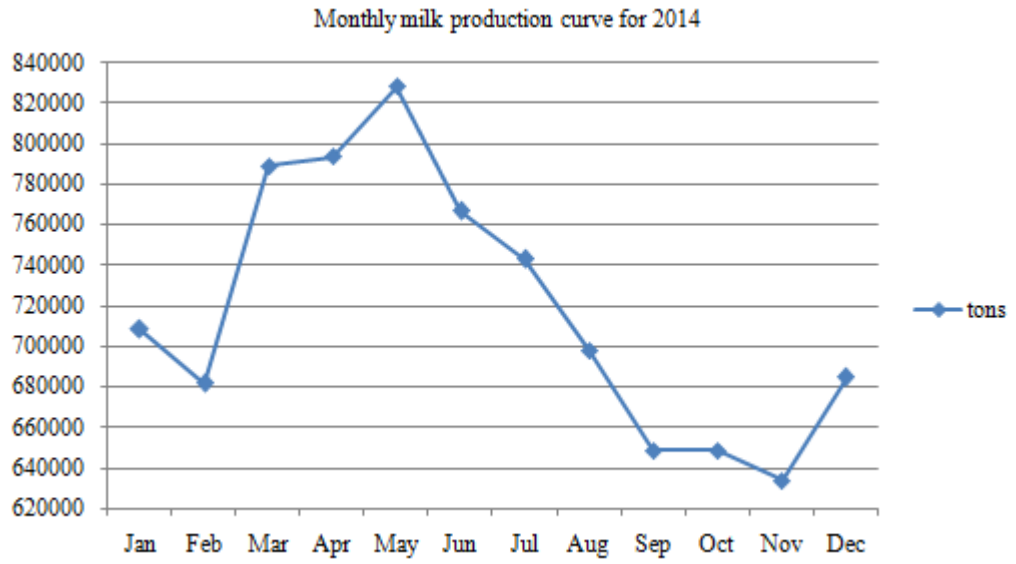


Figure 5. Monthly cow milk production in Turkey for 2014 (tons)

Figure 5 has a similar structure to the curves from other years, except Figure 4. Again, the highest (828 thousand tons) milk production amounts were achieved in May and the lowest (634 thousand tons) in November.

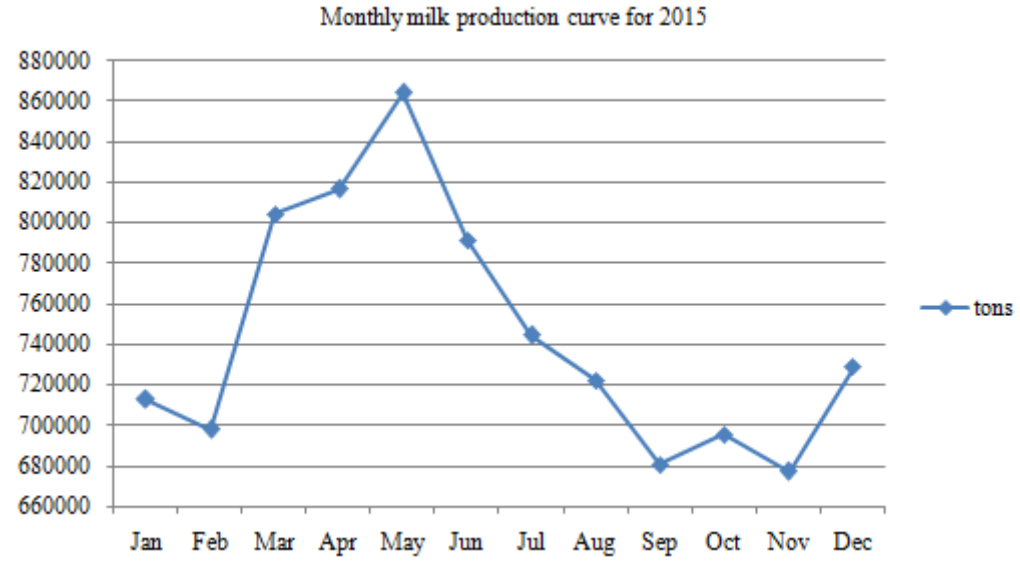


Figure 6. Monthly cow milk production in Turkey for 2015 (tons)

When the values of 2015 were examined, the highest values in May (864 thousand tons) and the lowest values in November (677 thousand tons) were found to be noteworthy as depicted in Figure 6.

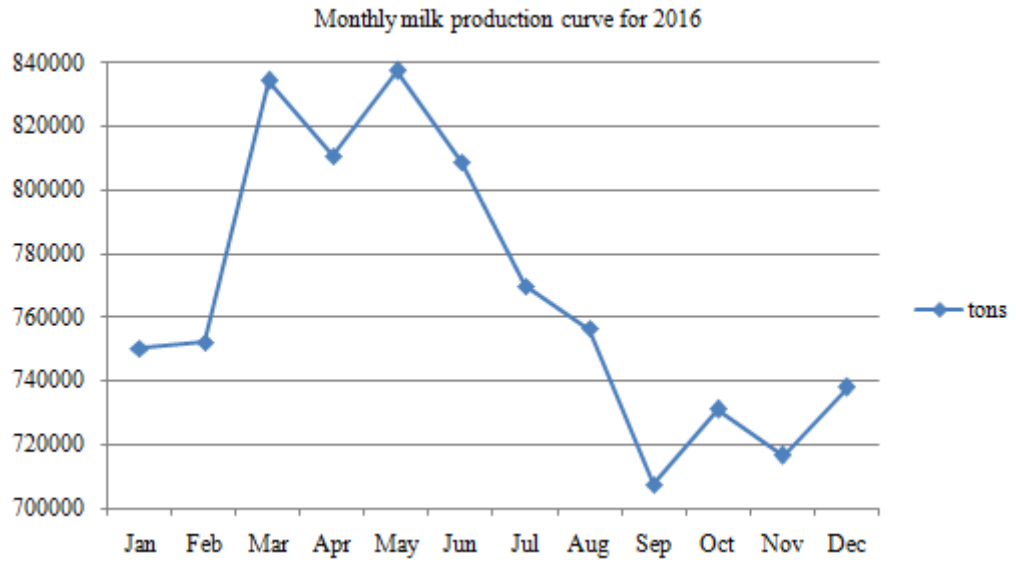


Figure 7. Monthly cow milk production in Turkey for 2016 (tons)

The curve expressing the milk production amount in Figure 7 differs from the previous curves. While the highest values in the previous curves were seen only in May, it is noteworthy that the months of March (834 thousand tons) and May (837 thousand tons) showed similar values in Figure 7. In addition, unlike the previous figures, the minimum values were seen in September (707 thousand tons) of this year.

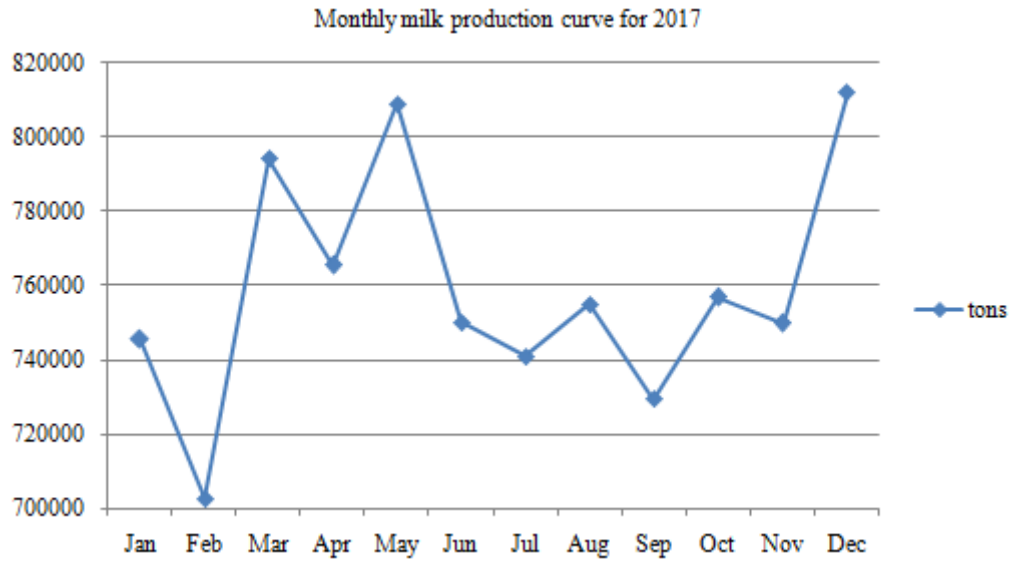


Figure 8. Monthly cow milk production in Turkey for 2017 (tons)

The curve of the production quantities shown in Figure 8 has had a completely different structure from the curves seen in other figures. Interestingly, the lowest milk production was observed in February (702 thousand tons), while the highest production was determined as 812 thousand tons in December.

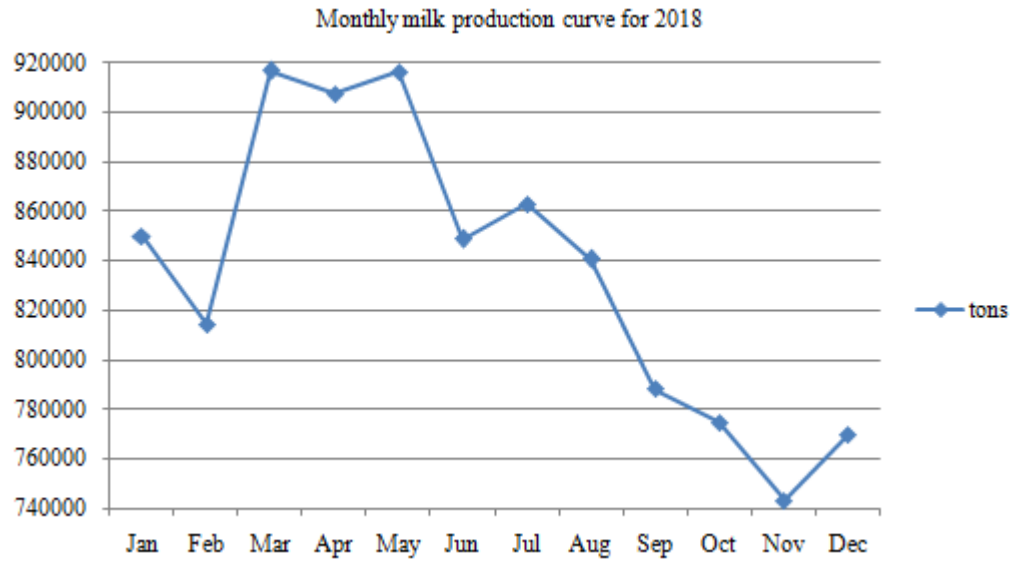


Figure 9. Monthly cow milk production in Turkey for 2018 (tons)

When Figure 9 is examined, it is seen that the highest milk production (916 thousand tons) in 2018 was achieved in March and May. The lowest milk production was obtained in November (743 thousand tons).

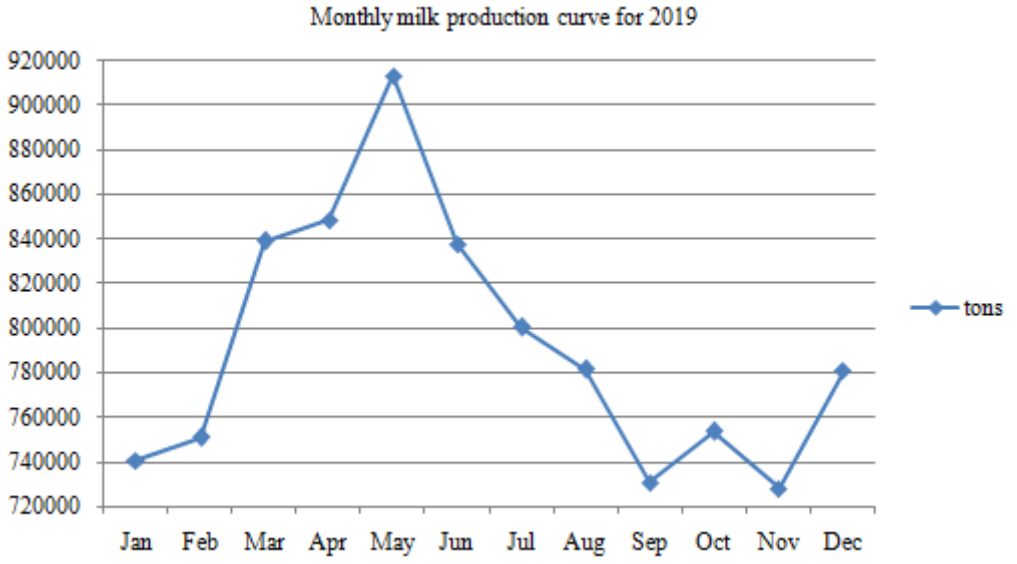


Figure 10. Monthly cow milk production in Turkey for 2019 (tons)

The highest milk production in 2019 was observed in May (913 thousand tons). The lowest milk production was obtained in November (728 thousand tons) (Figure 10).

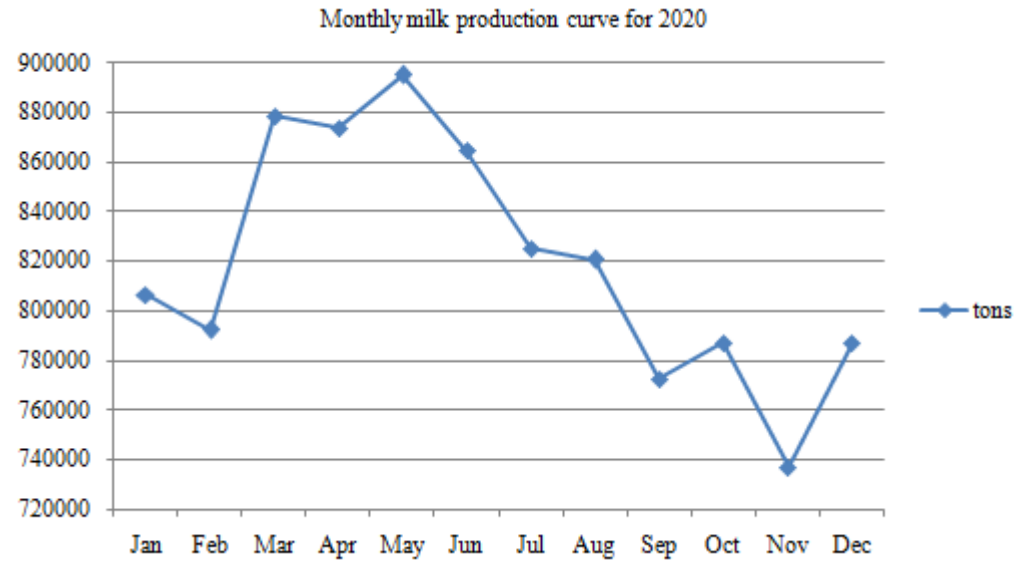


Figure 11. Monthly cow milk production in Turkey for 2020 (tons)

Looking at Figure 11, it is seen that the highest milk production (895.000 tons) in 2020 was achieved in May. The lowest milk production was obtained in November (737.000 tons).

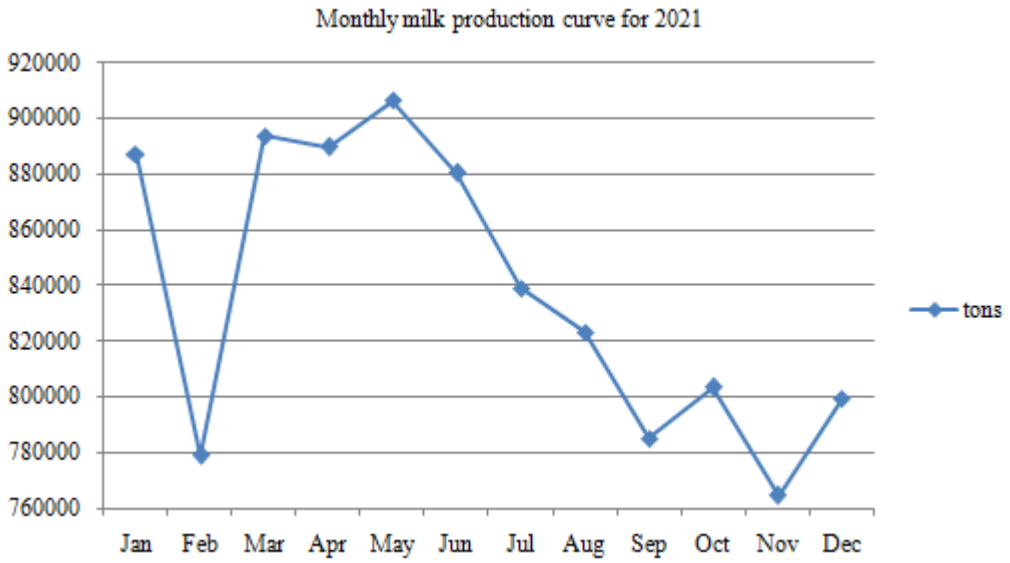


Figure 12. Monthly cow milk production in Turkey for 2021 (tons)

When the curve for 2021 is examined (Figure 12), it is noted that the highest milk production (906 thousand tons) was achieved in May. The lowest milk production was observed in November (764 thousand tons).

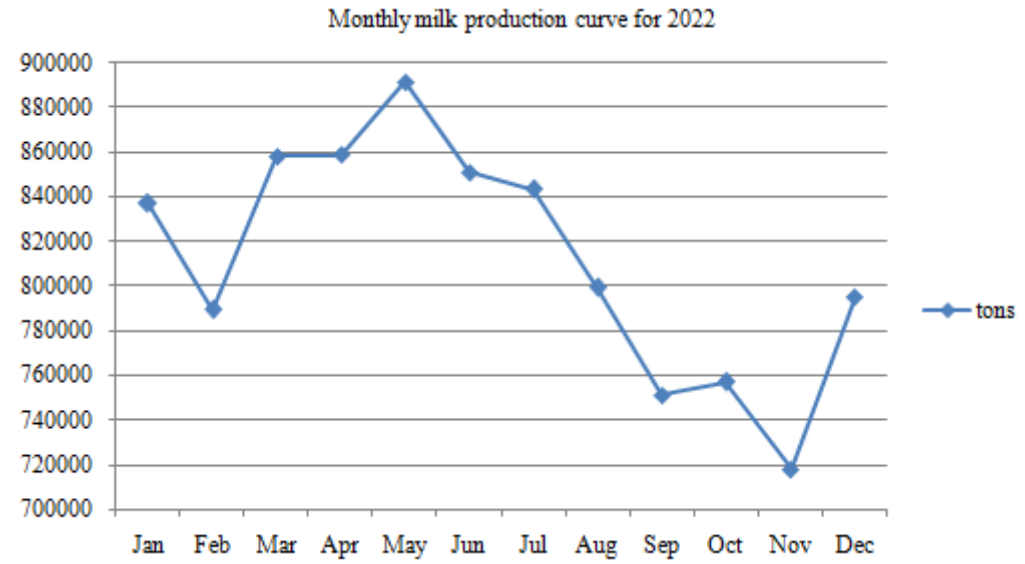


Figure 13. Monthly cow milk production in Türkiye for 2022 (tons)

Looking at Figure 13, the highest milk production (891.000 tons) was achieved in May. The lowest milk production was observed in November (718.000 tons).

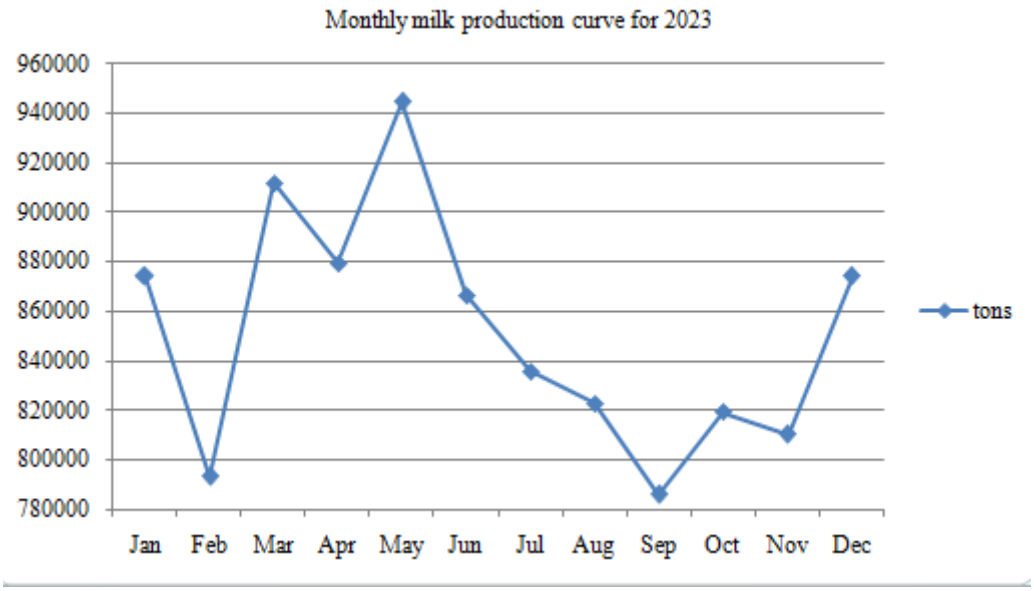


Figure 14. Monthly cow milk production in Türkiye for 2023 (tons)

As can be seen in Figure 14, it was found that the highest milk production (944 thousand tons) in 2023 was achieved in May. However, the lowest milk production was seen as 786 thousand tons in September. When we look at the figures given in the research, it was found to be noteworthy that the years generally show similar curves. These curves generally have shown a decrease from January to February and then an increase until May.

The milk production amount, which peaks in May, has decreased again until November. After this month, a new increase was noticeable in December. Although the months showing maximum and

minimum values may have varied in the graphs of some years, in general the highest production was determined in May and the lowest production was observed in November.

In Figure 15, it was reported that the highest yields of dairy cattle are obtained in May and the lowest yields were obtained in November (USDA, 2024).

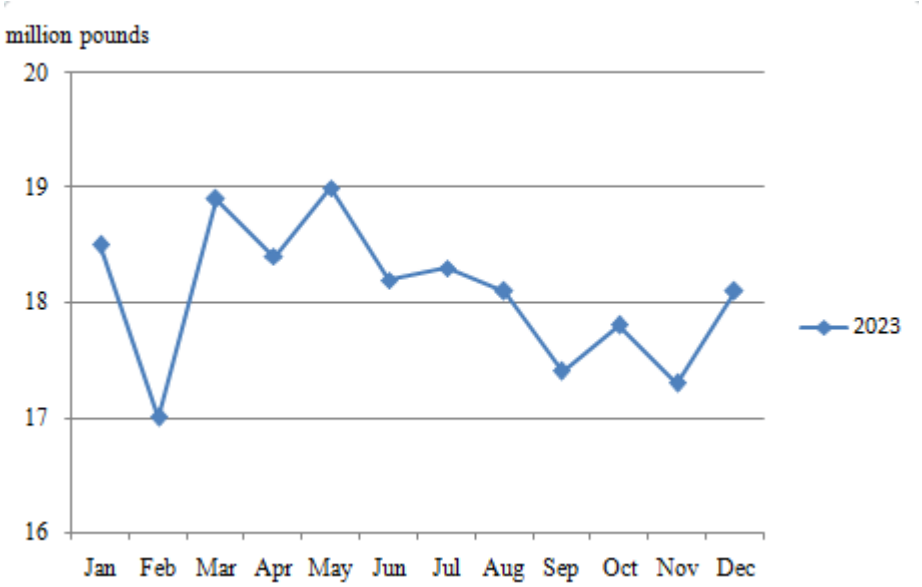


Figure 15. Monthly milk production of 24 states in America in 2023 and 2024 (USDA, 2024)

The curve showing the monthly milk production distributions reported for America in Figure 15 has been found to be very similar to the curves in our research. As seen in Figure 15, the USA has determined a common milk production curve for its 24 states. However, no milk yield curve study has been found in the literature showing the distribution of total milk yields obtained from provinces in our country for each months of recently years. For this reason, our study was believed to be of great importance in terms of showing the monthly distribution of milk obtained from all over Türkiye in each year. The current study was aimed to provide an advantage as a reference to other studies.

3.2. Cluster Analysis Results

When looking at Figure 16, two main clusters attracted attention. Data on milk production amounts from 2014 to 2023 constituted the first main cluster. Whereas data on milk production amounts from 2010 to 2013 constituted the second main cluster. The data forming the second main cluster was found to be lower than the data belonging to the years forming the first main cluster. In other words, milk yields in 2010-2013 were lower than the following years. If the second main cluster is evaluated within itself, the years 2010 and 2011 had lower milk yields than the years 2012 and 2013. It can be seen that the first main cluster was similarly distributed into 2 sub-clusters. The years 2018, 2020, 2021, 2022, 2023 are in the first subset of the first main cluster. The years 2014, 2015, 2016, 2017 and 2019 formed the second

subset under the first main cluster. Milk yield values of the first sub-cluster among the clusters under the first main cluster were found to be higher than the values of the second sub-cluster.

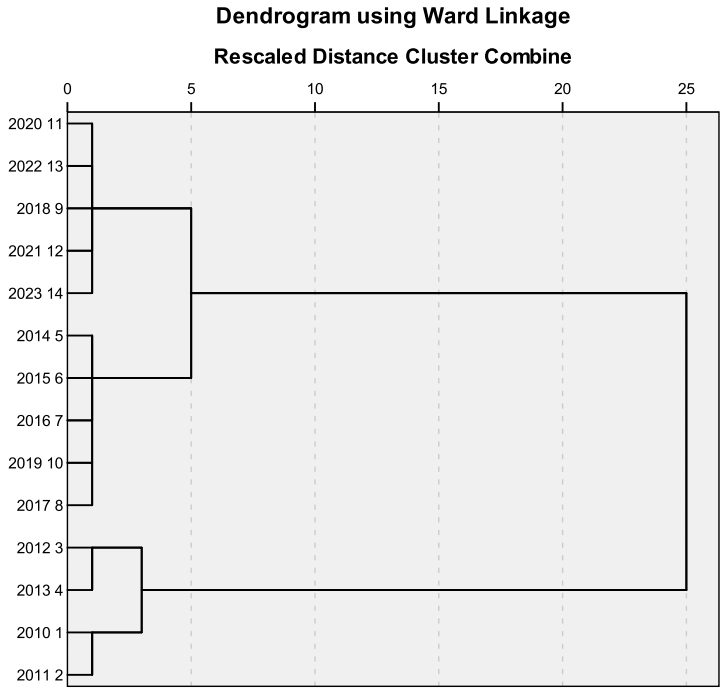


Figure 16. Distribution chart of main and sub-clusters by years

When the distribution of milk production amounts by month is examined in Figure 17, two main clusters are seen. The distributions seen in the subgroups in the monthly cluster graph have a more complex structure compared to the distributions in the annual cluster graph. September, October and November constitute the first subcluster of the second main cluster, while February, August, January and December constitute the second subcluster. September, October and November, which constitute the first subcluster of the second main cluster, have the lowest milk amounts. March, April, June and July constitute the first subcluster of the first main cluster. May constitutes the second subcluster of the first main cluster and has the highest milk yield values.

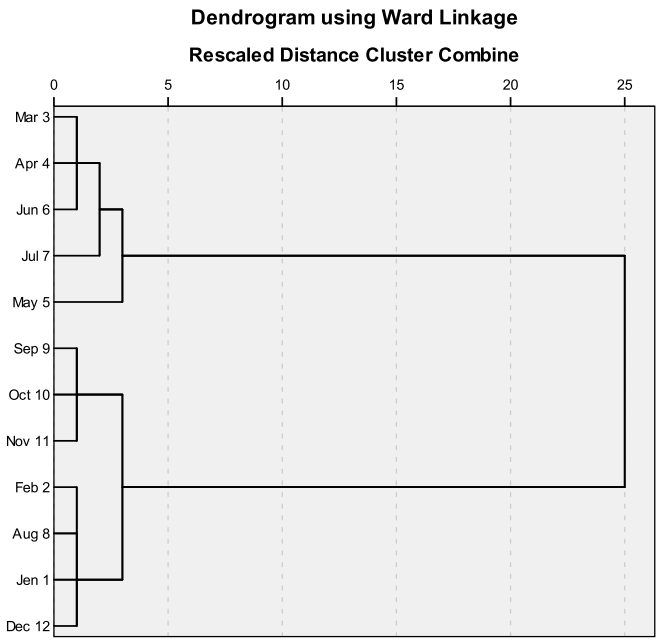


Figure 17. Distribution chart of main and sub-clusters by months

It was noteworthy that cluster graphs were more advantageous in terms of seeing quantitative differences compared to curve graphs. While in the curve charts the distribution of months for each year can be seen, in the cluster chart it was not possible to see such a monthly distribution statistically since there was only one data for each month of each year. Lactation curves are shaped according to time. It is understood from the results of previous studies that cluster analysis is a useful method in the evaluation of lactation cycles (Lee et al., 2020; Pereiera et al., 2021).

3.3. Friedman Test Analysis Results

When the rank values in Table 1 are examined, it is striking that the highest rank value of 11.86 belongs to May, and the lowest rank value of 1.79 belongs to November. Accordingly, when all months are evaluated together, it is seen that there is a significant difference between the months according to the Friedman test analysis results ($p<0.01$). In order to compare measurement scores belonging to more than 2 different times, the Friedman Test should be applied. If a significant difference is found as a result of this test, the measurements should be compared in pairs. For this, the Wilcoxon Signed Rank Test should be used. Thus, it can be determined between which measurements the difference is (Kolassa, 2022). In order to determine which months the difference found between the months as a result of the Friedman analysis is between, firstly the month with the lowest Average rank (1.79) value (November) was compared with the following month with the lowest Average rank (2.61) value (September) using the Wilcoxon Signed Rank Test, and it was determined that the month with the lowest measurement score was November ($p=0.048$). Since November showed statistically lower results than September, which had the lowest measurement score, it was not necessary to make a comparison with other months. The aim of the research was to reveal the months with the lowest and highest measurement scores.

Table 1. Friedman test results for months

Months	Mean Ranks
Jan	5.79
Feb	3.64
Mar	10.14
Apr	10.29
May	11.86
Jun	8.79
Jul	7.64
Aug	6.29
Sep	2.61
Oct	3.79
Nov	1.79
Dec	5.79

Table 2. Test statistics[a]

N	14
Chi-square	129.253
df	11
Asymp. Sig.	.000

a. Friedman Test

When the rank values given in Table 3 are examined, it is seen that the highest rank value of 13.00 belongs to 2023, and the lowest rank value of 1.08 belongs to 2010. Accordingly, when all years were evaluated together, it was seen from the Friedman test analysis results that there were significant differences between the years ($p<0.01$).Since a significant difference was found as a result of the Friedman analysis in the current study, the year with the lowest Mean rank (1.08) value (2010) was compared with the year with the next lowest Mean rank (1.92) value (2011) with the help of the Wilcoxon Signed Rank Test, and it was determined that the year with the lowest measurement scores was 2010 ($p=0.008$). Similarly, the year (2023) with the highest mean rank value (13.00) was compared with the year (2021) with the next highest mean rank value (12.12) using the Wilcoxon Signed Rank Test, and it was determined that the year with the highest measurement scores was 2023 ($p=0.049$).

The increase in milk production in May may have been influenced by the switch from feeding the cows with dry grass in the barn in the winter to green grass in the spring (Ulaş and Cimen, 2019). It has been reported that seasonality affected changes in milk parameters and production amounts (Lowe et al., 1999). The increasing insufficiency of pasture grass towards November may have caused a decrease in milk production. When cows start consuming pasture plants, their milk production increased (Ribeiro-Filho et al., 2003; Lüscher et al., 2014). The nutritional value of pasture plants and the chemical structure of nutrients were important factors in increasing milk production (Roca Fernandez et al., 2016). Pasture plants with high nutritional value encourage an increase in milk production (Chjapman et al., 2008). Heat stress and the drying of pasture grasses were found to be effective in the decrease in milk yield towards the summer months (Harris et al., 1997). In addition, in summer, stress occurred as the animal's body temperature increased and feed intake decreased. This situation caused an effect that reduced milk

production (Pragna et al., 2017). In cold weather, more energy was spent to maintain body temperature (Fu et al., 2022).

Table 3. Friedman test results for years

Years	Mean Ranks
2010	1.08
2011	1.92
2012	3.58
2013	3.42
2014	5.33
2015	6.58
2016	7.67
2017	7.50
2018	12.11
2019	8.92
2020	10.83
2021	12.12
2022	10.33
2023	13.00

Table4. Test statistics[a]

	14
Chi-square	143.771
df	11
Asymp. Sig.	.000

a. Friedman Test

Accordingly, the amount of energy to be spent on milk production reduces and milk production decreased. In addition, the cooling of water in winter negatively affects water intake, thus milk yield decreases. In addition, since animals were fed with dry grass in winter, they were deprived of pasture grass with high nutritional content in the spring (Lim et al., 2021). When the graphs presented in our research are examined, the curves formed to show maximum and minimum production in other years except 2016 and 2017 have a similar structure. The reason for the differences in milk production in 2016 and 2017 is unknown. In the following years, when new milk production curves are created, if different curves are obtained from the normal curve, the reason for this should be investigated. Milk yield amounts that are outside the expectations by month are a sign that there are some problems. For example, while the highest yields should be obtained in May, another month showing higher values makes it necessary to know what type of problem exists in May. In order for milk production facilities, animal farms and all related units to operate optimally, milk production curves must be determined on a monthly basis every year and any seen negative effects must be intervened (Ehrlich, 2011; Cole et al., 2023).

4. Conclusion

When we look at the results obtained in the research, it is noteworthy that the years generally show similar curves. These curves generally show a decrease from January to February, followed by an increase until May. The current study should be repeated not only across Türkiye but also on a provincial basis and in other animal species. In addition, curves should be created not only for milk yields but also

for milk biochemical parameters. The findings of the curves, cluster analysis and Friedman test determined in our work are of great importance in terms of providing insight in modeling and similar studies that can be done for lactation and milk yield periods in our country. In addition to the evaluation of curve graphs, it has been observed from the research findings that different statistical techniques such as cluster analysis and Friedman test give effective results in this type of data. This study shows that both cluster analysis and the Friedman test method are test methods that can be used safely in new studies where curve graphs will be made. In the literature reviews, it has been seen that unfortunately cluster analysis and Friedman test method are not applied in this type of curve analysis studies. Both in curve analysis studies like this research and in studies where other treatment group data will be compared, these two statistical methods should definitely be taken into consideration. With this study, not only the current situation analysis was made by showing milk production curves according to years and months, but also the efficiency of cluster analysis and Friedman test were tried to be shown in group comparisons.

Conflicts of Interest Statement: All authors declare that there is no conflict of interest related to this article.

Contribution Rate Statement Summary of Researchers: Alper Güven: planning and design of the study, article writing, editing, literature review, Murat Çimen: Obtaining data, analyzing of data.

References

Anonymous. Hierarchical cluster analyses in Spss. Spss help service 2024; https://spssanalysis.com/ hierarchical-cluster-analysis-in-spss/.

Biswal J., Vijayalakshmy K., Rahman H. Seasonal variations and its impacts on livestock production systems with a special reference to dairy animals: An appraisal. Veterinary Science Research 2020; 2(2): 24-30.

Chjapman DF., Tharmaraj J., Nie ZN. Milk-production potential of different sward types in a temperate southern Australian environment. Grass and Forage Science 2008; 63: 221-233.

Cimen M., Yildirim N., Dikici A., Kaplan O., Cikcikoglu Yildirim N. Seasonal variations of biochemical taste parameters in milks from conventional and environment-friendly organic farming. Bulgarian Journal of Agricultural Science 2010; 16 (6): 728-732.

Cole JB., Makanjuola BO., Rochus CM., Van Staaveren, N., Baes C. The effects of breeding and selection on lactation in dairy cattle. Animal Frontiers 2023; 13(3): 55-63.

Ehrlich JL. Quantifying shape of lactation curves, and benchmark curves for common dairy breeds and parities. The Bovine Practitioner 2011; 45(1): 88-95.

Fu X., Zhang Y., Zhang YG., Shen WZ. Research and application of a new multilevel fuzzy comprehensive evaluation method for cold stress in dairy cows. Journal of Dairy Science 2022; 105(11): 9137-9161.

Harris SL., Clark DA., Auldist, MJ., Waugh CD., Laboyrie PG. Optimum white clover content for dairy pastures. Proceedings of the New Zealand Grassland Association 1997; 59: 29-33.

Karagöz Y. Spss 21.1 uygulamalı biyoistatistik. Nobel akademik yayıncılık 2014; Birinci basım. Yayın No: 1075. ISBN: 978-605-133-979-5.

Kolassa JE. An Introduction to nonparametric statistics (Chapman & Hall/CRC texts in statistical science) CRC pres. Pp. 314 2022;ISBN-10: 0367564386.

Lee M., Lee S., Park J., Seo S. Clustering and characterization of the lactation curves of dairy cows using k-medoids clustering algorithm. Animals 2020; 10: 1348-1360.

Lim DH., Mayakrishnan V., Ki KS., Kim Y., Kim TI. The effect of seasonal thermal stress on milk production and milk compositions of Korean Holstein and Jersey cows. Animal Bioscience 2021; 34(4): 567-574.

Lowe KF., Bowdler TM., Casey ND., Moss RJ. Performance of temperate perennial pastures in the Australian subtropics. 2. Milk production. Australian Journal of Experimental Agriculture 1999; 39, 677–683. https://era.daf.qld.gov.au/id/eprint/11888/1/Performance%20of%20temperate%20perennial%20pastures%20in%20the%20Australian%20subtropics%202.%20Milk%20production.pdf

Lüscher A., Mueller-Harvey I., Soussana JF., Rees RM., Peyraud JL. Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: a review. Grass and Forage Science 2014; 69: 206-228.

Oliveira H,, Campos GS., Lazaro SF., Jamrozik J., Schinckel A., Brito LF. Phenotypic and genomic modeling of lactation curves: A longitudinal perspective. JDS Communication 2024; 5(3): 241-246.

Pereira MA., El Faro L., Savegnago RP., Costa EV., Vercesi Filho AE., Faria CU. Estimates of genetic parameters and cluster analysis of the lactation curve of dairy Gyr cattle. Livestock Science 2021; 244: 1-7.

Piccardi M., Macchiavelli R., Funes AC., Bó GA., Balzarini M. Fitting milk production curves through nonlinear mixed models. Journal of Dairy Research 2017; 84(2): 146-153.

Pragna P., Archana PR., Aleena J. Heat stress and dairy cow: impact on both milk yield and composition. International Journal of Dairy Science 2017; 12(1): 1-11.

Ribeiro-Filho HMN., Delagarde R., Peyraud JL. Inclusion of white clover in strip-grazed perennial ryegrass pastures: herbage intake and milk yield of dairy cows at different ages of pasture regrowth. Animal Science 2003; 77: 499-510.

Riffenburg RH. Statistics in medicine. Second edition. 622 Pp 2006; ISBN: 978-0-12-088770-5

Roca-Fernández AI., Peyraud JL., Delaby L., Delagarde R. Pasture intake and milk production of dairy cows rotationally grazing on multi-species swards. Animal 2016; 10(9): 1448-1456.

TUIK. Türkiye İstatistik Kurumu. 2002-2024 yılları arası küçükbaş hayvancılık verileri 2024; Ankara.https:/data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=tarim-111&dil=1(Erişim,30.06.2024)

Ulaş D., Cimen M. The curves of parameters having economic importance in conventional milk during winter and spring season. The International Journal of Engineering and Science (IJES) 2019; 8(4): 1-3.

USDA. Milk production. National Agricultural Statistics Service (NASS), Agricultural Statistics Board, United States Department of Agriculture (USDA) 2024; ISSN: 1949-1557. https://downloads.usda.library.cornell.edu/usdasmis/files/h989r321c/sb398x27d/pr76gr70d/mkpr0224

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1187-1209, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1187-1209, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Improvement A Sustainable Pretreatment Process Including Enzymatic Treatment and Ozone Bleaching for The Jigger Machine

Navruz ÜDÜRGÜCÜ[1*], Onur BALCI[2], Burcu SANCAR[3]

[1,2]Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Engineering and Architecture, The Department of Textile Engineering, Avşar Campus, Kahramanmaraş-Türkiye
[3]Adıyaman University, Faculty of Engineering, Department of Textile Engineering, Adıyaman-Türkiye

[1]https://orcid.org/0000-0002-0741-1174
[2]https://orcid.org/0000-0001-6885-7391
[3]https://orcid.org/0000-0001-5120-268X
*Corresponding author: nevruzpaksoy@hotmail.com

Research Article

Article History:
Received: 03.10.2024
Accepted: 30.01.2025
Published online:16.06.2025

Keywords:
Ozone
Enzyme
Pretreatment
Ozone bleaching
Jigger machine

ABSTRACT

The present study aimed to improve a sustainable pretreatment process with enzymes and ozone gas at the jigger wet process machine for the 100% cotton woven fabric. To achieve this purpose, the stage where the ozone bleaching should be applied in the pretreatment process was first investigated. After the pretreatment processes, the effects of the processes on the pretreatment and mechanical performances of the fabric samples were researched. The pretreatment performance of treatments was researched through the residual starch, hydrophilicity, and whiteness (Berger value) tests, while the mechanical performances were examined via breaking and tearing strength, abrasion resistance, pilling, and SEM analyses. After all performance tests, to investigate the importance of the pretreatment process on the effectiveness of dyeing, the samples were dyed at the same jigger machine. In addition, the yellowing tendency of the pretreated samples depending on the time after the ozone bleaching was also researched. The results demonstrated that the stage where the ozone bleaching is applied was crucial, and the best results were obtained when the ozone bleaching was applied before the combined desizing and bioscouring treatments (Process 2). Besides, the ozone gas had no crucial negative effect on the mechanical performances of the fabrics, and the ozone-bleached fabric samples had no yellowing tendency when a process was applied after ozone bleaching.

Jigger Makinesi İçin Enzimatik ve Ozon Ağartma İşlemleri İçeren Sürdürülebilir Ön Terbiye Prosesi Geliştirilmesi

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 03.10.2024
Kabul tarihi:30.01.2025
Online Yayınlanma: 16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Ozon
Enzim
Ön terbiye
Ozon ağartma
Jigger makinesi

ÖZ

Bu çalışma, jigger yaş işlem makinesinde %100 pamuklu dokuma kumaşlar için enzim ve ozon gazı içeren sürdürülebilir bir ön terbiye prosesi geliştirmeyi amaçlamıştır. Bu amaçla ilk olarak, ön terbiye prosesinde ozon ağartmanın uygulanması gereken adım araştırılmıştır. Uygulanan ön terbiye işlemleri sonrası proseslerin kumaş numunelerinin ön terbiye ve mekanik performanslarına etkisi incelenmiştir. İşlemlerin ön terbiye performansları haşıl kalıntısı, hidrofilite ve beyazlık (Berger değeri) testleri; mekanik performansları ise kopma ve yırtılma mukavemeti, aşınma dayanımı, pilling testleri ve SEM analizleri vasıtasıyla araştırılmıştır. Performans testleri sonrası ön terbiye prosesinin boyama etkinliği üzerindeki önemini araştırmak amacıyla, ön terbiye işlemi gören kumaş numuneleri jigger makinesinde boyanmıştır. Ayrıca ön işlem

gören kumaşların zamana bağlı olarak sararma eğilimleri de incelenmiştir. Sonuçlar, ozon ağartmanın uygulandığı işlem adımının oldukça önemli olduğunu, en iyi sonuçların tek adımda haşıl sökme ve biohidrofilleştirme işlemi öncesi ozon ağartma işlemi uygulandığında (Proses 2) elde edildiğini göstermiştir. Ayrıca, ozon gazının kumaşların mekanik özellikleri üzerinde önemli bir negatif etkisi olmadığı ve ozon ağartması sonrası işlem uygulandığında ozon gazı ile ağartılmış kumaşların sararma eğilimi göstermediği belirlenmiştir.

To Cite: Üdürcügü N., Balcı O., Sancar B. Improvement A Sustainable Pretreatment Process Including Enzymatic Treatment and Ozone Bleaching for the Jigger Machine. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1187-1209.

1. Introduction

In the textile finishing processes, the conventional pretreatment and dyeing stages cause high water pollution because of the high demand for water and chemicals (Eren et al, 2017; Körlü, 2018). In the conventional pretreatment process of cotton woven fabric, desizing and scouring need the high amount of water and chemicals (Perincek et al, 2007; Paksoy, 2014; Hussain et al., 2018; Paksoy et al., 2020). After desizing and scouring processes, bleaching is inevitable for fabrics will not be dyed or dyed at light color. In conventional hydrogen peroxide bleaching which has common-usage, environmental concerns associated with the use of stabilizers with poor bio-degradability in the bleaching bath have increased (Perincek et al, 2009). In addition, it is necessary to apply the process at high temperature (Sancar Beşen, 2012; Cardoso et al, 2016; Maqsood et al, 2017; Hareem et al, 2019; Arooj et al, 2019; Bahtiyari et al., 2020). To resolve these problems, the enzymes in the desizing and scouring processes and the ozone gas in the bleaching process have been widely used for many years as environmentally friendly materials and processes (Prabaharan et al., 2001; Perincek et al., 2013; Sancar et al., 2013; Bahtiyari et al., 2014; Paksoy, 2014; Benli et al., 2015; Sancar Beşen, 2016; Erdem et al., 2018; Eren et al., 2018; Turhan et al., 2018; Paksoy et al., 2020). Ozone bleaching is an environmentally friendly method since cotton materials can be bleached at room temperature without necessity of using harsh chemicals (Paksoy et al., 2020). In addition, less water is also used at the ozone bleaching process (Perincek et al., 2007; Eren et al., 2018; Hareem et al., 2019; Paksoy et al., 2020; Palabıyık et al., 2022; Gedik et al., 2023).

When the literature is investigated, it is concluded that in order to achieve sufficient hydrophilicity and whiteness degrees for cotton greige fabrics, ozone bleaching was either applied to the textile materials after the scouring process (Eren et al., 2010; Piccoli et al., 2015; Paksoy et al., 2020) or any supportive materials as surfactants (Eren et al., 2014; Arooj et al, 2021), and ultrasound energy (Benli et al., 2015) had to be used in the ozone bleaching. However, none of the researchers has ever investigated the effects of where the ozone bleaching is applied on the pretreatment performers such as desizing degree, hydrophility, and whiteness results. Paksoy et al. (2020) demonstrated that the ozone bleaching process can be applied at the jigger machine and that ozonation parameters are effective on the bleaching degrees (Paksoy et al., 2020).

The main goal of the present study is to improve a sustainable pretreatment process, including enzymatic treatment and ozone bleaching at the jigger, and to find the stage where the ozone bleaching should be applied in that pretreatment process. For this aim, the ozone bleaching was carried out at three different stages as “after combined desizing and bioscouring treatment (Process 1)”, “before combined desizing and bioscouring treatment (Process 2)”, and “after desizing treatment, before bioscouring treatment (Process 3)”. The ozone bleaching treatments were applied in the air to the moist fabric samples and in the water. The effects of the processes on the pretreatment performances and mechanical performances of the fabrics were investigated. In addition, the yellowing situations of the pretreated samples depending on time was also followed. Because the success of pretreatment process has depended on the dyeing results, the fabric samples were dyed, and the effect of the pretreatment process on the color was also investigated. The dyeing processes were carried out at two concentrations (light and dark shade) at the jigger machine, and then the dyeing homogeneity and color fastness (washing, water and perspiration fastness to color) of the dyed samples were researched.

2. Material and Method

2.1. Material

In the experiments, enzymes such as amylase (Rucolase HPZ), pectinase (Rucolase PTZ) and catalase (Rucolase CAP) which were supplied by Rudolf Duraner were used. Besides, hydrogen peroxide, sodium carbonate, wetting agent, sodium hydroxide, organic stabilizer, salt (sodium chloride), washing agent, Levafix Blue CA reactive dye, Levafix Yellow CA reactive dye, and Levafix Fast Red CA reactive dye (DyeStar) were used. 100% cotton woven raw fabric (3/1 S twill, 167 g/m^2) with starch sizing on it was also used.

In the ozone bleaching processes, ozone generators with capacities of 6 g/h and 12 g/h were used. Besides, 18 g/h of ozone capacity was also used by connecting the outputs of two generators in series. The applications were applied at the laboratory-type jigger machine (ATAÇ), the technical drawing of the machine can be seen in Figure 1.

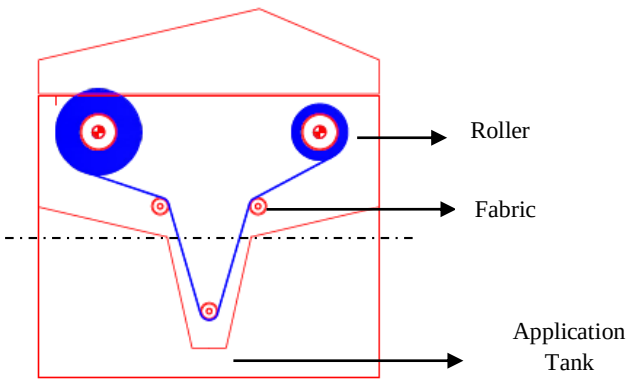


Figure 1. The technical drawing of the jigger machine

Rubber and stone diffusers were used in the jigger machine to transfer the ozone gas into the machine. The settlement of the diffusers transferring the ozone gas can be seen in Figure 2. The ozone gas was directly applied to the samples in the machine.

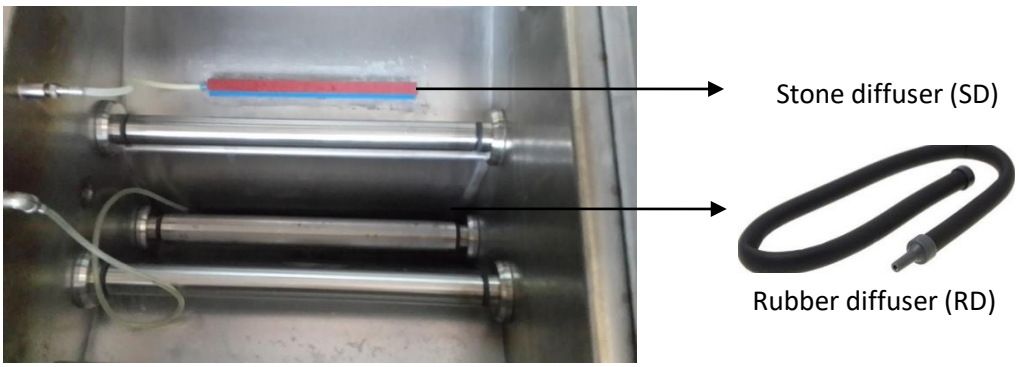


Figure 2. The settlement of the diffusers transferring the ozone gas

2.2. Method

In the ozone bleaching treatments, the produced ozone gas having three capacities (6, 12 and 18 g/h) was fed either through the stone diffuser or the rubber diffuser, as shown in the four methods in Figure 3. Thus, the ozone bleaching was applied with an 18 g/h ozone capacity.

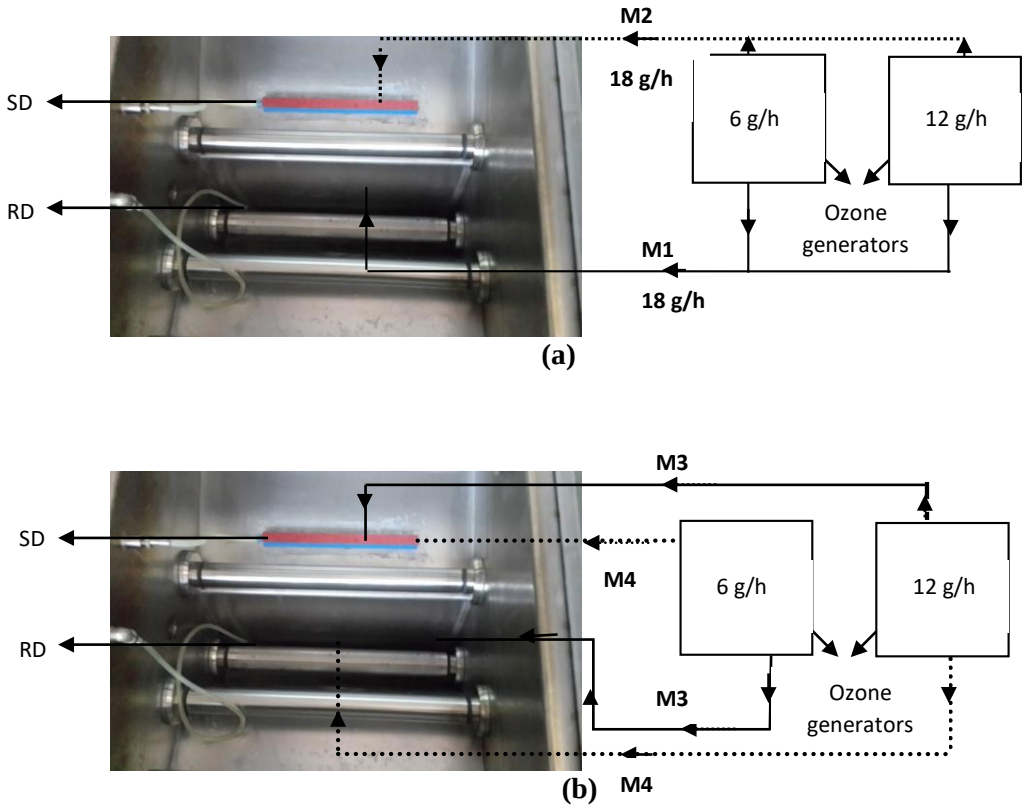
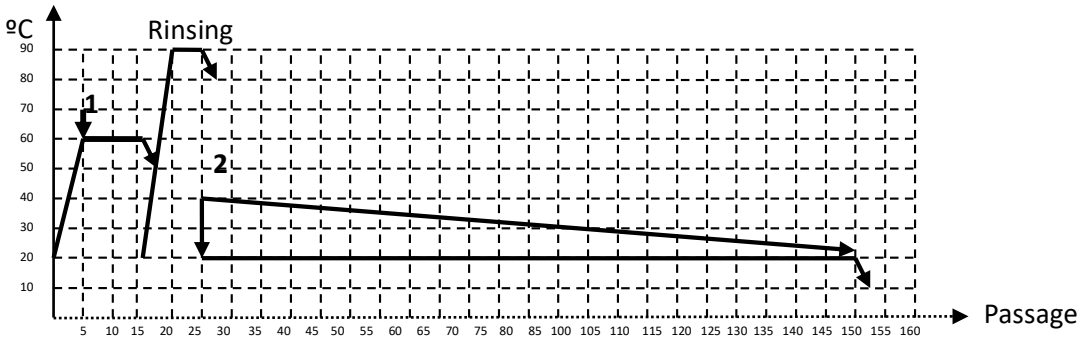


Figure 3. The methods of ozone feeding to the jigger

The pretreatment processes were applied in three different ways named as Process 1, Process 2, and Process 3. The ozone bleaching was carried out at different stages of the pretreatment processes. In Process 1, the ozone bleaching was applied after the combined desizing and bioscouring treatment

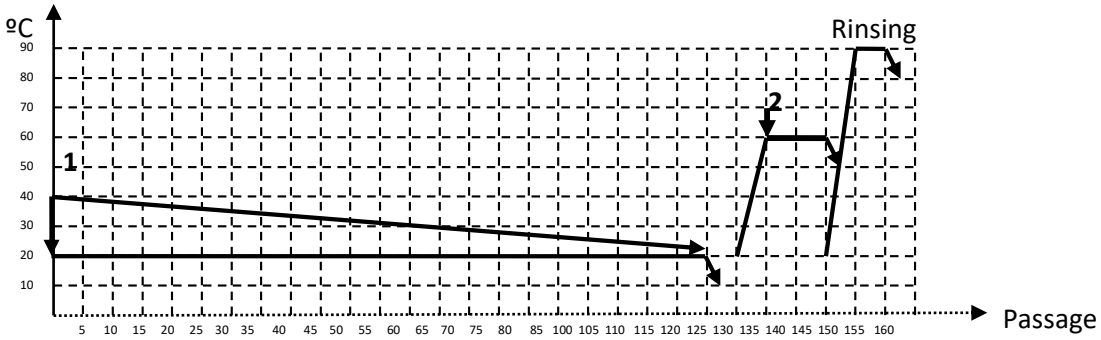
(Figure 4a). In Process 2, the ozone bleaching was applied before the combined desizing and bioscouring treatment (Figure 4b). In Process 3, the ozone bleaching was applied after the enzymatic desizing treatment, but before the bioscouring treatment (Figure 4c). The desizing and bioscouring treatments were applied enzymatically by using amylase and pectinase enzymes. 30 liters of water were used for all treatments.

Process 1, Process 2, and Process 3 and their working parameters are shown in Figures 4a, 4b, and 4c, respectively.



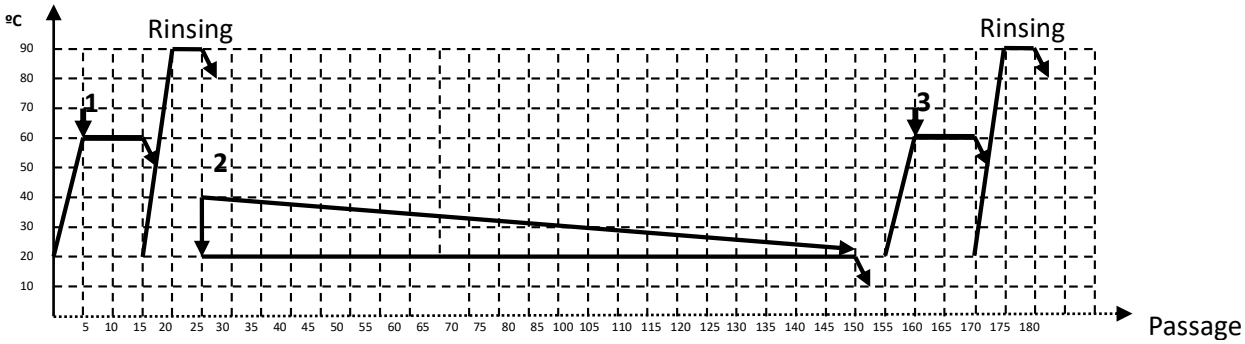
1: 1 g/L amylase, 3 g/L pectinase, 2 g/L wetting agent (pH 8-8.5 with sodium carbonate) (desizing+bioscouring process)
2: Ozone bleaching

(a – Process 1)



1: Ozone bleaching
2: 1 g/L amylase, 3 g/L pectinase, 2 g/L wetting agent (pH 8-8.5 with sodium carbonate) (desizing+bioscouring process)

(b – Process 2)

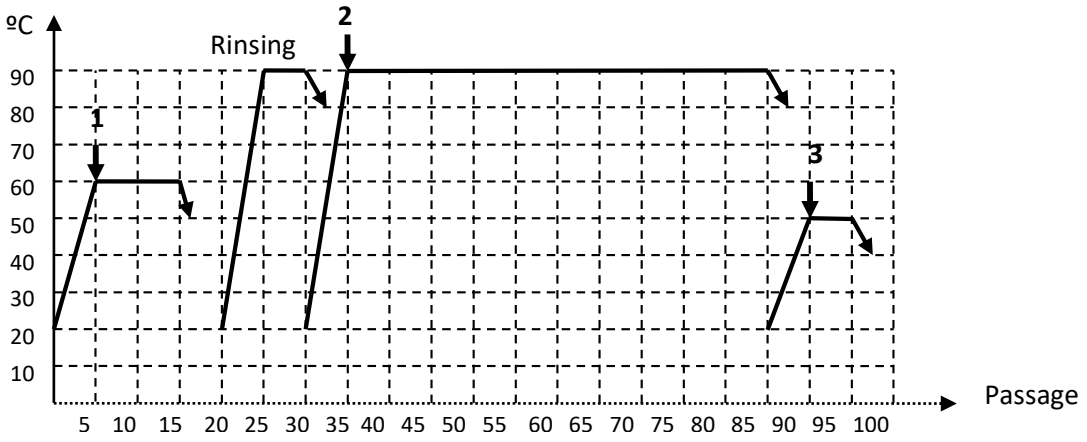


1: 1 g/L amylase, 2 g/L wetting agent (pH 8-8.5 with sodium carbonate) (desizing process)
2: Ozone bleaching; **3:** 3 g/L pectinase, 2 g/L wetting agent (pH 8-8.5 with sodium carbonate) (bioscouring process)

(c – Process 3)

Figure 4. The processes and working parameters (a) Process 1, (b) Process 2, (c) Process 3

The conventional bleaching was also carried out as a reference to compare the ozone bleaching (Process 1-2-3). The conventional hydrogen peroxide bleaching treatment was applied after combined desizing and bioscouring treatment. The working parameters of the reference bleaching process can be seen in Figure 5. The hydrogen peroxide bleaching treatment was applied at 90 ºC. After the treatment, the catalase enzyme was applied to decompose the residual of hydrogen peroxide.



1: 1 g/L amylase, 3 g/L pectinase, 2 g/L wetting agent (pH 8-8.5 with sodium carbonate) (desizing+bioscouring process); **2:** 3 g/L H_2O_2, 2 g/L NaOH, 1 g/L wetting agent, 0,5 g/L stabilizer (hydrogen peroxide bleaching)
3: 0.2 g/L catalase (pH 6-6.5 with sodium carbonate)

Figure 5. Conventional reference bleaching process

Based on the best whiteness results of the previous studies, the ozone bleaching treatments were applied in the air to the moist fabric samples and in the water at 120 and 150 passage numbers (Paksoy, 2014; Paksoy et.al, 2020). For the ozone applications in the air to moist fabric, the dry fabrics were immersed into the water and squeezed directly up to 60% pick up while the applications in the water were applied in the water-filled tank. All ozone bleaching treatments were applied at room temperature. The experimental plan for the ozone application treatments is given in Table 1.

Table 1. Experimental plan of the study

Process 1		Process 2		Process 3			
Exp. number (in the water)	Exp. number (in the air)	Exp. number (in the water)	Exp. number (in the air)	Exp. number (in the water)	Exp. number (in the air)	Number of passages	Method of ozone feeding
1A	1B	1C	1D	1E	1F	120	M1
2A	2B	2C	2D	2E	2F	150	M1
3A	3B	3C	3D	3E	3F	120	M2
4A	4B	4C	4D	4E	4F	150	M2
5A	5B	5C	5D	5E	5F	120	M3
6A	6B	6C	6D	6E	6F	150	M3
7A	7B	7C	7D	7E	7F	120	M4
8A	8B	8C	8D	8E	8F	150	M4

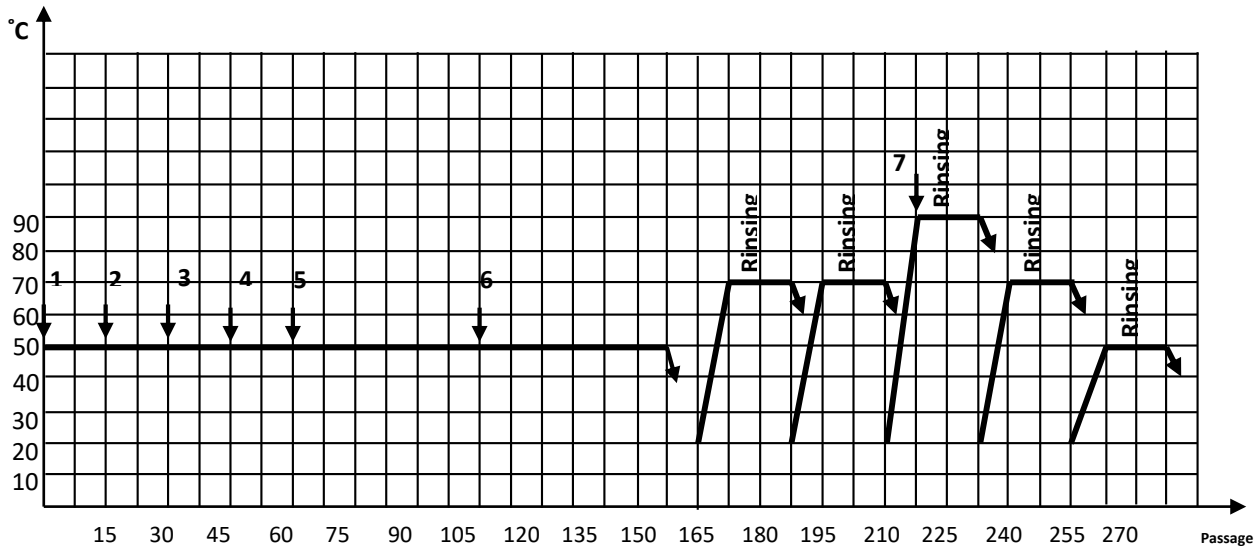
After the pretreatment processes, the pretreatment performances of the fabric samples were examined via measurements of residual starch, hydrophility, and whiteness degree (Berger value). In addition, the

mechanical performances of the samples were also investigated through breaking strength, tearing strength, abrasion resistance, pilling tests, and SEM analysis. Besides, the yellowing tendency of the ozone-bleached fabric samples versus time were followed via measurement of whiteness degree at 5-day intervals during 15 days, since the ozone residual on the samples may cause the fabric to be yellower depending on time and ozone.

Because the success of pretreatment process depends on the dyeing performance of the fabric, the pretreated fabric samples according to Process 1 and Process 2 were then dyed, since Process 1 and Process 2 were more sustainable processes in terms of time and water consumption. Besides, the reference bleached fabric samples were also dyed as reference dyeing. The trichomic dyeing treatments at two different concentrations as light (0.6%) and dark shade (2.1%) were applied according to dyeing recipe and graph given in Table 2 and Figure 6, respectively. The dyeing treatments were done at the jigger machine.

Table 2. Dyeing recipe

Shade	Concentration (owf%)	Dyestuff and owf%		Salt (g/L)	Sodium carbonate (g/L)
Light	0,6%	Levafix Blue CA	% 0,2	50	6
		Levafix Yellow CA	% 0,2		
		Levafix FastRed CA	% 0,2		
Dark	2,1%	Levafix Blue CA	% 0,7	60	6
		Levafix Yellow CA	% 0,7		
		Levafix Fast Red CA	% 0,7		



1: ½ Dyestuff
2: ½ Dyestuff
3: ½ Salt
4: ½ Salt
5: ½ Sodium carbonate
6: ½ Sodium carbonate
7: 1 g/L washing agent
Figure 6. The dyeing graph

After dyeing processes, the CIELab color values and the changes in the color of the dyed samples versus holding time were researched. In addition, the color fastness to washing, water, and perspiration (acidic and alkaline) were also tested.

2.3. The Characterization Tests

2.3.1. Residual starch test

The residual starch was examined by dropping I_2/KI solution onto the different areas of the samples as a starch size indicator and comparing the color occurring on the fabric with Tegewa scale (Figure 7). The scale has values ranging from 1 to 9. One means that whole starch is present on the fabric and nine means that all starch is removed from the fabric's surface (Patel et.al, 2013). The percentage of the residual starch was determined according to values equaled to Tegewa scale given in the Table 3.

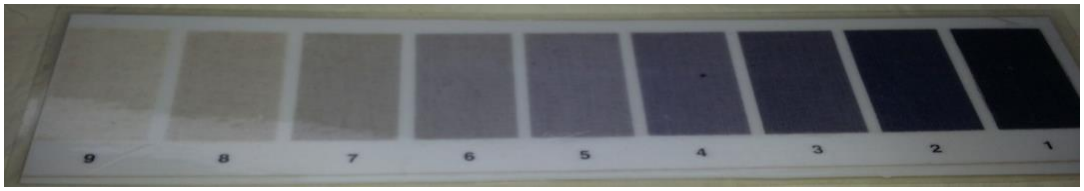


Figure 7. Tegewa scale

Table 3. The percentage of size residual according to the Tegewa scale (Patel et al., 2013)

Tegewa scale	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Size residual (%)	2,5	1	0,6	0,35	0,2	0,125	0,085	0,06	0,04

2.3.2. Hydrophility test

The dropping and rising tests were carried out according to TS 866 and DIN 53924 Standards, respectively. The capillarity performance of whole samples was measured by the help of rising results. Each test was carried out three times, and the average of the results was calculated.

2.3.3. Whiteness degree

The whiteness degrees (as Berger value) of the fabric samples were measured under D65 daylight and aspect of 10° via Minolta 3600 A spectrophotometer. In addition, in order to observe the yellowing situations of the ozone-bleached fabric samples versus time, the whiteness degrees of the samples were measured at 5-day intervals for 15 days. Each sample was measured three times, and average of the results was calculated.

2.3.4. Breaking and tearing strength test

The breaking strength was measured according to EN ISO 13934-2 (75 mm) Standard via James Heal TİTAN device, while the tearing strength was measured according to EN ISO 13934-1 Standard via Elmatear device.

2.3.5. Abrasion resistance and pilling tests

The abrasion resistance test was carried out according to EN ISO 12947-1 Standard, while pilling test was done according to TS EN ISO 12947-2 Standard via Martindale device.

2.3.6. SEM (Scanning Electron Microscope) Analysis

The SEM images of the chosen fabric samples were taken in order to investigate whether ozone gas caused damage on the fibers or not (Zeiss Evo LS10). Before the analysis, the fabrics were rendered conductive by being coated with gold.

2.3.7. CIELab values

The CIELab values of the dyed samples were measured with Minolta 3600 A spectrophotometer under D65 daylight and aspect of 10° and the color differences were calculated according to CIELab 1976 formula. Any samples were measured three times, and average of the results was calculated. In addition, the dyeing homogeneity of the samples was also observed.

2.3.8. Fastness tests

The color fastness to washing, water, and perspiration (acidic and alkaline) of the dyed samples were tested according to EN ISO 105 Standards.

2.3.9. Statistical analysis

The statistical analysis was carried out using the results of the whiteness degree of the fabric samples to determine the effects of the investigated working parameters (input) on the results (output) by one-way ANOVA via Design Expert 7.0.

3. Results

3.1. The Hydrophility and Residual Starch Results of the Pretreated Samples

The results of hydrophility and residual starch of the fabric samples pretreated according to Process 1 are given in Table 4. According to Table 4, the absorption and capillarity of the reference fabric are 1.04 seconds and 1.93 seconds, respectively. Both the absorption time and capillarity for the samples pretreated according to Process 1 are higher than those of the reference fabric. Thus, it can be said that hydrophility results of the fabric samples pretreated according to Process 1 are poor, and these fabrics are not appropriate for dyeing processes. The results are thought to be based on the natural oils and waxes on the fabrics, which cannot be removed properly by either the combined desizing and bioscouring process or ozone bleaching at room temperature. The different hydrophility results demonstrate that the oils and waxes are probably decayed with ozone bubbles, but they cannot be removed from the fabric since any rinsing treatment was not applied after the ozone treatment as mentioned in a previous study (Turhan et al., 2018). In addition, it can be said that the method of ozone

gas feeding (qq v. the hydrophility results of 1 coded sample and 7 coded sample), and the ozone bleaching conditions (qq v. the hydrophility results of A coded samples and B coded samples) are crucial for the hydrophility results for the fabrics pretreated according to Process 1, and the ozone bleaching treatments in the air provide better hydrophility results. When results of residual starch are focused, it is clearly seen that the values of the samples are close to the reference fabric, so it is possible to say that the ozone bleaching after the desizing treatments has not negative effect on the desizing results.

The results of hydrophility and residual starch of the samples pretreated according to Process 2 can be seen in Table 5. When Table 5 is focused, it is seen that the hydrophility results of the fabric samples pretreated according to Process 2 are better than those of Process 1 (while the results of absorption time <10 s for Process 2, they are >10 s for Process 1) and their results are closer to the reference fabric. The situation can be verified with the removal of the decayed oils and waxes by ozone gas from the fabrics with the combined desizing and bioscouring treatments and then rinsing treatments. In addition, the form of the droplets on the samples is more regular, and it can be said that the samples are pretreated more homogenously according to Process 2 than Process 1. Generally, the ozone bleaching treatments in the air produce better hydrophility results like those of Process 1 (qq v. the hydrophility results of C coded samples and D coded samples). The results can be explained by the efficiency of the ozone gas on the moist fabric mentioned in previous studies (Perincek et al., 2009; Gülümser et al., 2009; Erdem et al., 2018).

Table 4. Hydrophility and residual starch results (Process 1)

Exp. number (Table 1)	Dropping test			Capillarity (s)	Tegewa	Residual starch (%)
	Absorption time (s)	Diameter (cm)	Diffusion form of the droplets			
Reference	1,04	2,6	Regular	1,93	9	0,040
1A	45,95	3,0	Irregular	22,62	7	0,085
2A	56,74	3,1	Irregular	30,00	8	0,060
3A	16,59	2,8	Irregular	16,45	8	0,060
4A	20,08	2,7	Irregular	21,07	8	0,060
5A	23,92	3,0	Irregular	18,92	9	0,040
6A	20,65	2,9	Irregular	14,18	9	0,040
7A	17,58	2,8	Irregular	15,92	8	0,060
8A	23,91	2,6	Irregular	19,56	8	0,060
1B	17,50	3,5	Irregular	15,92	8	0,060
2B	13,01	3,2	Irregular	14,36	8	0,060
3B	13,53	3,3	Irregular	15,56	8	0,060
4B	17,84	3,0	Irregular	13,91	7	0,085
5B	15,41	3,3	Irregular	13,16	8	0,060
6B	20,15	3,3	Irregular	18,41	8	0,060
7B	9,47	3,4	Irregular	13,48	8	0,060
8B	15,57	3,0	Irregular	13,04	9	0,040

Table 5. Hydrophility and residual starch results (Process 2)

Exp. number (Table 1)	Dropping test			Capillarity (s)	Tegewa	Residual starch (%)
	Absorption Time (s)	Diameter (cm)	Diffusion form of the droplets			
Reference	1,04	2,6	Regular	1,93	9	0,040
1C	3,57	3,0	Irregular	15,53	7	0,085
2C	6,44	2,8	Irregular	16,89	7	0,085
3C	3,28	3,1	Irregular	11,09	8	0,060
4C	4,58	3,2	Irregular	10,37	8	0,060
5C	4,82	2,7	Regular	13,00	7	0,085
6C	5,87	3,0	Irregular	9,39	7	0,085
7C	9,84	3,1	Irregular	22,04	5	0,200
8C	10,34	3,0	Irregular	20,22	5	0,200
1D	2,25	2,4	Regular	4,88	4	0,350
2D	1,91	2,6	Regular	4,53	5	0,200
3D	2,00	2,6	Regular	4,71	4	0,350
4D	1,76	2,8	Regular	4,72	5	0,200
5D	3,03	2,6	Regular	5,10	5	0,200
6D	2,00	2,6	Regular	4,80	5	0,200
7D	1,30	2,8	Regular	3,92	6	0,125
8D	1,61	2,7	Regular	3,42	6	0,125

The results of hydrophility and residual starch of the fabric samples pretreated according to Process 3 are given in Table 6. According to Table 6, it is seen that the hydrophility results of the samples pretreated according to Process 3 are better than those of Process 1. The situation can be explained by the removal of the decayed oils and waxes by ozone gas from the fabrics with the bioscouring treatments and then rinsing treatments. Besides, the hydrophility results affect mostly from the method of ozone feeding depending on the ozone bleaching conditions. Since the ozone gas dissolved in the water comes into contact with the fabric, the ozone gas fed from the bottom of the tank provides better hydrophility results, while that fed from the outside of the tank is more appropriate for the ozone bleaching in the air.

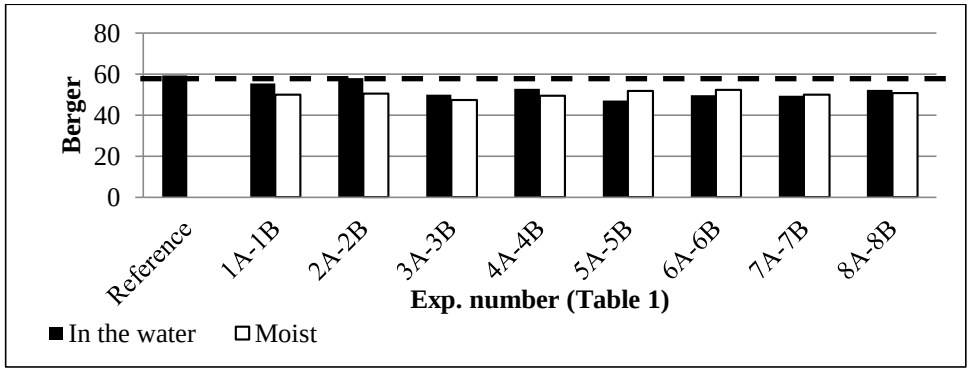
Table 6. Hydrophility and residual starch results (Process 3)

Exp. number (Table 1)	Dropping test			Capillarity (s)	Tegewa	Residual starch (%)
	Absorption Time (s)	Diameter (cm)	Diffusion form of the droplets			
Reference	1,04	2,6	Regular	1,93	9	0,040
1E	1,38	2,5	Regular	3,42	8	0,060
2E	2,08	2,7	Regular	4,34	9	0,040
3E	1,52	2,6	Regular	2,40	9	0,040
4E	1,56	2,9	Regular	5,92	8	0,060
5E	9,09	2,7	Irregular	15,82	9	0,040
6E	10,33	2,8	Irregular	15,14	8	0,060
7E	7,80	2,5	Irregular	26,35	9	0,040
8E	18,92	2,4	Irregular	19,98	8	0,060

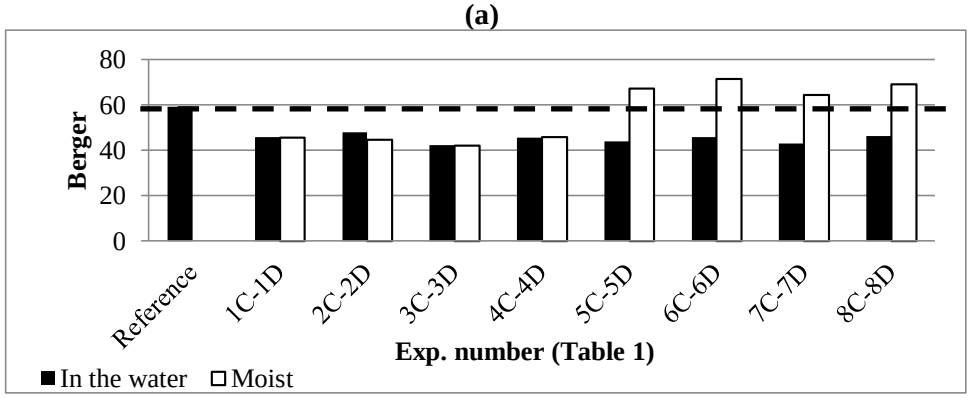
1F	1,96	2,7	Irregular	8,61	8	0,060
2F	6,34	2,5	Irregular	9,87	8	0,060
3F	1,78	2,5	Regular	4,74	8	0,060
4F	1,64	2,7	Regular	7,13	8	0,060
5F	12,70	3,0	Regular	18,83	8	0,060
6F	4,80	2,8	Irregular	14,52	8	0,060
7F	3,54	2,9	Regular	12,85	8	0,060
8F	3,99	2,8	Regular	12,45	8	0,060

3.2. The Whiteness Degree Results of the Pretreated Samples

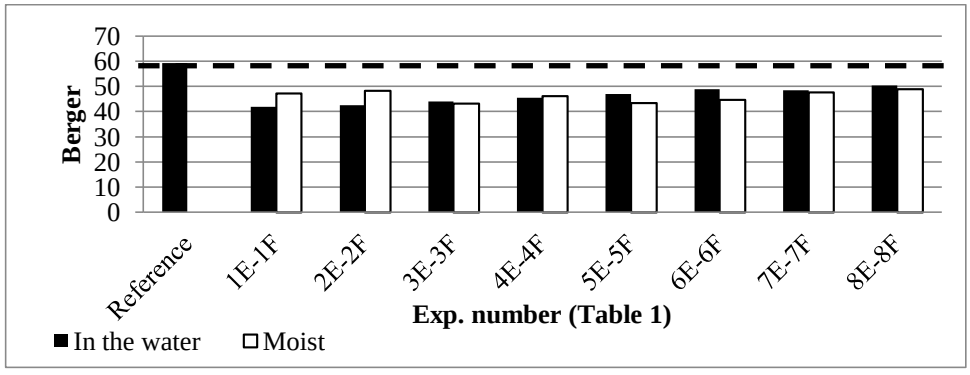
The Berger results of the samples pretreated according to Process 1, Process 2, and Process 3 were given as Berger values in Figures 8a, 8b, and 8c as graphs, respectively.



(a)



(b)



(c)

Figure 8. The Berger values of the samples *(a) Process 1, (b) Process 2, (c) Process 3*

According to Figure 8, the Berger value of the reference fabric is 59.27, and the values of the samples pretreated according to Process 1 and Process 3 is lower than the reference fabric, while some samples pretreated according to Process 2 have higher values (5D-6D-7D-8D). The Berger value of the fabric samples pretreated according to Process 2 and having ozone bleaching in the air, at which the ozone gas was fed both through stone diffuser and rubber diffuser, reach to 71.38. The results demonstrate the significance of ozone bleaching condition and the method of ozone feeding. The lowest bleaching results are obtained for the samples pretreated according to Process 3. Therefore, it is possible to say that the stage where the ozone bleaching is carried out is crucial for the bleaching. Generally, the samples bleached in the air according to Process 2 and Process 3 have higher Berger values than those in the water, while the values are lower for the samples pretreated according to Process 1. The Berger values of the samples pretreated according to Process 1 and having ozone bleaching treatments in the water are close to those of the reference fabric. The results means that ozone bleaching condition is crucial according to the pretreatment process, and it is thought that the results are derived from the stage where the bioscouring treatment is applied, or, in other words, the hydrophility situations of the fabric samples. The samples having bioscouring treatment before ozone bleaching are bleached with hydrophilic structure (Process 1), and the ozone bubbles dissolved in the water can penetrate easily into the hydrophilic fabric samples, resulting in grater bleaching effects. Furthermore, increasing the number of passages from 120 to 150 has positive effect on the bleaching results, implying that the ozone application time is also crucial for bleaching. The results are confirmed by the ANOVA analysis established by using Berger values of the fabric samples. The inputs and codes given to the parameters are shown in Table 7. According to ANOVA results given in Table 8, it is possible to say that both the investigated main factors and double interactions of them have effects on the bleaching results, statistically. The most effective main factors on the results are ozone bleaching condition > pretreatment process > method of ozone feeding > number of passages, respectively. When the interactions are focused, it is seen that the most effective one is "CD" double interaction, which means that the bleaching results are affected mostly by the ozone bleaching conditions depending on the pretreatment process. Table 8 also shows the significance of "BCD" ternary interaction. This interaction concludes that the pretreatment process, ozone bleaching condition, and method of ozone feeding should be considered together for obtaining the desired whiteness results.

Table 7. The codes given to the parameters

Parameter A: Number of the passage	Parameter B: Method of ozone feeding	Parameter C: Ozone bleaching condition	Parameter D: Pretreatment process
120 150	-M1 -M2 -M3 -M4	- In water - In the air	Process 1 Process 2 Process 3

Table 8. ANOVA results of the established model by using Berger values

Parameter		F value	p value	State
Model		108,3357	< 0,0001	**Significant**
A	Main factors	79,65434	< 0,0001	**Significant**
B		124,1454	< 0,0001	**Significant**
C		194,0345	< 0,0001	**Significant**
D		185,307	< 0,0001	**Significant**
AB	Interactions	2,728008	0,0763	Insignificant
AC		0,892373	0,3581	Insignificant
AD		2,379855	0,1227	Insignificant
BC		110,3974	< 0,0001	**Significant**
BD		94,32689	< 0,0001	**Significant**
CD		297,3985	< 0,0001	**Significant**
BCD		121,2576	< 0,0001	**Significant**

The normal probability diagnostic of the analysis can be seen in Figure 9. The normal probability indicates whether the residuals follow a normal distribution, in which the points will follow a straight line. This plot consists of the number of standard deviations of the actual values from their respective predicted values. Ideally, it should be straight line, indicating no abnormalities (Sancar and Balcı, 2013). According to Figure 9, it can be said that there are no problems on any plots, and it is also good signal for the reliability of the experimental results.

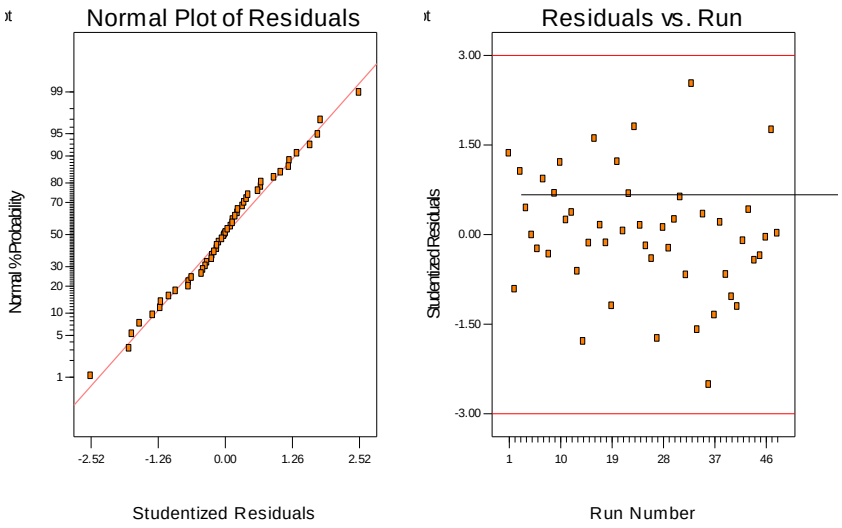


Figure 9. The normal probability diagnostic of the analysis

When the results of pretreatment performances such as whiteness, hydrophility, and residual starch of fabric samples pretreated according to Process 1, Process 2, and Process 3 are compared, the results of Process 3 are found to be inferior to the others. In addition, in Process 3, since the desizing and bioscouring treatments are applied separately, more water and time are used up. Therefore, it is concluded that Process 3 is not sustainable, so the tests and the following studies are carried out with fabric samples pretreated according to Process 1 and Process 2.

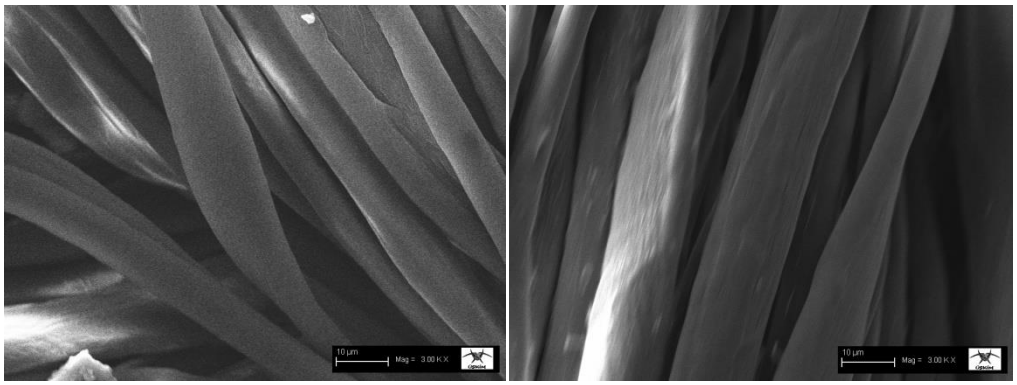
3.3. Mechanical Properties Results of the Pretreated Samples

The mechanical properties of the pretreated fabric samples according to Process 1 and Process 2 were investigated through breaking strength, tearing strength, abrasion resistance, and pilling tests, and the results are given in Table 9. Based on the mechanical test results, there are not crucial differences between the results of the samples pretreated according to Process 1 and Process 2 and those of the reference fabric. As a result, it can be said that the sustainable pretreatment processes do not cause a crucial mechanical damage to the fabrics. Since the desizing and bioscouring treatments were already applied with enzymes, the problem could have been derived from ozone bleaching treatments. For that reason, to investigate whether ozone bleaching treatment damaged the fibers, the SEM photos of the reference fabric and a fabric sample pretreated according to Process 2 (6D) were also taken. According to SEM photos seen in Figure 10 and Table 9, it is possible to say that the ozone bleaching treatments have not caused any crucial damage to the fibers, as mentioned in previous studies (Sancar Beşen et.al, 2016; Turhan et.al, 2018).

Table 9. Mechanical properties result of the pretreated samples

Exp. number (Table 1)	Breaking strength (N)		Tearing strength (gf)		Abrasion resistance				Pilling (2000 cycle)
					5000 cycles		15000 cycles		
	Warp	Weft	Warp	Weft	First weight	Final weight	First weight	Final weight	
Reference	58	24	2354	1658	0,186	0,181	0,187	0,175	4
1A	59	25	2354	2193	0,188	0,178	0,185	0,177	3
2A	61	25	2407	2084	0,189	0,183	0,195	0,182	2
3A	59	26	2407	2565	0,190	0,186	0,189	0,179	3
4A	55	26	2354	2247	0,187	0,180	0,185	0,180	2/3
5A	59	27	3420	2407	0,187	0,184	0,184	0,174	2/3
6A	57	24	2460	2193	0,184	0,182	0,186	0,173	3
7A	61	27	2617	2407	0,185	0,181	0,184	0,172	3
8A	57	20	3027	2670	0,187	0,181	0,184	0,181	3/4
1B	60	28	2617	2670	0,183	0,179	0,186	0,179	4
2B	55	27	2617	2247	0,185	0,184	0,183	0,177	3/4
3B	49	28	2460	2193	0,188	0,181	0,189	0,173	3/4
4B	62	27	2565	2139	0,183	0,181	0,185	0,176	3/4
5B	55	19	2977	2247	0,183	0,180	0,185	0,169	3
6B	56	23	2721	2565	0,183	0,179	0,186	0,172	2/3
7B	56	21	2460	2300	0,185	0,177	0,185	0,170	3/4
8B	50	25	2460	2513	0,186	0,181	0,187	0,177	2/3
1C	63	26	2513	2565	0,187	0,184	0,187	0,180	3

2C	59	25	2670	2300	0,189	0,186	0,186	0,179	3/4
3C	58	18	2513	2247	0,191	0,185	0,182	0,176	2
4C	56	22	2824	2565	0,192	0,185	0,187	0,181	2/3
5C	51	26	2773	2247	0,185	0,180	0,184	0,177	3
6C	69	24	3420	2721	0,190	0,184	0,190	0,181	4
7C	60	26	2513	2193	0,187	0,184	0,191	0,181	3/4
8C	54	28	2565	2300	0,187	0,184	0,187	0,183	2/3
1D	58	21	2247	1920	0,185	0,177	0,187	0,175	3/4
2D	61	24	2193	1642	0,186	0,179	0,185	0,172	3
3D	60	21	2407	2139	0,181	0,177	0,182	0,173	4
4D	60	24	2407	2247	0,182	0,170	0,183	0,170	4/5
5D	60	26	2617	2084	0,185	0,181	0,185	0,178	4
6D	64	20	2565	2300	0,182	0,180	0,186	0,179	3/4
7D	47	16	2084	1865	0,180	0,177	0,185	0,174	3/4
8D	52	14	2460	1698	0.180	0,178	0,184	0,171	3/4



(a) **(b)**

Figure 10. The SEM photos of (a) Reference fabric, (b) Ozone bleaching treatment applied sample

3.4. Yellowing Tendency of the Pretreated Samples Versus Time

Since the ozone-bleached cotton fabric samples have a yellowing tendency during storage (Perinçek et.al, 2009; Eren et.al, 2016), the whiteness degrees of the pretreated fabric samples according to Process 1 and Process 2 were measured at 5-day intervals for 15 days. The change in the Berger values (dBerger) was calculated by using the Berger values of the 1st day as reference. The change in the Berger values of the samples versus time can be seen in Figure 11, and it is obviously seen that the whiteness degrees of the samples decrease and the samples tend to yellowing over time. In addition, the yellowing situations of the samples change depending on the pretreatment process, and it can be said that the samples with a higher yellowing tendency are those pretreated according to Process 1. The situation can be explained by the applied treatments after the ozone bleaching, as indicated in the previous studies (Perinçek et al., 2009; Eren et al., 2016). Perinçek et al. suggested that any kind of treatment should be applied for preventing yellowing of ozonated cotton fabric during storage (Perinçek et al., 2009). According to that suggestion, since combined desizing and bioscouring treatment was applied after ozone bleaching in Process 2, the ozone gas decayed to oxygen quicker because of the wet process at

high pH (8-8,5) and temperature (60 ºC), thus the ignorable yellowing occurred (dBerger<1). It is also concluded from Figure 11 that the yellowing occurs more in the fabric samples treated with ozone bleaching in the air than in those treated in water, which are clearer in Process 1 results. The differences are thought to be derived from the lower half-life of the ozone gas in the water. The ozone gas decays to oxygen in the water faster than in the moist medium (https://www.lenntech.com/library/ozone/decomposition/ozone-decomposition.htm), thus the higher ozone residual on the fabric samples bleached in the air caused more yellowing over time.

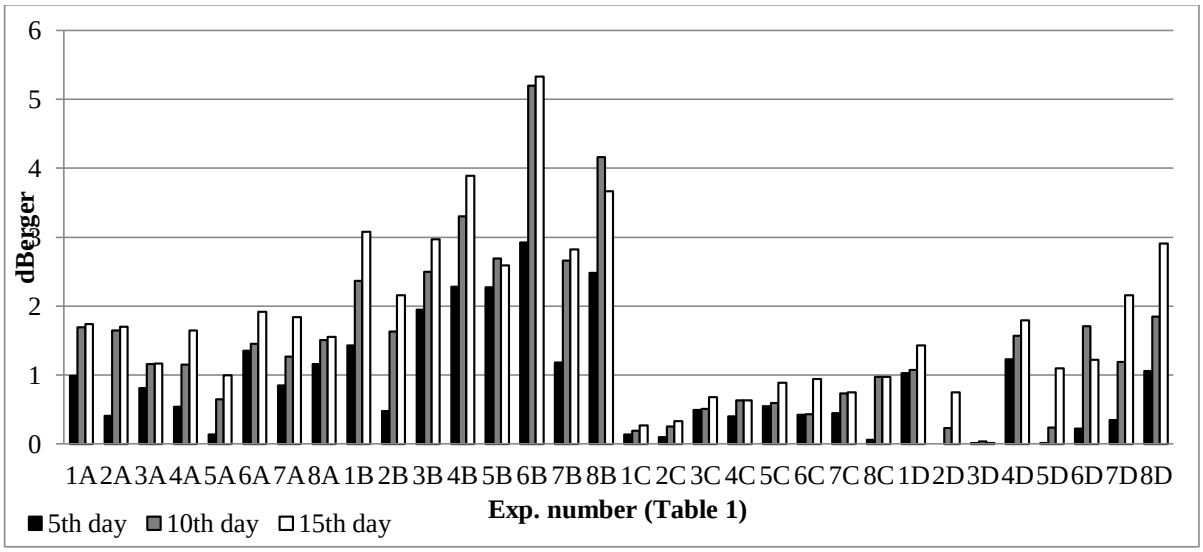
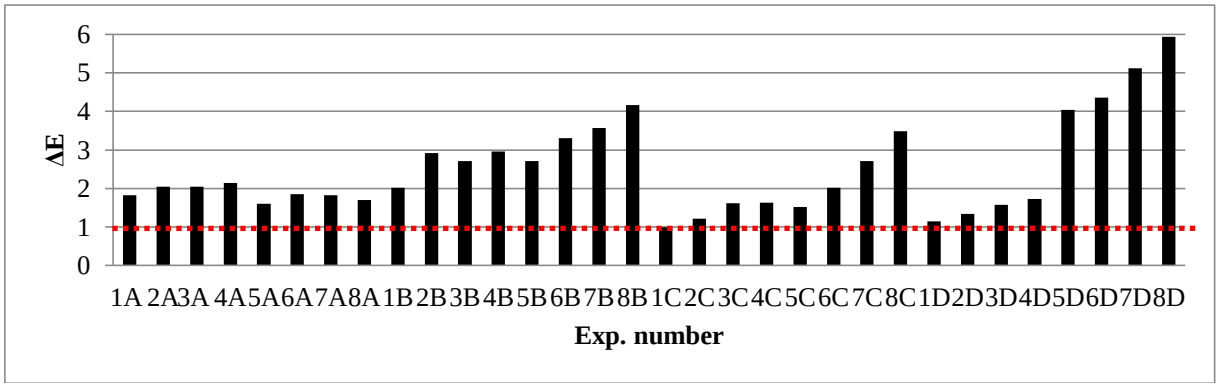


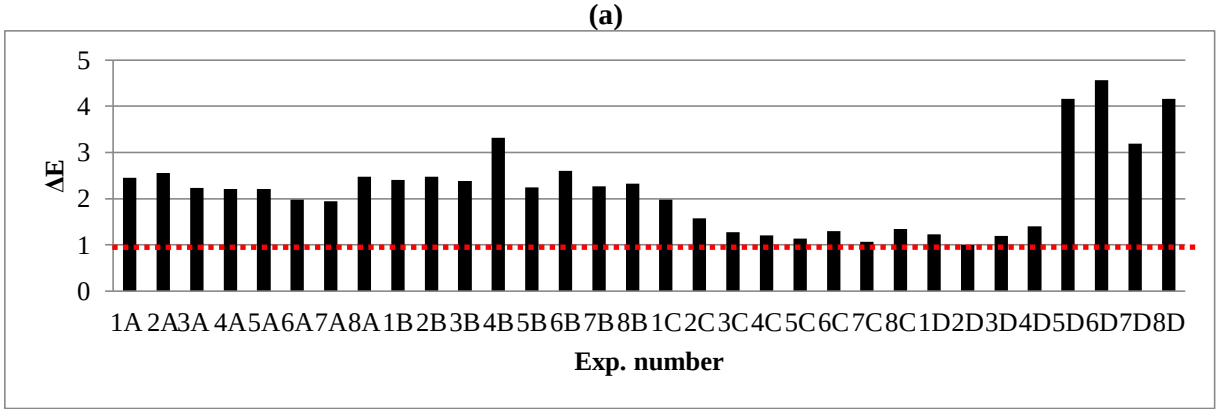
Figure 11. Change in the Berger values versus time

3.5. CIELab Values of the Dyed Samples

The CIELab values of the dyed samples were measured, and color differences values were calculated. The results of color differences (ΔE) of the dyed samples compared with the reference dyeings of 0.6% and 2.1% are given as graphs in Figure 12. According to Figure 12, it can be said that generally the ΔE values of the fabric samples pretreated according to Process 1 and Process 2 were higher than limiting value (ΔE should be less than 1). The color differences are derived from the hydrophility and whiteness properties of the gray fabrics. The color measurements of the fabric samples from the different locations and the visual evolution showed that the fabric samples pretreated according to Process 2 can be dyed more homogeneously than those of Process 1, because the hydrophility values of the samples pretreated according to Process 2 were better and the diffusion form of the droplets was regular. Therefore, it can be concluded that Process 2 is a preferable process than Process 1.



(a)



(b)

Figure 12. ΔE results of the dyed samples for owf of (a)0.6% (b)2.1%

3.6. Fastness Results of the Dyed Samples

The results of the washing, water, and perspiration fastness (acidic and basic) of the dyed samples show that whole results are 4 and 4/5 levels. Thus, it is possible to say that the improved sustainable pretreatment process in the present study is appropriate for pretreatment of the 100% cotton fabrics for dyeing with high fastness results.

4. Conclusion

In this study, it was aimed to improve a sustainable pretreatment process including enzymatic treatment and ozone bleaching at the jigger machine, and the effect of the stage where the ozone bleaching treatment should be applied was investigated. For this purpose, the 100% cotton woven raw fabrics were pretreated according to three different processes, as given below.

- Process 1: The combined desizing and bioscouring treatment then ozone bleaching
- Process 2: The ozone bleaching, then combined desizing and bioscouring treatment
- Process 3: The desizing treatment, ozone bleaching, then bioscouring treatment

In the processes, the desizing and bioscouring treatments were applied with enzymes. The ozone bleaching treatments were applied in the air to the moist fabric samples and in the water by feeding ozone gas with different methods to the jigger machine. In addition, conventional bleaching treatment was also carried out to compare the results as reference. After the pretreatment processes, the effects of the process on the pretreatment and mechanical performances of the fabric samples were examined, and

the yellowing tendency of the samples versus time was also investigated. The pretreated samples were then dyed, and the dyeing homogeneity of the samples was also observed. The results are summarized as follows:

- The stage where the ozone bleaching treatments are applied is crucial for the success of the process.
- The hydrophility and size residual results of the pretreated samples according to Process 2 are better than other processes. The ozone bleaching treatments in the air provide more homogeneous hydrophility results.
- The natural oils and waxes on the cotton can be decayed through ozone gas, and to remove them, any wet treatments should be carried out after ozone bleaching.
- According to the Berger values, the whiteness degrees of the samples pretreated according to Process 2 are better than other processes, and higher Berger values can be obtained by Process 2 than reference bleaching, especially for ozone bleaching in the air.
- The mechanical performance results and SEM analysis show that the ozone bleaching treatment had no crucial effect on the mechanical properties of the samples.
- The yellowing tendency results of the pretreated samples versus duration time indicate that the most yellowing effects occurred for the samples pretreated according to Process 1. The ozone gas decays to oxygen quicker because of the wet process at high pH (8-8,5) and temperature (60 ºC); thus, the samples pretreated according to Process 2 have an undetectable yellowing tendency.
- According to the dyeing results of the pretreated samples, the fabric samples pretreated according to Process 2 can be dyed more homogeneously because of the better hydrophility performance.
- When compared to the reference pretreatment process, while 90 liters of water (the volume of laboratory type jigger is 30 liters) are used in Process 2, 120 liters of water are used in the reference one. The water consumption also drops by 30 liters when ozone bleaching is applied in the air in Process 2. In addition, while the reference bleaching process is applied at 90 ºC, the ozone bleaching is applied at room temperature, consuming more energy than Process 2. Therefore, it is possible to say that Process 2 is a sustainable pretreatment process that includes enzymatic pretreatment and ozone bleaching.

As a conclusion, the stage where the ozone bleaching treatment is applied has high importance for the success of the process. Process 2 in which the ozone bleaching treatment is applied before the combined desizing and bioscouring process, is the most appropriate one due to superior hydrophility, whiteness, yellowing tendency, and dyeing performance results. In addition, the condition of ozone bleaching treatments is also crucial for the results and it is recommended to apply in the air in terms of both obtaining better results and consuming less water and energy.

5. Acknowledgement

This work was supported by the The Ministry of Industry and Technology, project number: 01426.STZ.2012-1. The authors would like to thank the Ministry for its financial support.

6. References

Arooj F., Ahmed N., Shaikh IA. Application of ozone in stripping of cotton fabric dyed with reactive dyes. Ozone: Science & Engineering 2019; 42(4): 319-330.

Arooj F., Jamshed K., Kashif SR., Jamshed H., Luqman M. Improvement in the absorbency of ozone bleached cotton fabricby the addition of surfactant. The Journal of the Textile Institute 2021; 112(11): 1821-1825.

Bahtiyari MI., Benli H. Ozone bleaching of cotton fabrics with the aid of ultrasonic humidifier. Cellulose 2016; 23: 2715–2725.

Bahtiyari MI., Benli H. Comparison of ozone-based cold bleaching processes with conventional pretreatment of cotton. Ozone: Science & Engineering 2020; 42(5): 450-460.

Benli H., Bahtiyari MI. Combination of ozone and ultrasound in pretreatment of cotton fabrics prior to natural dyeing. Journal of Cleaner Production 2015; 89: 116–124.

Cardoso JC., Bessegato GG., Zanoni MVB. Efficiency comparison of ozonation, photolysis, photocatalysis, and photoelectrocatalysis methods in real textile wastewater decolorization. Water Research 2016; 98: 39-46.

Erdem A., Ibrahim Bahtiyari M. Ultrasonic-bioscouring and ozone-based bleaching of cotton slivers and coloration of them with natural dye sources. Journal of Cleaner Production 2018; 188: 670–677.

Eren HA., Eren S. Ozone bleaching of cellulose, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2017; 254(8): 1-3.

Eren HA., Avinç O., Erişmiş B., Eren S. Ultrasound-assisted ozone bleaching of cotton. Cellulose 2014; 21: 4643–4658.

Eren HA., Oztürk D. The evaluation of ozonation as an environmentally friendly alternative for cotton preparation. Textile Research Journal 2010; 81(5): 512-519.

Eren S., Yetişir I. Ozone bleaching of woven cotton fabric. Pamukkale Univ Muh Bilim Derg 2018; 24(7): 1245-1248.

Eren S., Gümüş B., Eren HA. Colour stripping of reactive-dyed cotton by ozone treatment. Color. Technol. 2016; 132: 466-471.

Gedik G., Kızılkaya YMA., Uyak V., Koluman A. Simultaneous eco-friendly bleaching and retting wastewater treatment of hemp fiber with ozone application. Fibers and Polymers 2023; 24: 57-72.

Gülümser T., Akça C., Bahtiyari MI. Investigation of the effects of ozone on whiteness degree in wool finishing. Tekstil ve Konfeksiyon 2009; 1: 52-55.

Hareem T., Arooj F., Kashif SR., Farooq Z. Economic viability of pilot-scale application of ozone in cotton bleaching with multiple reuse of water. Ozone: Science & Engineering 2019; 41(2): 197-203.

https://www.lenntech.com/library/ozone/decomposition/ozone-decomposition.htm.

Hussain T., Wahab A. A Critical review of the current water conservation practices in textile wet processing. Journal of Cleaner Production 2018; 198: 806–819.

Körlü A. Use of ozone in the textile industry. Textile Industry and Environment 2018*;* DOI: http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.81774.

Maqsood HS., Bashir U., Wiener J., Puchalski M., Sztajnowski S., Militky J. Ozone treatment of jute fibers. Cellulose 2017; 24(3): 1543–1553.

Paksoy N., Balcı O., Sancar Beşen B. A research of applicability of ozone bleaching process for 100% cotton fabrics at jigger machine. Tekstil ve Konfeksiyon 2020; 30(3): 173-183.

Paksoy N. The applicability of the pretreatment and dyeing processes at jigger machine by using ozone gas. Master's Thesis, Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Textile Engineering 2014; 24-117.

Palabıyık I., Eryılmaz G., Bulut O. Development of ozone effecting system without using harmful chemicals. International Journal of Environmental Pollution and Environmental Modelling 2022; 5(1): 19-22.

Patel PR., Thakkar AI. Analyzing performance of esterified starch against thin boiling starch for warp sizing applications part i : Comparative study of two starches as size binders. International Journal for Scientific Research & Development 2013; 1(2): 173-177.

Perincek S., Bahtiyari I., Ekmekçi Körlü A., Duran K. New techniques in cotton finishing. Textile Research Journal 2009; 79(2): 121-128.

Perinçek S., Bahtiyari MI., Duran K., Körlü AE. Yellowing tendency of ozonated cotton fabric and ways to prevent this undesirable side effect. The Journal of the Textile Institute 2009; 100(8): 738-746.

Perincek S., Duran K., Körlü Ekmekçi A., Bahtiyari I. An Investigation in the use of ozone gas in the bleaching of cotton fabrics. Ozone: Science&Engineering 2007; 29(5): 325-333.

Perincek S., Duran K., Korlu AE. Combination of ozonation and hydrogen peroxide bleaching for linen fabrics: optimization of the process using experimental design technique. Ozone: Science & Engineering 2013; 35: 316-327.

Piccoli PH., Souza AAU., Souza SMAGU. Bleaching of knitted cotton fabric applying ozone. Ozone: Science & Engineering 2015; 37(2): 170-177.

Prabaharan M., Rao JV. Study on ozone bleaching of cotton fabric –process optimization. Dyeing and Finishing Properties, Coloration Technology 2001; 117: 93-103.

Sancar Beşen B., Balcı O. Fading of cotton colored with c.i. vat blue i (indigo dye) via ozone application. Ozone: Science & Engineering 2016; 38(5): 395-409.

Sancar Beşen B. Improving of sustainable, economic and innovative processes with ozone applications for textile finishing. Master's Thesis, Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Textile Engineering 2012; 52-91.

Sancar B., Balcı O. Decolorization of different reactive dye wastewaters by o_3 and o_3/ultrasound alternatives depending on different working parameters. Textile Research Journal 2013; 83(6): 574-590.

Turhan Y., Soydaş Ş. The effects of ozone bleaching and ozone desizing method on whiteness and water absorption of 100% cotton terry fabrics. International Journal of Materials Science and Applications 2018; 7(3): 85-94.

Turhan Y., Soydaş Ş. The effects of ozone bleaching and ozone desizing method on whiteness and water absorption of 100% cotton terry fabrics. International Journal of Materials Science and Applications 2018; 7(3): 85-94.

Turhan Y., Soydaş Ş. The effects of the ozone desizing and combined conventional desizing and scouring on tear strength and abrasion resistance of 100% cotton terry fabrics. Journal of Textile Science & Engineering 2018; 8(2): 1-7.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1210-1226, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1210-1226, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Bazı Organik ve İnorganik Bileşiklerin Entos-Envision Yazılımıyla Kuantum Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi

Özlem İŞCAN[1*]

[1]Bartın Üniversitesi Rektörlük, Proje ve Teknoloji Ofisi Genel Koordinatörlüğü, Bartın-Türkiye

[1]https://orcid.org/0000-0003-3282-1121
*Sorumlu yazar: oiscan@bartin.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 18.12.2024
Kabul tarihi:16.03.2025
Online Yayınlanma: 16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Entos-Envision
HOMO-LUMO
Kloroform
Cis-2-penten
Moleküler dinamik

ÖZ

Bu çalışmada, hesaplamalı kimya yazılımlarından Entos-Envision kullanılarak çeşitli moleküler yapıların ve kimyasal reaksiyonların kuantum kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir. Entos-Envision, çevrimiçi bir platform olarak geometri optimizasyonu, bağ derecesi, HOMO-LUMO enerji seviyeleri, moleküler elektrostatik potansiyel (MEP), IR spektrumları, moleküler dinamik ve izomer dönüşümleri gibi kapsamlı analiz imkanları sunmaktadır. Araştırmada kloroform, aspirin, cis-2-penten, ftalosiyanin, penisilin ve fosfazen bileşiklerinin geometrik optimizasyonları yapılmış; cis- ve trans- 2-penten izomerlerinin birbirine dönüşümü gözlemlenmiştir. Kloroform molekülünde hidrojen atomunun ayrılması sırasında meydana gelen değişiklikler izlenmiş, HOMO-LUMO enerji farkları hesaplanmış ve elektrostatik potansiyel yüzeyleri belirlenmiştir. Elde edilen HOMO ve LUMO enerjileri ile bazı kuantum kimyasal parametreler hesaplanmıştır. Ayrıca, kullanıcı dostu arayüzü sayesinde Entos-Envision, kimya alanında uzman olmayan kullanıcılar için de kolay erişilebilir bir yazılım olarak öne çıkmaktadır.

Quantum Chemical Investigation of Selected Organic and Inorganic Compounds via Entos-Envision Software

Research Article

Article History:
Received: 18.12.2024
Accepted: 16.03.2025
Published online: 16.06.2025

Keywords:
Entos-Envision
HOMO-LUMO
Chloroform
Cis-2-pentene
Molecular dynamics

ABSTRACT

In this study, quantum chemical analyses of various molecular structures and chemical reactions were conducted using the computational chemistry software Entos-Envision. Entos-Envision, an online platform, provides comprehensive analysis tools such as geometry optimization, bond order, HOMO-LUMO energy levels, molecular electrostatic potential (MEP), IR spectra, molecular dynamics, and isomer transformations. In this research, the geometric optimizations of compounds such as chloroform, aspirin, cis-2-pentene, phthalocyanine, penicillin, and phosphazene were performed, and the isomerization between cis- and trans-2-pentene was observed. Changes occurring during the removal of the hydrogen atom in the chloroform molecule were monitored, HOMO-LUMO energy gaps were calculated, and electrostatic potential surfaces were determined. Quantum chemical parameters were calculated based on the obtained HOMO and LUMO energies. Additionally, due to its user-friendly interface, Entos-Envision is highlighted as a software that is easily accessible even to users who are not experts in the field of chemistry.

To Cite: İşcan Ö. Bazı Organik ve İnorganik Bileşiklerin Entos-Envision Yazılımıyla Kuantum Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1210-1226.

1. Giriş

Günümüzde kimya alanındaki araştırmaların ve keşiflerin hızla artmasıyla birlikte, veri analizi ve hesaplamalı modelleme gibi ileri tekniklere olan ihtiyaç da giderek önem kazanmıştır. Kimyasal reaksiyonların ve moleküler yapıların incelenmesinde temel araçlardan biri haline gelen hesaplamalı kimya yazılımları, deneysel çalışmaların maliyet ve zaman yükünü azaltarak bilim insanlarının daha hızlı ve verimli sonuçlara ulaşmasını sağlamaktadır. Bu yazılımlar, laboratuvar ortamında uzun sürebilecek analizlerin dijital ortamda daha pratik bir şekilde yapılmasına olanak tanıyarak modern kimya araştırmalarında vazgeçilmez bir rol oynamaktadır (Demircioğlu ve ark., 2019; Uzun ve ark., 2019; Tarı ve ark., 2024; Yazgı ve ark., 2024).

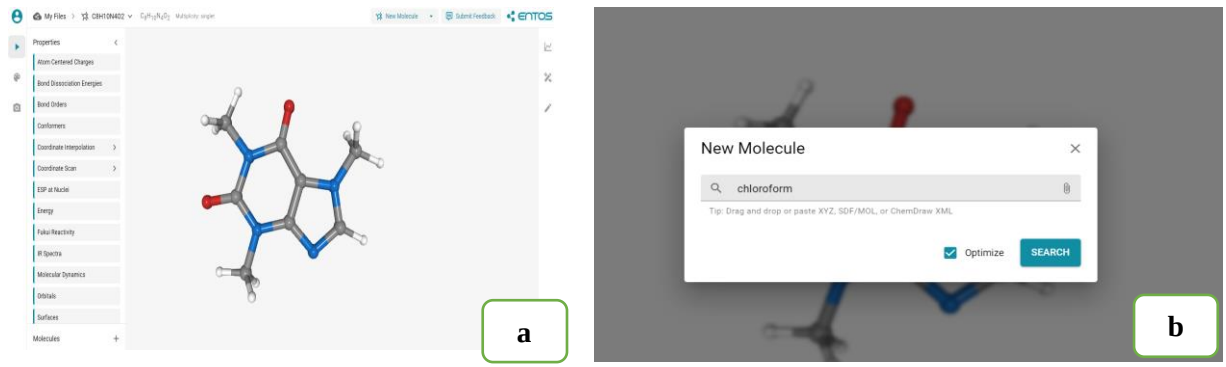
Entos-Envision (https://www.entos.ai/envision) online platformu kullanılarak, moleküllerin geometri optimizasyonu, enerjisi, moleküllerin bağ açıları, bağ uzunlukları, teorik IR, moleküler dinamik, koordinasyon taraması, konformerleri, HOMO-LUMO enerji, orbitallerinin şekli ve moleküler elektrostatik potansiyel enerji hesabı (MEP) gibi birçok özellik yarı deneysel GFN1-XTB yöntemiyle hesaplanmaktadır. Entos-Envision'da çok basit yapılı moleküllerden çok karmaşık yapılı moleküllere kadar quantum hesaplama işlemleri yapılabilmektedir.

Entos Envision (Şekil 1), kimya alanında yapılan hesaplamalı çalışmaları desteklemek için birçok özellik ve avantaja sahiptir. Bu özellikler arasında şunlar bulunmaktadır:

1. Moleküler Modelleme: Entos Envision, moleküler yapıların modellemesi ve analizi için gelişmiş araçlar sunar. Bu sayede, kullanıcılar moleküler düzeyde kimyasal reaksiyonları inceleyebilir ve analiz edebilir.

2. Kimyasal Reaksiyonlar: Entos Envision, çeşitli kimyasal reaksiyonları simüle etme ve sonuçlarını hesaplamaya olanak sağlar. Bu sayede, kullanıcılar istedikleri reaksiyonların sonuçlarını önceden görebilir ve analiz edebilir.

3. Veri Analizi: Entos Envision, kimyasal verilerin analizi için gelişmiş araçlar sunar. Bu sayede, kullanıcılar elde ettikleri verileri kolayca analiz edebilir ve yorumlayabilir.

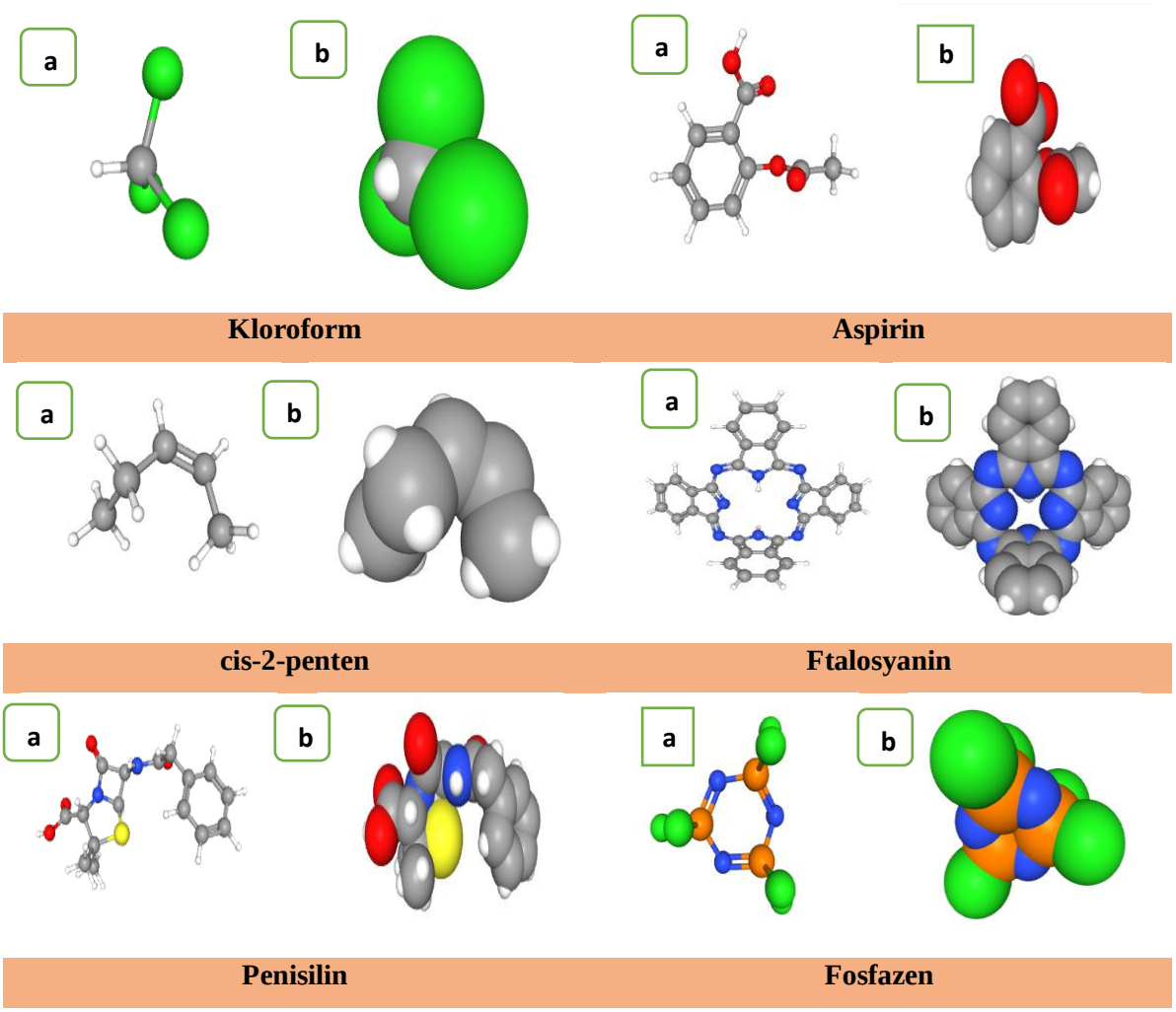


Şekil 1. Entos-envision yazılımında a) giriş sayfası b) molekülün ekrana çağrışımı

Kloroform (Entosai172506), Aspirin(entosai173493), cis-2-penten (entosai173675), ftalosyanin (entosai172513), penisilin (entosai173462) ve fosfazen (entosai130064) bileşiklerinin entos envision yazılımına yüklemek için pubchemden (http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov) sayfasından alınan smiles kodları kullanılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmamızdaki seçilen kloroform, aspirin, cis-2-penten, ftalosiyanin, penisilin ve fosfazen bileşiklerinin çizgi-top ve uzay dolgu görünümleri (Şekil 2) ve Entos envisiona molekülleri yüklemek için smiles kodları pubchem (http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov) sitesinden alınmıştır.

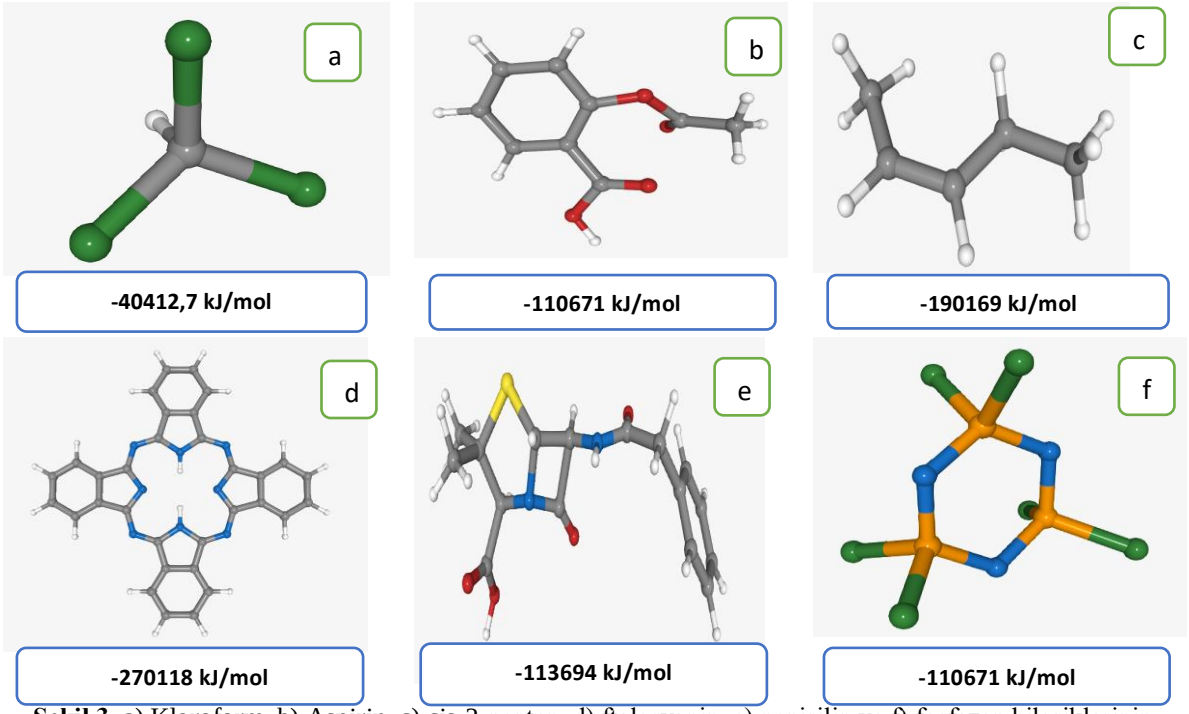


Şekil 2. Kloroform, Aspirin, cis-2-penten, ftalosyanin, penisilin ve fosfazen bileşiklerinin a) çizgi top görünümü b) Uzay dolgu görünümü

2.1. Geometri Optimizasyonu

Bileşiklerin geometrisinin optimize edilmesi, moleküler yapının en düşük enerjili konuma getirilmesi ve en kararlı yapının belirlenmesi için hesaplamalı kimya çalışmaları öncesinde yapılan bir ön hesaplama basamağıdır. Bu basamakta, moleküler modelleme ve hesaplama yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Irak ve ark., 2019). Geometri optimizasyonu, genellikle bir bilgisayar programı

yardımıyla gerçekleştirilir ve moleküler dinamik simülasyonları, yarı deneysel yöntemi, yoğunluk fonksiyonu teorisi ve kuantum kimyası gibi yöntemler kullanılarak yapılmaktadır. Bu sayede bir bileşiğin atomların konumlarını ve bağ açılarını en uygun şekilde ayarlayarak moleküler yapıyı stabilize etmektedir (Reveles ve ark., 2004; İşcan, 2023) Bileşiklerin optimize edilmiş yapıları Şekil 3'te gösterilmiştir. Bileşiklerin daha kuantum fiziksel ve kimyasal özellikleri hesaplanmıştır.

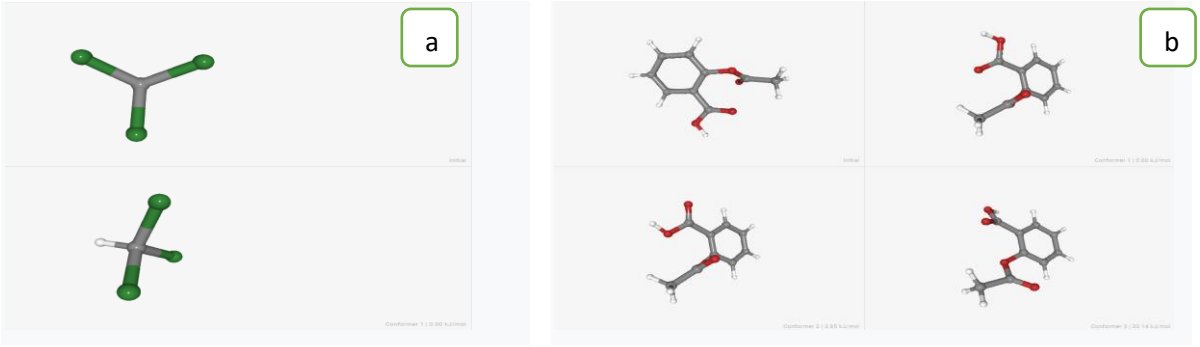


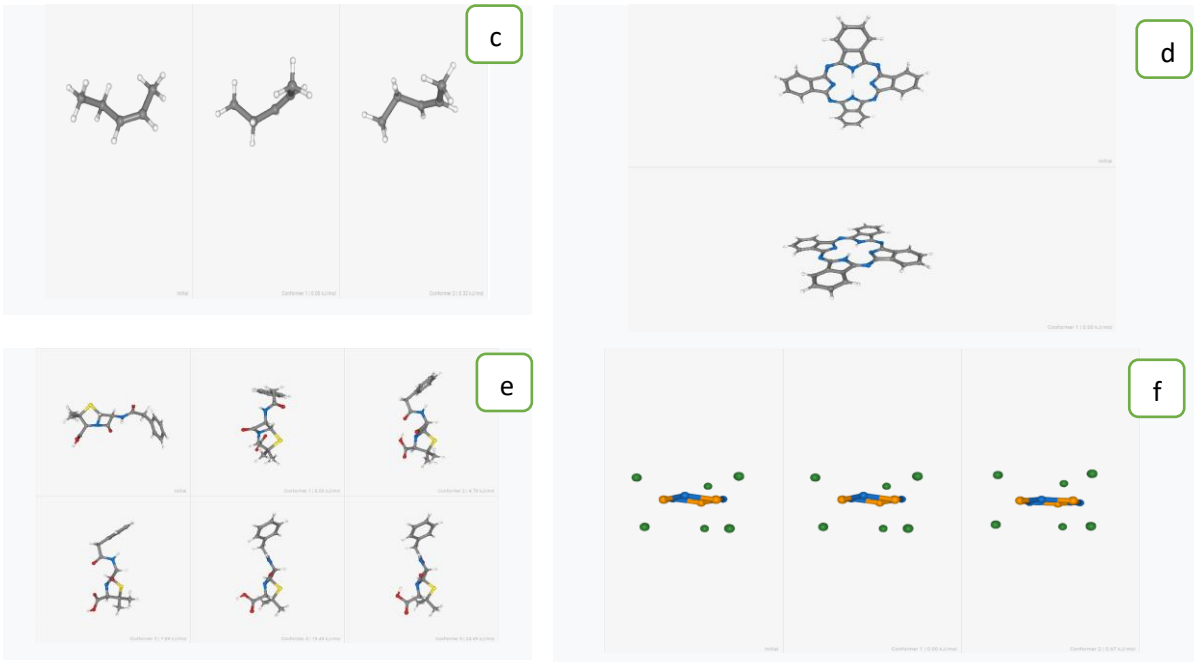
Şekil 3. a) Kloroform, b) Aspirin, c) cis-2-penten, d) ftalosyanin, e) penisilin ve f) fosfazen bileşiklerinin optimize yapısının görüntüsü

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Konformer Yapıları

Konformasyon izomerleri veya konformerler, bir molekülün sahip olabileceği kararlı konformasyonlardır. Moleküldeki dönebilen bağların sayısına bağlı olarak çok sayıda konfigürasyon oluşabilir ve bu durum, molekülün özellikleri üzerinde önemli etkiler yaratabilir. Envision yazılımı, konformer yapılarının kolay ve hızlı bir şekilde elde edilmesini sağlar; bu çalışmada hesaplanan konformer yapıları ise Şekil 4'te sunulmuştur.

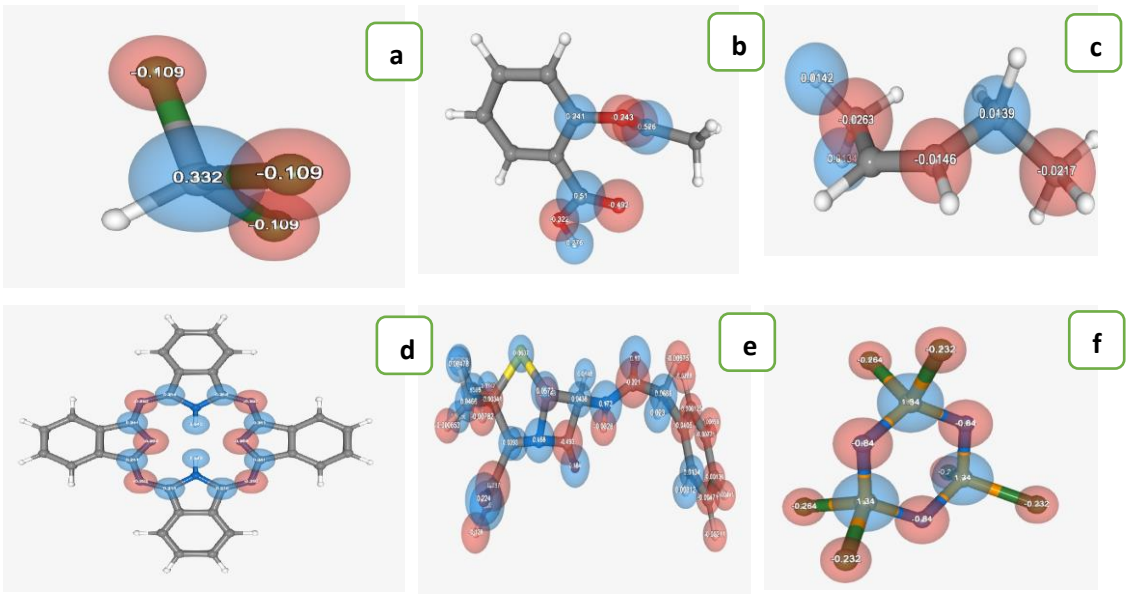




Şekil 4. a) Kloroform, b)Aspirin, c) cis-2-penten, d) ftalosyanin, e) penisilin ve f) fosfazen bileşiklerinin konformer yapıları

3.2. Merkezi Atom Yükü

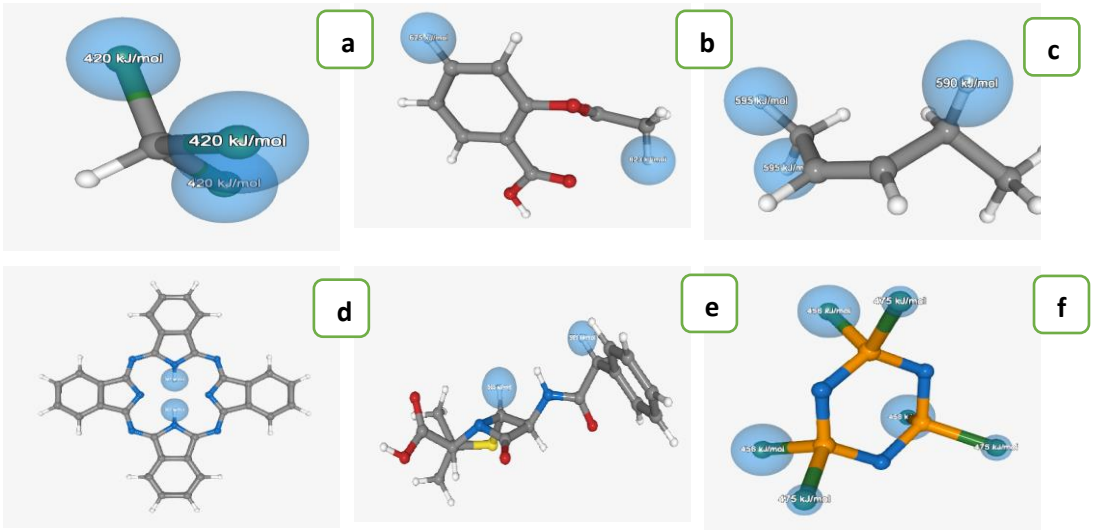
Hesaplanan merkezü yükler Şekil 5'te verilmiştir. Merkezi yüklerde daha elektronegatif olanlar mavi ile daha elektropozitif olanlar kırmızıyla gösterilmiştir. Yük değerleri kürelerin üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 5. a) Kloroform, b)Aspirin, c) cis-2-penten, d) ftalosyanin, e) penisilin ve f) fosfazen bileşiklerinin merkezi yükleri

3.3. Bağ Ayrışma Enerjisi

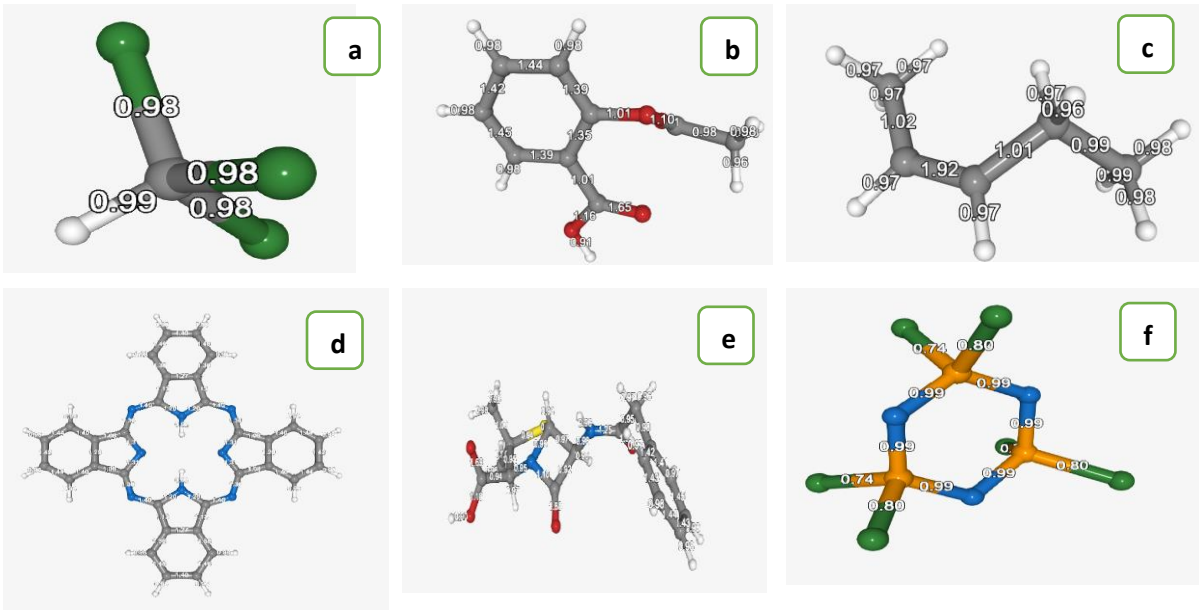
Bileşiklerin bağ ayrışma enerjileri Şekil 6'da gösterilmiştir. En yüksek bağ ayrışma enerjisi, aspirin molekülündeki C-H bağı arasında gözlemlenmiştir. En düşük bağ ayrışma enerjisi ise radikalik tepkimeye girebilen kloroform molekülündeki C-Cl bağı arasında tespit edilmiştir.



Şekil 6. a) Kloroform, b)Aspirin, c) cis-2-penten, d) ftalosyanin, e) penisilin ve f) fosfazen bileşiklerinin hesaplanan bağ ayrışma enerjisi

3.4. Bağ Derecesi

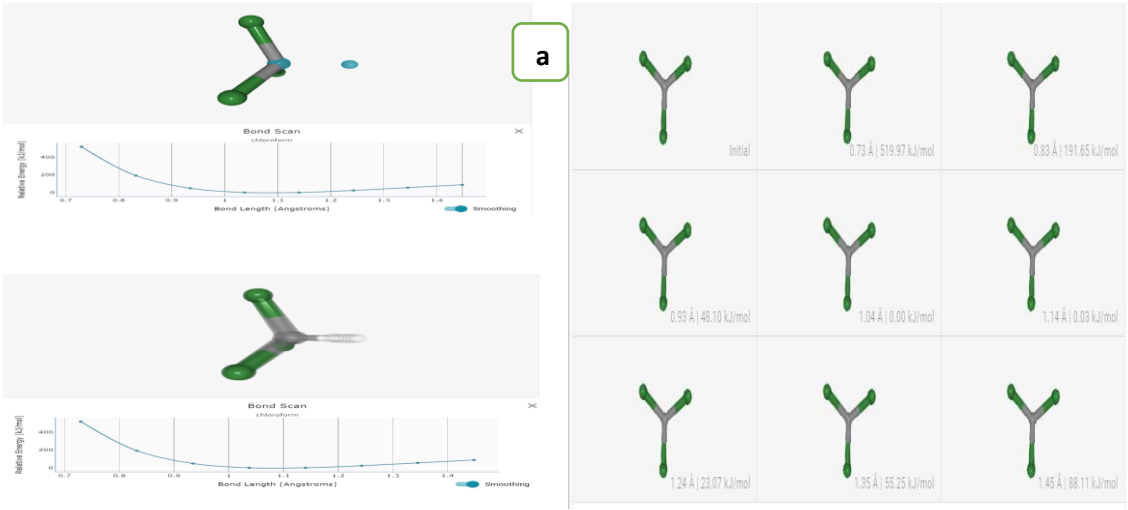
Hesaplanan bağ dereceleri Şekil 7'de sunulmuştur. Kloroform molekülü incelendiğinde, C-H bağ derecesinin 0,99, C-Cl bağ derecesinin ise 0,98 olduğu görülmektedir. Beklendiği üzere, klor atomu hidrojene göre daha elektronegatif olduğundan, karbon üzerinde bulunan elektron yoğunluğunu azaltmakta ve bu durum daha düşük bir bağ derecesine yol açmaktadır.



Şekil 7. a) Kloroform, b)Aspirin, c) cis-2-penten, d) ftalosyanin, e) penisilin ve f) fosfazen bileşiklerinin bağ derecesi

3.5. Koordinasyon Taraması

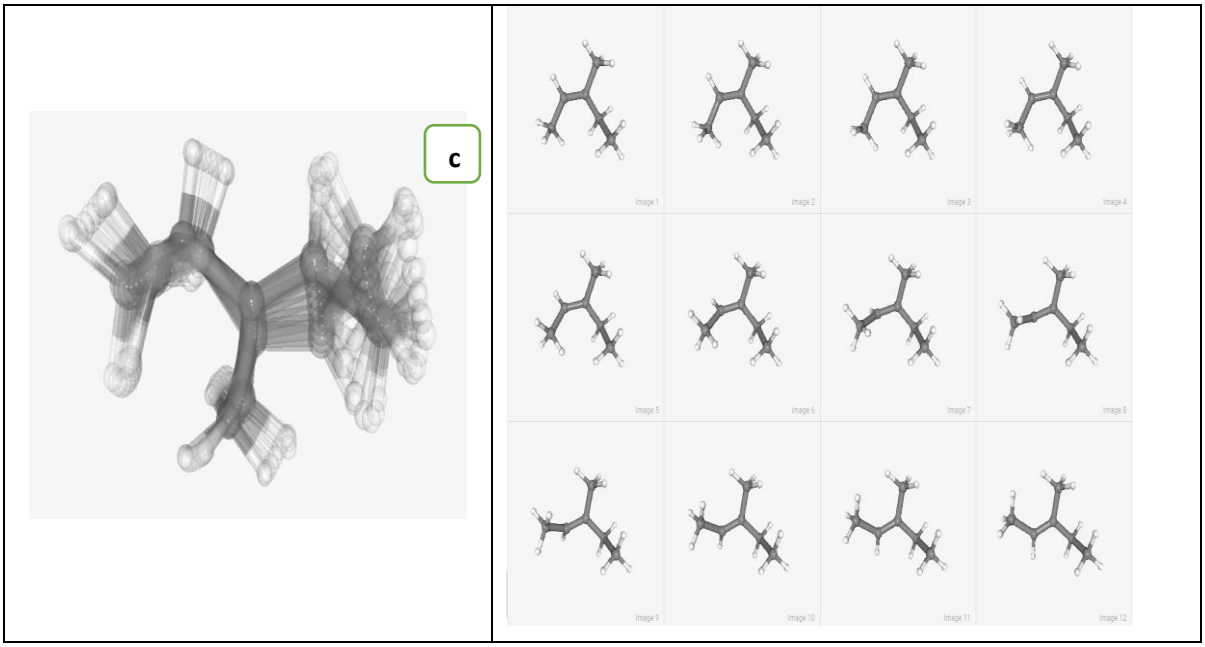
Koordinat taramaları, moleküler sistemlerdeki dinamik süreçleri incelemek için yararlı hesaplamalardır. Bağ ayrışması, ters çevrilmeler ve dönmeler gibi süreçler, ilgilendiğiniz koordinatı değiştirerek ve enerjinin koordinata göre nasıl değiştiği incelenebilmektedir. Bu çalışmada kloroform bileşiğindeki C-H bağı araştırılmış olup, C-H arasındaki bağ kopmasına ait simülasyonunun görüntüsü Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Kloroform molekülünden bir Hidrojen atomunun ayrılmasının simulasyonu

3.6. Koordinat Dönüşümleri

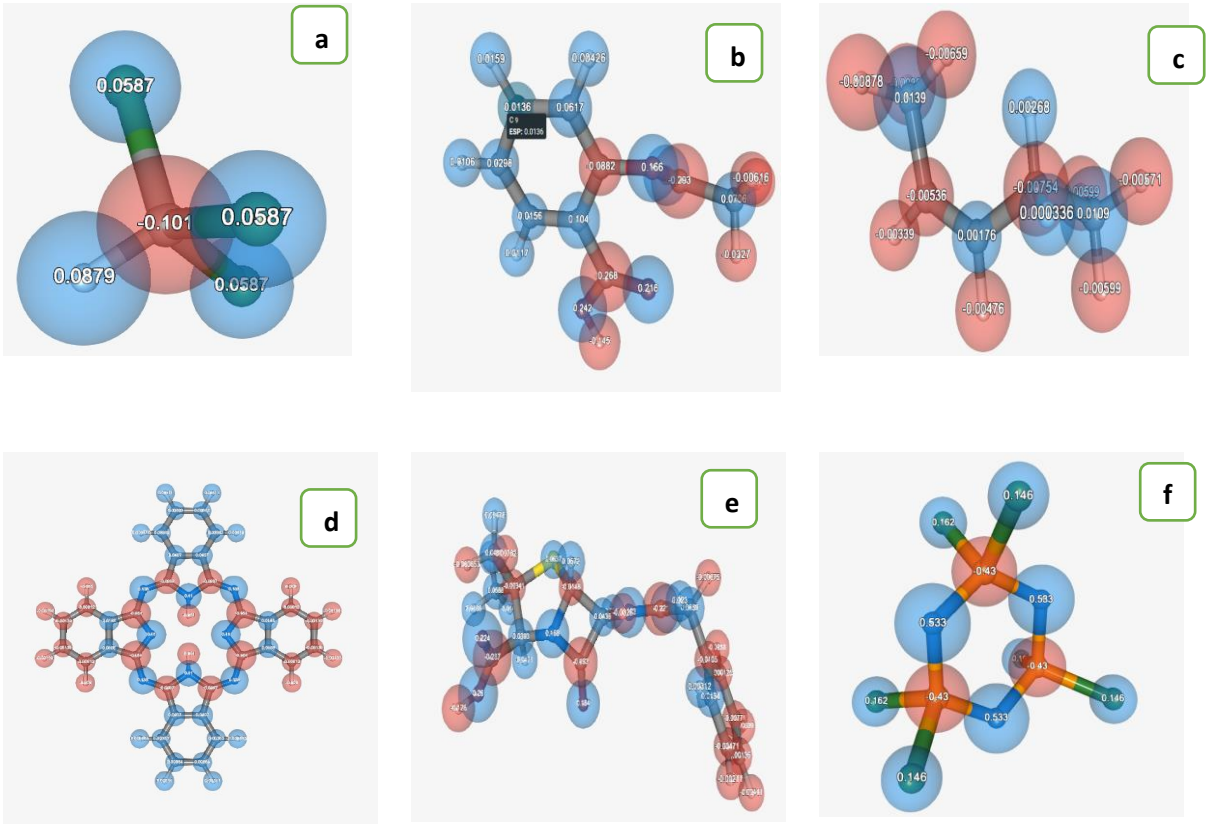
Trans-2-penten ve cis-2-penten bileşiklerinin birbirlerine dönüşümü sırasında gerçekleşen olayların görsel bir simülasyonu Entos Envision aracıyla hazırlanmıştır (Şekil 9). Bu dönüşüm süreci, video veya görüntü olarak kayıt altına alınabilmektedir.



Şekil 9. Trans- ve cis-2-penten geometrik izomerlerinin birbirine dönüşümü

3.7. Çekirdek Elektrostatik Potansiyel Enerji

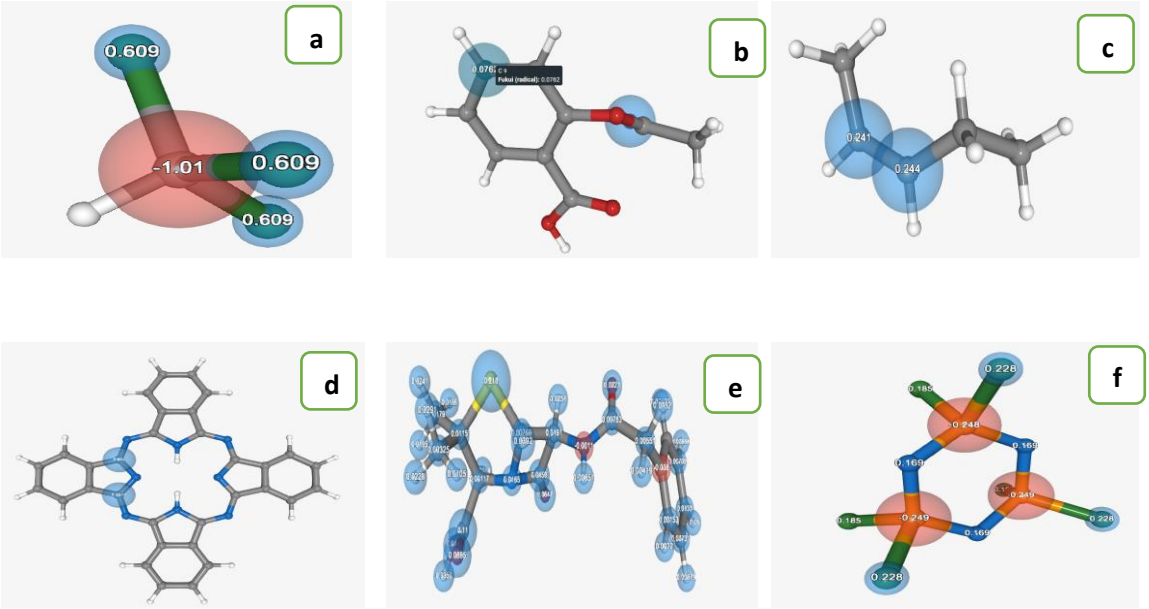
Çekirdek elektrostatik potansiyel enerji, bir atom çekirdeğinin elektrik yükleri arasındaki potansiyel enerjiyi ifade etmektedir. Çekirdek, protonlar ve nötronlardan oluşur ve protonlar pozitif yüklüdür. Protonların pozitif yükleri birbirini iter, ancak güçlü nükleer kuvvetler onları bir arada tutar. Çekirdek içindeki elektrostatik potansiyel enerji, bu protonlar arasındaki elektriksel itme kuvvetlerinin bir sonucudur. Elektrostatik potansiyel enerji, yüklerin birbirine uyguladığı elektrostatik kuvvetlerden kaynaklanan enerjidir. İki nokta yükü arasında bu enerji, Coulomb yasasına göre hesaplanabilmektedir (Serway ve ark., 2018).



Şekil 10. a) Kloroform, b)Aspirin, c) cis-2-penten, d) ftalosyanin, e) penisilin ve f) fosfazen bileşiklerinin çekirdek elektrostatik potansiyel enerji gösterimi

3.8. Fukui Reaktiflik

Hesaplamalı kimyada Fukui fonksiyonu veya sınır fonksiyonu, toplam elektron sayısındaki küçük bir değişikliğin sonucu olarak bir sınır yörüngesindeki elektron yoğunluğunu tanımlayan bir fonksiyondur. Yoğunlaştırılmış Fukui fonksiyonu veya yoğunlaştırılmış reaktivite göstergesi aynı fikirdir ancak üç boyutlu uzaydaki bir noktaya değil, bir molekül içindeki bir atoma uygulanır. Fukui fonksiyonu, yoğunluk fonksiyonel teorisini kullanarak bir molekülün en elektrofilik ve nükleofilik bölgelerinin nerede olduğunu tahmin etmeye olanak tanımaktadır (Fukui, 1982; Yang ve ark., 1986; Parr ve ark., 1989).



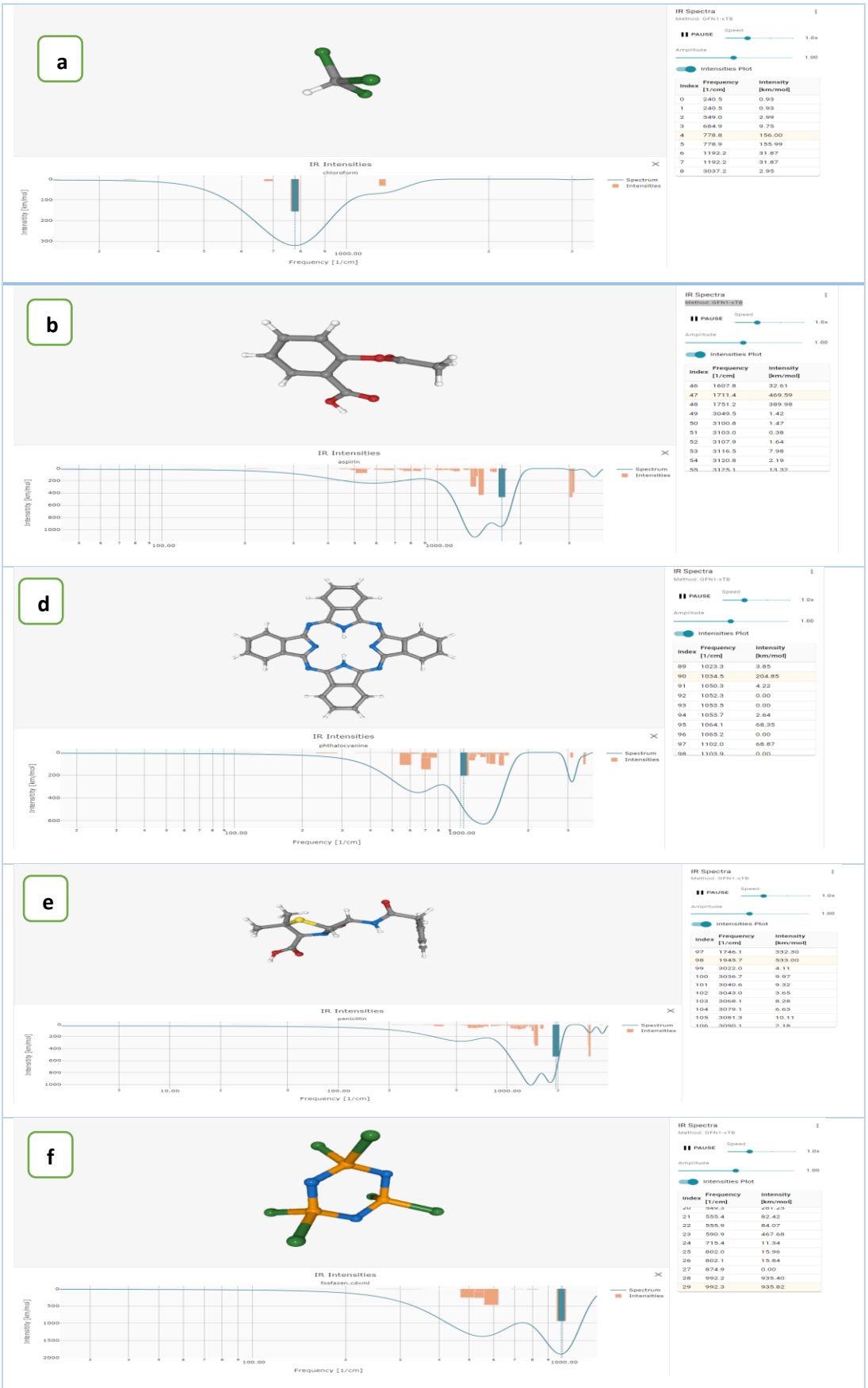
Şekil 11. a) Kloroform, b)Aspirin, c) cis-2-penten, d) ftalosyanin, e) penisilin ve f) fosfazen bileşiklerinin fukui reaktifliklerinin gösterimi

3.9. Titreşim Spektrumu (IR)

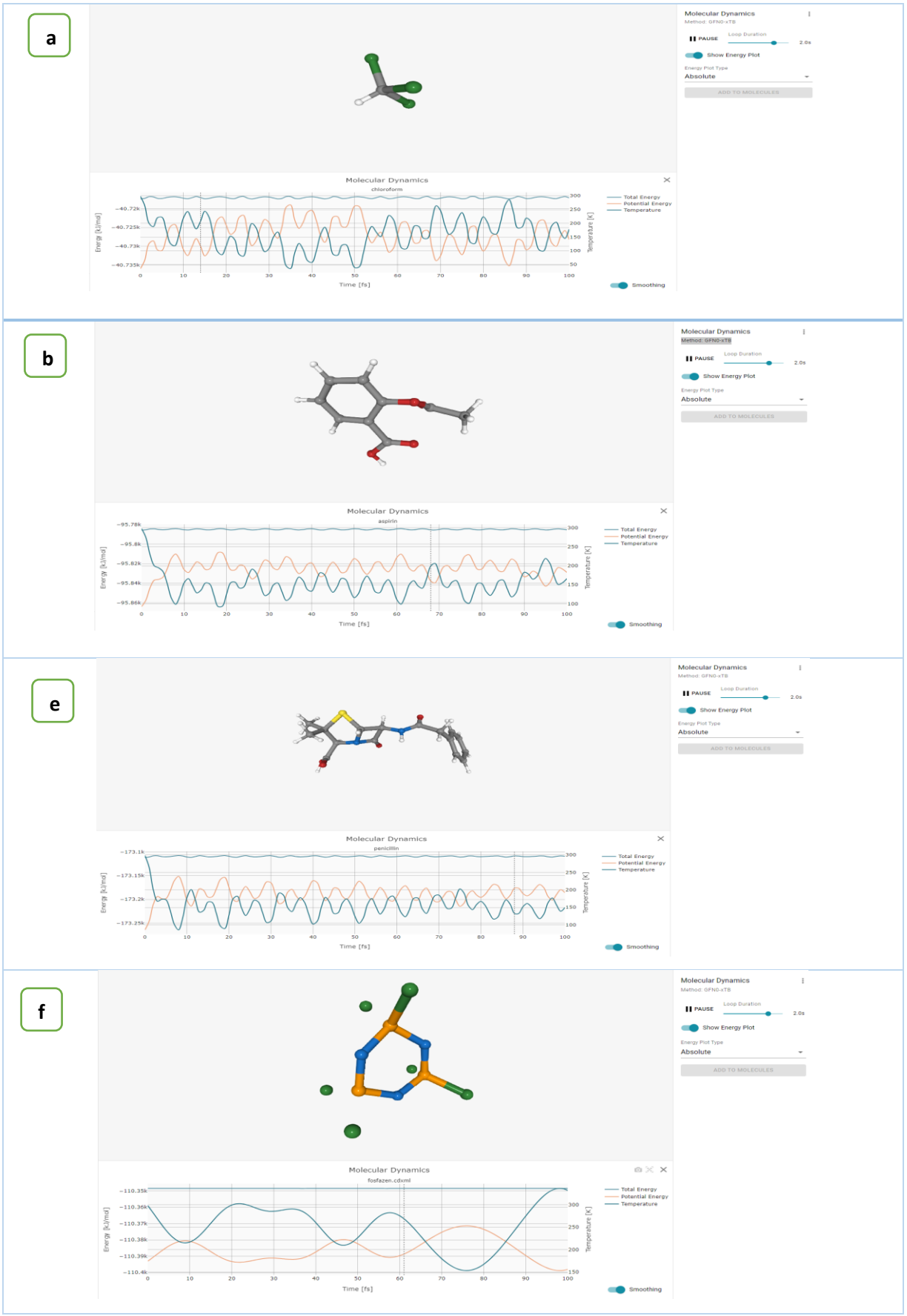
Bileşiklere ait titreşim spektrumu ve frekans değerleri Şekil 12'de gösterilmiştir. C-Cl bağına ait gerime 780 cm^{-1} civarında görülmüştür. Aspirin ve penisilin molekülünde sırasıyla; 1711,4 cm^{-1} civarında (asit), 1751,2 cm^{-1} (ester) ve 1745,7 cm^{-1}'de C=O bağ gerilmeleri gözlenmiştir. Cis 2-pentenin IR spektrumu hesaplanamamıştır. Bunun sebebi olarak GFN1-xTB'nin IR spektrumlarını hesaplamada yetersiz kalması ve düşük simetrili moleküllerde IR spektrumu hesaplamalarında zorlukların olmasıdır (Prancht ve ark., 2020) Ftalosiyanin bileşiğindeki C=N bağına ait gerilme 1034,5 cm^{-1}'de gözlenmiştir. Son olarak fosfazen bileşiğindeki P=N bağına ait gerilmede 992,3 cm^{-1}'de gözlenmiştir.

3.10. Moleküler Dinamik

Moleküler dinamik (MD), atomların ve moleküllerin fiziksel hareketlerini incelemek için bir bilgisayar simülasyon yöntemidir. Atomların ve moleküllerin sabit bir süre boyunca etkileşime girmesine izin verilir ve bu da sistemin dinamik evrimi hakkında bilgi verir. Bileşiklerin hesaplanan moleküler dinamikleri Şekil 13'te sunulmuştur. Ftalosiyanin ve cis 2-pentene ait bir moleküler dinamik verisi elde edilememiştir (Plimpton, 1995). Cis-2-penten bileşiğinde bulunan çift bağından kaynaklanan dönme izomerisine sahip olamktadır. Başka bir deyişle molekül, ısıtma veya dış etkileşimler sonucunda izomerleşerek trans-2-penten formuna geçebilmektedir. Bu tür yapısal değişimler, MD simülasyonlarında cis trans konformasyonlarından hangisini tercih ettiğini belirlemeyi zorlaştırabilmektedir (Rapoport, 2004).



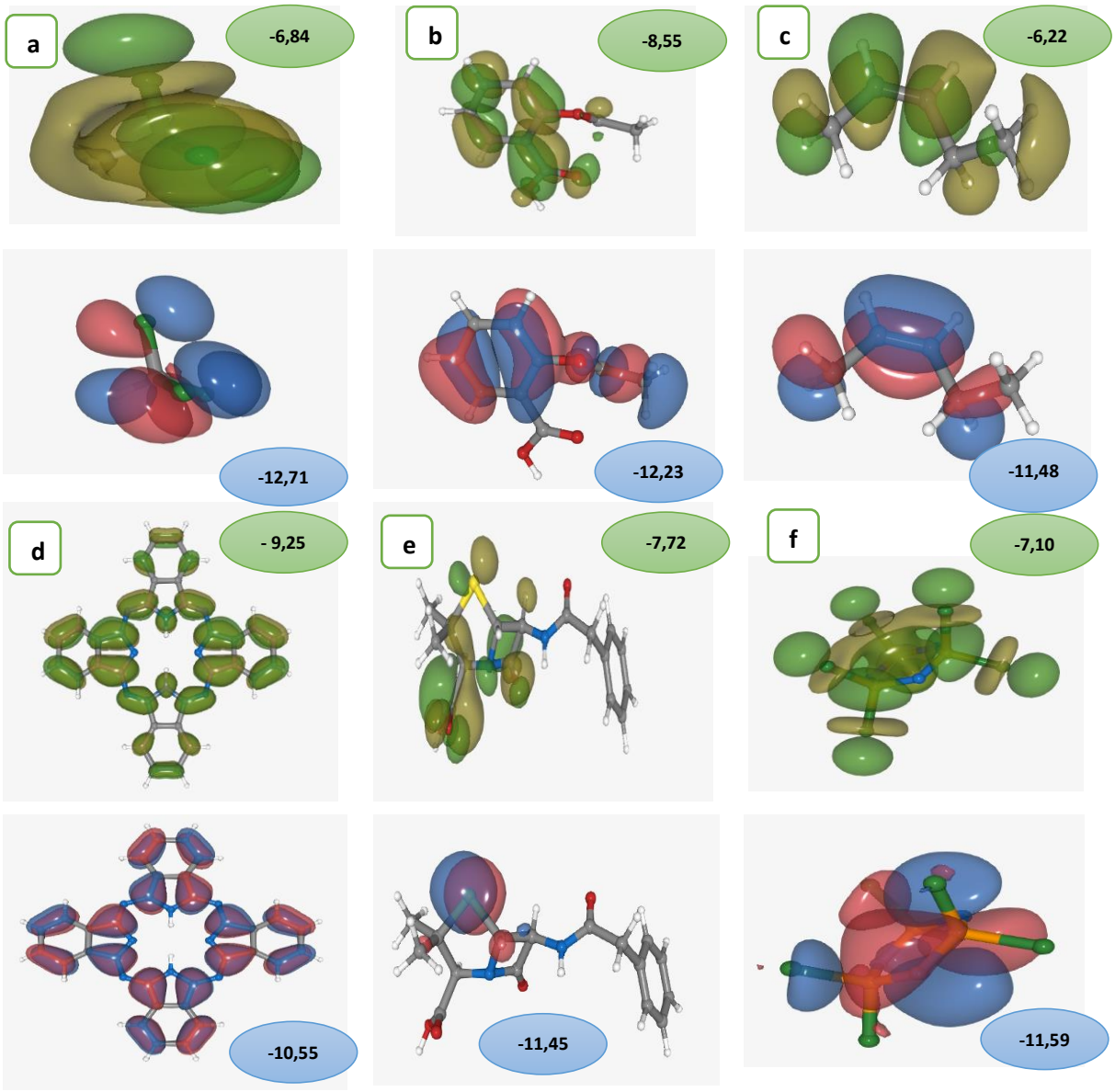
Şekil 12. a) Kloroform, b)Aspirin, d) ftalosyanin, e) penisilin ve f) fosfazen bileşiklerinin IR gösterimleri



Şekil 13. a) Kloroform, b)Aspirin, e) penisilin ve f) fosfazen bileşiklerinin moleküler dinamik simulasyonları

3.11. HOMO-LUMO Orbitaller

Moleküler orbital teorisine göre; tüm moleküller HOMO (Highest Occupied Molecular Orbital; En yüksek dolu moleküler orbital) ve LUMO (Lowest Unoccupied Molecular Orbital; En düşük boş moleküler orbital) orbitallerine sahiptir. Kimyasal reaksiyonlarda elektron alış-verişi HOMO ve LUMO orbitalleri üzerinden gerçekleştiği için bu orbitaller öncü orbitaller olarak da adlandırılmıştır. HOMO ve LUMO enerji değerleri arasındaki farkın değerine göre molekülün kimyasal kararlılığı olarak ne kadar kararlı olduğu tanımlanabilmektedir. Eğer reaktif moleküler orbitallerin enerji seviyeleri ne kadar birbirine yakınsa yani ΔE enerji farkı ne kadar küçükse reaktiflerin etkileşimi artacak ve reaksiyon o kadar kolay olacaktır (Salem, 1966; Karplus ve ark., 1970; Saraç, 2018; Karabulut, 2020).



Şekil 14. a) Kloroform, b)Aspirin, c) cis-2-penten, d) ftalosyanin, e) penisilin ve f) fosfazen bileşiklerinin HOMO (mavi)-LUMO (Yeşil) Orbitalleri gösterilmiştir. Enerji değerleri eV cinsinden verilmiştir.

Popüler Koopmans teoremine göre, Homo-Lumo değerlerini kullanarak moleküllerin kimyasal ve spektroskopik özellikleri hesaplanabilmektedir (Öztürk ve Aycan, 2023); İyonlaşma potansiyeli (I), elektron ilgisi (ϒ), mutlak elektronegatiflik (Φ) (Parr ve ark., 1978), kimyasal sertlik (Ψ) (Parr ve ark., 1983), mutlak yumuşaklık (S) (Srivastava ve ark., 2005), elektrofilik indeks (ω) (Parr ve ark., 1999), nükleofilik indeks (ε) (Chattaraj ve ark.,), elektron kabul etme gücü (ω+), elektron verme gücü (ω−) ve net elektrofiliklik (Δω±) (Çakmak ve ark., 2023). Tüm bileşikler için HOMO-LUMO enerjileri, HOMO-LUMO mutlak enerji farkı, HOMO-LUMO enerjileri kullanılarak hesaplanan iyonizasyon potansiyeli, elektron ilgisi, elektronegatifliği, kimyasal sertliği ve kimyasal yumuşaklığı Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Entos envision yardımıyla hesaplanan kuantum kimyasal hesaplamaları

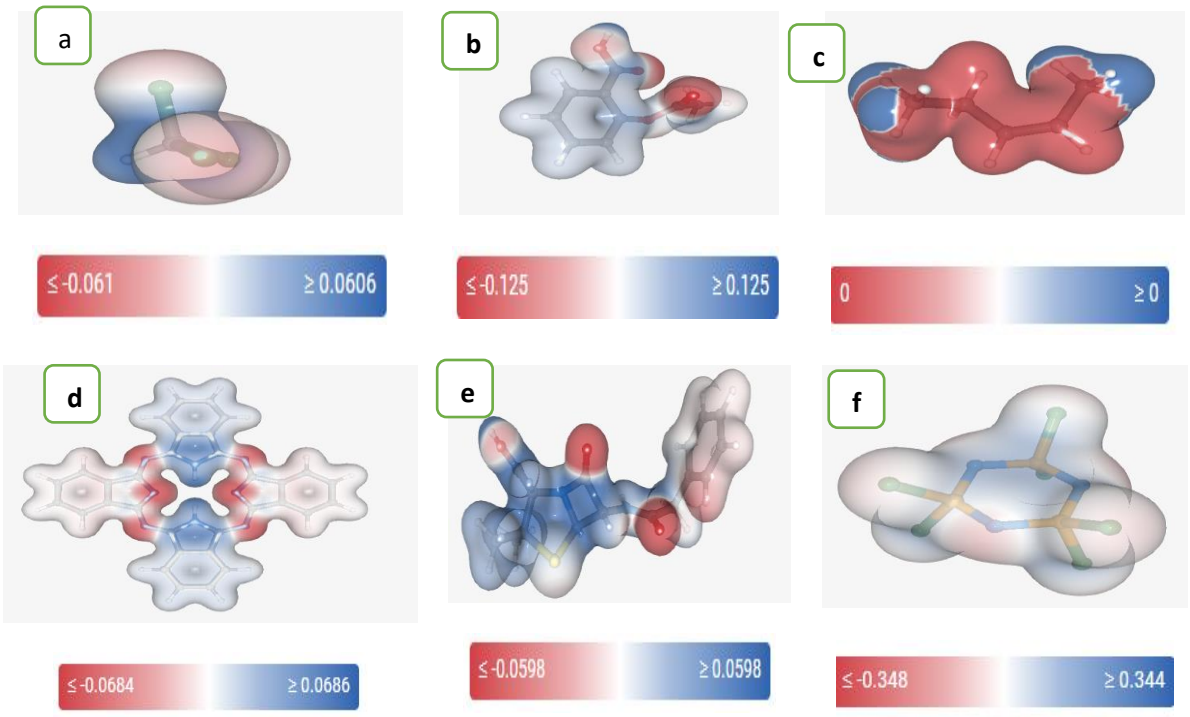
	a	**b**	**c**	**d**	**e**	**f**
Kuantum kimyasal parametreler						
E_{HOMO} (eV)	-12,71	-12,23	-11,48	-10,55	-11,45	-11,59
E_{LUMO} (eV)	-6,84	-8,55	-6,22	-9,25	-7,72	-7,10
$\Delta E = E_{LUMO}-E_{HOMO}$ (eV)	5,87	3,68	5,26	1,30	3,73	4,49
$\boldsymbol{\Upsilon} = -E_{LUMO}$ (elektron ilgisi) (eV)	6,84	8,55	6,22	9,25	7,72	7,10
$I = -E_{HOMO}$ (İyonlaşma potansiyeli) (eV)	12,71	12,23	11,48	10,55	11,45	11,59
$\boldsymbol{\phi} = \frac{\Upsilon+I}{2}$ (Mutlak elektronegatiflik)(eV)	9,78	10,39	8,85	9,90	9,59	9,35
$\boldsymbol{\psi} = \frac{I-\Upsilon}{2}$ (Kimyasal Sertlik) (eV)	2,94	1,84	2,63	0,65	1,87	2,25
$\boldsymbol{S} = \frac{1}{\Psi}$ (Mutlak yumuşaklık) (1/eV)	0,34	0,54	0,38	1,54	0,53	0,44
$\boldsymbol{\omega} = \frac{\phi^2}{2\psi}$ (Elektrofilik indeks) (1/eV)	16,27	29,33	14,89	75,39	24,59	19,43
$\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{1}{\omega}$ (Nükleofilik indeks) (1/eV)	0,06	0,03	0,07	0,01	0,04	0,05
$\boldsymbol{\omega^+} = \frac{(I+3\Upsilon)^2}{16(I-\Upsilon)}$ Elektron Kabul Etme Gücü) (eV)	11,76	24,37	10,79	70,15	20,07	15,05
$\boldsymbol{\omega^-} = \frac{(3I+\Upsilon)^2}{16(I-\Upsilon)}$ Elektron Verme Gücü(eV)	21,53	34,76	19,64	80,42	29,65	24,40
$\boldsymbol{\Delta\omega^+ = \omega^+ + \omega^-}$ Net elektrofilik(eV)	33,29	59,13	30,43	150,57	49,72	39,45

3.12. Moleküler Elektrostatik Potansiyel (MEP)

Moleküler Elektrostatik Potansiyel haritası, Bazı hesaplamalar yaparak elektrostatik potansiyel bölgelerini, nükleofilik veya elektrofilik olarak aktif olan alanlarının farklı renklerle derecelendirilmesidir. MEP haritasında, molekülün yüzeyinde farklı bölgeler elektrostatik potansiyellerine göre renklendirilmiştir. Bu harita sayesinde molekülün yüzeyinde nasıl bir yük dağılımına sahip olduğu ve hangi bölgelerin negatif veya pozitif potansiyel bölgeler olduğu görsel olarak tanımlanabilmektedir.

- **Kırmızı bölgeler**: En negatif elektrostatik potansiyele sahip bölgelerdir. Genellikle elektronegatif atomlar, yani elektronları kendine daha fazla çeken atomlar, bu bölgelerde bulunur.
- **Mavi bölgeler**: En pozitif elektrostatik potansiyele sahip bölgelerdir. Genellikle elektropozitif atomlar, yani elektronları daha az çeken atomlar, bu bölgelerde yer alır.
- **Yeşil bölgeler**: Nötr veya orta dereceli elektrostatik potansiyele sahip bölgelerdir.

Bu renk skalası, molekülün farklı bölgelerindeki elektrostatik potansiyel değerlerini ayırt etmeyi kolaylaştırmaktadır ve molekülün reaktivitesini, polaritesini ve etkileşim potansiyelini anlamak için kullanılabilmektedir. Kısacası, kırmızı bölgeler elektron bakımından zengin, mavi bölgeler ise elektron bakımından fakirdir (Demircioğlu ve ark., 2015). Cl atomlarının etrafı Şekil 15.a'da görüldüğü gibi kırmızı renk ile gösterilmektedir yani negatif potansiyel bölgeleridir. Pozitif potansiyel bölgesi ise hidrojen atomudur. Klorlama reaksiyonunda bu bölge aktiftir. En yoğun çizgilerin yer aldığı klor atomlarının bulunduğu bölgeler elektronca zengindir ve molekülün potansiyel aktif bölgesi olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 15. a) Kloroform, b)Aspirin, c) cis-2-penten, d) ftalosyanin, e) penisilin ve f) fosfazen bileşiklerinin moleküler elektrostatik potansiyel haritalar

4. Sonuç

Sonuç olarak, Entos Envision bir kamu e-posta adresi sayesinde ücretsiz kullanılabilen bir yazılımdır. Öğrenci, öğretmen ve akademisyenlerin ders anlatırken veya araştırma yaparken uzun uğraş isteyen programlama dillerini kullanmalarına gerek duymadan saniyeler içinde hesaplanan sonuçları görselleştirerek sunan bir araçtır. Entos Envision derslerde moleküllerin görselleştirilmesi ve soyut olan

kuantum kavramlarının somutlaştırılmasının sağlayabilen bir araçtır. Entos Envision, karmaşık veri analizi ve görselleştirme gereksinimlerini karşılayan güçlü bir araç olarak öne çıkıyor. Bu yazılım, kullanıcıların büyük veri kümelerini hızlı ve etkili bir şekilde işlemelerine ve bu verilerden anlamlı içgörüler elde etmelerine olanak tanımaktadır. Entos Envision'ın esnek ve özelleştirilebilir arayüzü, kullanıcıların ihtiyaçlarına uygun çözümler oluşturmalarına izin verirken, derinlemesine analiz ve raporlama özellikleri, işletmelerin stratejik kararlar almasına yardımcı olacak veri odaklı bir yaklaşım sunmaktadır. Ayrıca, Entos Envision'ın kullanıcı dostu ve sezgisel arayüzü, hem deneyimli veri analistleri hem de yeni başlayanlar için erişilebilir bir platform sağlamaktadır. Bu, şirketlerin ve araştırmacıların veri analizi süreçlerini optimize etmelerini ve verilerden daha hızlı bir şekilde değer elde etmelerini sağlar. Ancak, Entos Envision'ın bazı zorlukları da göz ardı edilmemelidir. Örneğin, Entos Envisiondaki hesaplamaların 60 saniye ile sınırlı olmasından dolayı bazı hesaplama araçlarının bazı moleküllerde uygulanamamış olması bir dezavantaj olarak görülebilmektedir. Büyük veri kümeleriyle çalışırken performansın düşebileceği ve karmaşık analizlerin uzun sürebileceği görülebilir. Bu durum, özellikle çok büyük veri setlerine sahip kuruluşlar için dikkate alınması gereken bir husustur. Genel olarak, Entos Envision, veri analizi ve görselleştirmenin önemli bir aracı olarak öne çıkıyor ve işletmelere stratejik kararlar almaları için gerekli içgörüleri sunma potansiyeline sahip olmaktadır. Sürekli olarak gelişen ve iyileştirilen bu yazılım, gelecekte veri odaklı karar alma süreçlerinde önemli bir rol oynamaya devam etmesi beklenmektedir.

Teşekkür

Entos envision yazılımına 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.

Kaynakça

Cakmak S., Aycan T., Yakan H., Veyisoglu A., Tanak H., Evecen M. Preparation, spectroscopic, X-ray crystallographic, DFT, antimicrobial and ADMET studies of N-[(4flourophenyl) sulfanyl]phthalimide. Acta Crystallographica Section C 2023; 79(6): 249-256.

Chattaraj PK., Maiti B., Sarkar U. Philicity: a unified treatment of chemical reactivity and selectivity. The Journal of Physical Chemistry A 2003; 107(25): 4973-4975.

Demircioğlu Z., Kaştaş ÇA., Büyükgüngör O. (E)-2-((4-hidroksi-2-metilfenilimino) metil)-3-metoksifenolün teorik analizi (NBO, NPA, Mulliken popülasyon yöntemi) ve moleküler yörünge

çalışmaları (sertlik, kimyasal potansiyel, elektrofiliklik ve Fukui fonksiyon analizi). Moleküler Yapı Dergisi 2015; 1091, 183-195.

Demircioğlu Z., Ersanlı CC., Alpaslan G. (Z)-Etil 4-kloro-2-[2-(2-metiloksifenil) hidrazon]-3-okso-butanoat kristalinin hesaplamalı kimya yöntemiyle lokal ve global kimyasal aktivite hesaplamaları ve DNA bazları ile yük transferinin tayini. Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2019; 4(2): 93-108.

Entos Envision, https://www.entos.ai/envision (Erişim 25.07.2024).

Entos Envision, https://envision.entos.ai/edit/molecule/172506 (Erişim 25.07.2024).

Entos Envision, https://envision.entos.ai/edit/molecule/173493 (Erişim 25.07.2024).

Entos Envision, https://envision.entos.ai/edit/molecule/173675 (Erişim 25.07.2024).

Entos Envision, https://envision.entos.ai/edit/molecule/172513 (Erişim 25.07.2024).

Entos Envision, https://envision.entos.ai/edit/molecule/173462 (Erişim 25.07.2024).

Entos Envision, https://envision.entos.ai/edit/molecule/130064 (Erişim 25.07.2024).

Irak ZT., Poyraz M. [Ni(2-Benzimidazol-İl-Üre)2(Etanol)2][NO3]2 bileşiğinin yoğunluk fonksiyoneli teorisi kullanılarak yapılan bazı kuantum kimyasal hesaplamaları. Süleyman Demirel University Faculty of Arts And Science Journal of Science 2019; 14(2): 203-212.

İşcan Ö. A insilico study on structural aspects of caffeine by arguslab 4 software. Journal of Physical Chemistry and Functional Materials 2023; 6(2): 138-144.

Karabulut B. 7-Etil-6-klor-2-metilkromon ve 7-Etil-6klorflavonun Sentezi ve Teorik Hesaplamaları. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi 2020; 9(1): 26-35.

Karplus M., Porter RN. Atoms and molecules: an introduction for students of physical chemistry. Publisher: W.A. Benjamin, New York 1970.

Kenichi F. Theory of orientation and stereoselection. Orientation and Stereoselection. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2006; 1-85.

Öztürk F., Aycan T. Bakır(II)–Sulfametazin-2,2’-bipiridin kompleksinin hesaplamalı kimya yöntemi ile spektroskopik özelliklerinin incelenmesi: Moleküler modelleme çalışması. ADME/T. Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2023; 8(1): 39-64.

Parr RG., Yang W. Density-functional theory of atoms and molecules. Oxford University Press 1989.

Parr RG., Donnelly RA., Levy M., Palke WE. Electronegativity: the density functional viewpoint. The Journal of Chemical Physics, 1978; 68(8): 3801-3807.

Parr RG., Szentpály LV., Liu S. Electrophilicity index. Journal of the American Chemical Society 1999; 121(9): 1922-1924.

Parr RG., Pearson RG. Absolute hardness: companion parameter to absolute electronegativity. Journal of the American Chemical Society 1983; 105(26): 7512-7516.

Pracht P., Grant DF., Grimme S. Comprehensive assessment of GFN tight-binding and composite density functional theory methods for calculating gas-phase infrared spectra. Journal of Chemical Theory and Computation 2020; 16(11): 7044-7060.

Plimpton S. Fast parallel algorithms for short-range molecular dynamics. Journal of Computational Physics 1995; 117(1): 1-19.

Pubchem. http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov (Erişim 25.07.2024).

Rapaport DC. The art of molecular dynamics simulation. Cambridge University press; 2004.

Reveles JU., Köster AM. Geometry optimization in density functional methods. Journal of Computational Chemistry 2004; 25(9): 1109-1116.

Serway RA., Jewett JW. Physics for scientists and engineers with modern physics. Cengage Learning; 2018.

Saraç K. 4-Klorometil-6,8-dimetilkumarin bileşiğinin sentezi ve teorik kimyasal hesaplamaları. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi 2018; 7(2): 311-319.

Salem L. The molecular orbital theory of conjugated systems, Publisher: W.A. Benjamin, New York 1966; 576.

Srivastava H., Pasha F., Singh P. Atomic softness-based QSAR study of testosterone. International Journal of Quantum Chemistry 2005; 103(3): 237-245.

Tarı Ö., Arpacı N. İlaç tasarımında yapay zekâ uygulamaları. Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University 2024; 48(1): 327-365.

Uzun S., Demircioğlu Z. 4-Etoksi-3-Metoksibenzaldehit molekülünün hesaplamalı kimya yöntemiyle kimyasal aktivite tayini. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi 2019; 9(2): 275-288.

Yang W., Mortier WJ. The use of global and local molecular parameters for the analysis of the gas-phase basicity of amines. Journal of the American Chemical Society, 1986; 108(19): 5708-5711.

Yazgı M., Topal H. Akışkan yataklı bir gazlaştırıcının hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ve termodinamik denge yaklaşımı ile modellenmesi ve deneysel verilerle karşılaştırmalı olarak incelenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 2024; 39(1): 125-138.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1227-1239, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1227-1239, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Binicilik Tesislerinin Düzenlenmesi, Konforu ve Çalışma Koşulları

Yavuzkan PAKSOY[1*], Özlem GÜCÜYENER HACAN[2], Nazan KOLUMAN[3]

[1]Çukurova Üniversitesi, Ceyhan Veteriner Fakültesi, Zootekni ve Hayvan Besleme Bölümü, Zootekni Anabilim Dalı, Adana, Türkiye
[2]Afyon Kocatepe Üniversitesi Veteriner Fakültesi Zootekni ve Hayvan Besleme Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye
[3]Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü, Adana, Türkiye

[1]https://orcid.org/0000-0002-0935-7693
[2]https://orcid.org/0000-0001-6340-1117
[3]https://orcid.org/0000-0002-1388-2298
*Sorumlu yazar: yavuzkan7@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 25.09.2024
Kabul tarihi: 15.03.2025
Online Yayınlanma: 16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Binicilik tesisi
Binicilik
Yönetim
At
Refah

ÖZ

Çalışmada, binicilik tesislerinin yerleşim düzeni, konforu ve çalışma koşullarının incelenmesi amaçlanmıştır. Farklı bölgelerdeki 20 binicilik tesisi incelendi. İnceleme, binicilik tesislerindeki düzen, konfor ve atların çalışma koşullarını kapsayan 31 soru üzerinden elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Çalışma 11 ilde ve bu illerde faaliyet gösteren 20 adet binicilik tesisinde yürütülmüştür. Görüşmeler yüz yüze ve telefonla yapılmıştır. Çalışma bulgularına göre her tesiste taşıma için iniş-biniş rampasının bulunduğu görülmüştür. Çiftliklerin hepsinde atlara yönelik eğitim programlarının olmasına rağmen bazı çiftliklerde bu programların bilinçsizce hazırlandığı tespit edilmiştir. Çiftliklerin tamamında çiftlik içerisinde restoran veya kafeterya hizmetinin mevcut olduğu tespit edilirken, çiftliği ziyaret eden araçların park imkânına sahip olduğu belirlendi. Çiftliklerin %65'inde kapalı manej tespit edilirken, kullanılan manej ortalamasının 1,25±0,4 olduğu belirlendi. Çalışmaya dahil edilen atların %85'inin 6 ayda bir aşılandığı ve 3 ayda bir parazit ilacı verildiği belirlenmiştir. Her çiftliğin özel bir veteriner hekimle çalıştığı ve tesislerin %50'sini 45 günlük aralıklarla nalbant ziyaret ettiği görülmüştür. Çalışmada elde edilen verilere göre; Türkiye'deki binicilik tesislerinin bakım ve besleme konusunda hassas oldukları, at refahının çeşitli düzenlemelerle daha iyi bir seviyeye getirilebileceği görülmüştür.

Arrangement, Comfort, and Working Conditions of Equestrian Facilities

Research Article

Article History:
Received: 25.09.2024
Accepted: 15.03.2025
Published online: 16.06.2025

Keywords:
Equestrian facility
Riding
Management
Horse
Welfare

ABSTRACT

Examining the design, comfort, and functionality of equestrian facilities was the goal of the study. We looked over twenty equestrian facilities across various geographies. The review was evaluated through 31 questions covering the organization, comfort and working conditions of horses in equestrian facilities The study was conducted in 11 provinces and 20 equestrian facilities operating in these provinces. Both in-person and telephone interviews were done. In accordance with the study's conclusions, every facility has a landing-boarding ramp for transportation. Despite the fact that every farm had horse training programs, it was found that some farms had these programs prepared subconsciously. It was found that all of the farms had cafeterias or restaurants on-site, but that there were parking spaces for the cars that came to visit the farms. The average number of maneges used was 1.25±0.4, even though 65% of the farms possessed indoor maneges. It was found that 85% of the study's horses received parasite medication every three months and a vaccination every six months. It was noted that every farm had a private veterinarian, and a farrier

would visit 50% of the facilities every 45 days. Based on the study's data, it was observed that Turkish equestrian facilities are considerate of food and care, and that a number of laws can improve the welfare of horses.

To Cite: Paksoy Y., Gücüyener Hacan Ö., Koluman N. Arrangement, Comfort, and Working Conditions of Equestrian Facilities. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1227-1239.

1. Introduction

Equestrian facilities are special places designed for horses to take shelter, exercise, and train. Proper regulation of these facilities is important for the health and welfare of horses, as well as ensuring that equestrian sports can be done safely (Özkurt and Güngör, 2022). Some factors to consider in equestrian facilities for the health and safety of horses in facilities:

- Horses can accommodate inside or outside the facility. Indoor housing helps horses to be better controlled and maintained. Horse shelter areas are often known as barns or backgammon. Housing areas should be large enough for horses to feel comfortable and safe (Hakala, 2021).

The nutritional needs of horses are very important. Horse feeding areas ensure that the feed of the horses is given regularly. These areas include feeding equipment, areas where feed will be stored, and water sources (Wheeler, 2008).

Horse's regular exercise: Indoor or outdoor areas can be made for horses to run and train. Indoor areas are especially useful in bad weather conditions. Outdoor exercise areas benefit horses' health thanks to natural sunlight and fresh air outside (Saastamoinen et al., 2015).

The training of horses is very important for equestrian facilities. Horse training grounds help horses learn basic skills, and trainers check if they are suitable for riding horses and preparing for equestrian sports (Popescu et al., 2019).

- Horse health center: Healthcare centers provide medical care, injury treatment, dental care, foot care, vaccination, parasite control, and other veterinary services that enable horses to live healthy and happy lives (Lenart-Boroń et al., 2022).

In equestrian facilities, the care of horses is very important because the horses are healthy and happy, ensuring that their performance is at the highest level. For care of horses: (Nazarenko et al., 2018)

- In equestrian companies, sufficient quantities of high-quality feed and pure water are supplied to maintain the health of horses. A veterinarian oversees the preparation of the proper ration based on the requirements of the horses. A competent trainer creates a training program by figuring out the horses' breed and structure to determine the program's aim. Body grooming and hoof cleaning are valued, and hygiene regulations are observed. Horse welfare is taken into consideration while determining stable size, and the right litter is employed. In order to ensure that horses live better lives, it is preferable to have trained workers care for them.

Equestrian facilities are usually located in places that are intertwined with nature and offer services tailored to the needs of athletes, riders, and horse lovers. The comfort level in these facilities may vary depending on the type of facilities and the quality of service. Some equestrian sports and equestrian facilities offer only basic amenities, while others offer more luxurious services. Basic amenities include

facilities such as stables, riding areas, training grounds, washing and feeding areas. More luxurious facilities can offer services such as accommodation units, restaurants, spa and fitness centers (Nowakowicz-Debek et al., 2014).

Accommodation units can usually be in the form of rooms, suites, and cabins. The size of the rooms, the level of comfort, the quality of the furniture, and the level of cleanliness can vary between the facilities. Suites and cabins, on the other hand, can offer a larger and more luxurious accommodation experience (Ladu et al., 2023).

Restaurants are a pleasant part of dining in equestrian facilities. Restaurants on the premises often serve local delicacies. Some facilities may offer a natural and healthy option by preparing their meals from organic and local ingredients (Öksüz and Kaynakçı Elinç, 2022).

Spa and fitness centers are excellent options for relaxing in equestrian sports and equestrian facilities. These facilities can include facilities such as massage, sauna, steam room, swimming pool and gyms (Lönker et al., 2020).

As a result, the comfort level in equestrian facilities may vary depending on the type of facilities and the quality of service. In addition to the basic amenities, luxury services such as accommodation, restaurants, spas, and fitness centers can also be offered.

Equestrian facilities require special care for the training, health, and welfare of horses. In addition, the safety of facilities and the safety of horses for drivers or riders is also important. Therefore, working conditions in equestrian and equestrian facilities require employers and employees to comply with certain rules (Öksüz and Kaynakçı Elinç, 2022).

Employers must provide all necessary supplies, medical care, and appropriate food and stability to ensure the horses' welfare. It is also important to have access to a veterinarian and to have regular veterinary checks to monitor the health and welfare of the horses.

Employees must be experienced in working with horses and trained in the care, feeding, and training of horses. It is also important for employers to use all safety equipment provided, to follow safety rules when training or operating horses and to cooperate with other employees.

Those working in equestrian facilities usually start working early in the morning and work late in the evening for the care and training of horses. Employers should provide appropriate rest and break times for employees to avoid fatigue and injuries during these long hours (Saastamoinen et al., 2019).

As a result, working conditions in equestrian facilities include important rules and regulations for the welfare and safety of horses. Employers' and employees' compliance with these rules protects the health and welfare of horses, while increasing the efficiency and safety of facilities.

Horse breeds used in equestrian facilities are selected for specific athletic ability and performance. Below are some of the most commonly used horse breeds in equestrian sports: (Lönker et al., 2020)

Thoroughbred: This horse breed is known as the racehorse, and horses that participate in one of the most famous horse races, the Kentucky Derby, are usually from the Thoroughbred breed. Thoroughbreds are famous for their fast running and endurance.

Arab: This horse breed has been bred for thousands of years with its predecessor, especially for use in equestrian sports. Arabian horses are known for their endurance and speed.

Akhal-Teke: This horse breed originated in Turkmenistan and Central Asia and was bred for use in equestrian sports. Akhal-Teke horses are known for their fast running and endurance.

Hanoverian: This German horse breed was bred for equestrian sports and is famous for its athletic abilities. Hanoverian horses are successful in high jumping, dressage, and athletics competitions.

Andalusia: This horse breed is a breed bred in Spain and was bred specifically for equestrian sports. Andalusian horses are known for their elegant and strong structure and high performance.

Quarter horse: This horse breed was bred in the United States and is known for its speed and rapid movements. Quarter horses are especially used in horse racing, rodeo, and horse riding competitions.

Selle Francais: This horse breed was bred in France and is especially known for its jumping races. Selle Francais horses are famous for their high jumping abilities and stamina (Yıldırım, 2022).

Materials used in the construction of stables in equestrian facilities usually include wood, concrete, brick, steel, and metal roofs. Wood allows structures to be easily customized and offers a natural look. Since concrete is a durable and long-lasting material, it is often used in the construction of foundations and walls. Brick is a durable building material and can be used to control the internal temperature of the barn as it retains heat well (Wheeler, 2008). Since steel is light, strong, and durable, it is often used in the construction of roofs. It can also be used to divide and form sections inside the barns. Metal roofs are a preferred material, especially in the construction of outdoor barns, as they are weather resistant (Öksüz and Kaynakçı Elinç, 2022).

"The food given to horses should be fed in appropriate rations that will meet their life and performance data."To prevent and aid in the treatment of diseases that negatively impact equine health, routine immunization and parasite control programs are crucial (Hakala, 2021). Vaccines and parasite medications differ depending on the breed, age, and location of the horse (Popescu et al., 2019; Ladu et al., 2023).

In equestrian facilities, various floor materials are used to train and exercise horses. The purpose of these materials is to provide a safe and comfortable environment for horses (Nazarenko et al., 2018). The most commonly used floor materials include sand, synthetic, and natural materials. The sand floor provides cushioning and friction to the horses, preventing joint and tendon injuries during demanding training. Artificial materials are floor coverings, usually made from specially designed rubber mixtures, and are known for their non-slip properties. Natural materials include wood chips, straw, grass, or soil (Nowakowicz-Debek et al., 2014).

The choice of floor material may vary according to the activities to be performed on the horses, local conditions, the injury history of the horses and their specific needs. By choosing a suitable floor material, horses are provided with a comfortable and safe working environment (Ladu et al., 2023).

In places such as equestrian facilities and farms, the health and welfare of animals is important. Therefore, certain prohibitions may apply to customers.

Prohibitions include not feeding the animals to anyone other than the staff, not allowing anyone to touch the horses without permission, not bringing pets to the facilities, not smoking near the stables and not making noise (Nowakowicz-Debek et al., 2014).

In equestrian facilities, the frequency of the work schedule applied to horses may vary depending on factors such as the health status of the horses, their age, race, education level, and goals (Özkurt and Güngör, 2022).

In general, horses are trained once or twice a day. These trainings are planned according to the horses' fitness levels, working purposes and performance goals. Regular exercise by horses is important for their physical and mental health. But overworking horses or training them incorrectly can cause health problems. Therefore, the work schedule and frequency of horses should be carefully planned by veterinarians and horse trainers (Öksüz and Kaynakçı Elinç, 2022).

The characteristics of the water bowls and feeders used in equestrian facilities are usually durable plastic or stainless steel used as materials in the water bowls, respectively. It should be properly designed for the noses of horses. It should also be easy to clean. The capacity of the watering cans is determined by the number of horses in the facility and their water needs. Drinkers should be firmly placed and firmly mounted so that horses are not harmed even in situations such as bumping or tipping (Wheeler, 2008).

Feeders are usually manufactured using durable plastic or galvanized steel material. The capacity of the feeders is determined according to the needs of the horses. Some stables may have feeders of particularly large sizes so that they can eat several horse feeds at the same time. The design of the feed trays should be such that the horses can easily eat the feed and prevent the feed from spilling. Feeders should be easy to clean. In addition, in order to prevent the accumulation of feed residues, the inner surface of the feed trays should be flat (Popescu et al., 2019).

It is important that both equipment is properly designed to ensure healthy and comfortable feeding of horses. It is also important to carry out regular maintenance and cleaning.

In equestrian facilities, the manege's dimensions and the obstacles' length must comply with international standards. These standards are set by the Fédération Équestre Internationale (Fei) and are updated annually.

According to Fei, the minimum dimensions of a manege are 20 x 40 meters or 20 x 60 meters in size. A suitable and smooth floor is often required to be made of sand or synthetic material. Fences must be made of durable material with a minimum height of 1.2 meters. The length of obstacles may vary depending on the discipline and level at which the horses are competing or trained. For example, athletic barriers can be of different lengths in disciplines such as high jump, farm jump, cross-country.

The length of the obstacles should be appropriate to the horse's physical capacity and the driver's skill. However, the exact rules on which sizes to use may vary depending on each country where the equestrian sport is practiced (Öksüz and Kaynakçı Elinç, 2022).

The breeds of horses cared for in equestrian facilities vary depending on factors such as their age and performance. But in general, care is taken to take care of horses in a healthy and regular manner.

Attentive work is carried out on issues such as feeding of horses, exercise, veterinary health control, and housing conditions. In addition, appropriate training programs and exercises are planned to protect horses' physical and mental health (Nazarenko et al., 2018). The maintenance and management of the horses in the facilities is carried out by an experienced team. The general health status of the horses is regularly monitored and promptly intervened when any problems are detected (Yıldırım, 2022). The breeds and performance levels of the horses can vary between facilities, but their care and needs are regularly met to keep the horses healthy and happy.

In order to get optimum yield from horse breeding, it is very important for equestrian facilities to follow appropriate care and feeding programs. This study aimed to reveal the wrong practices by investigating the arrangements of equestrian sports.

2. Material and Methods

Ethics committee approval of the study: It was obtained from Konya Necmettin Erbakan University, Social and Human Sciences Scientific Research Ethics Committee with the decision number 2023 / 28 on 13 / 01 / 2023.

In line with the purpose of the study, 31 questions were prepared to be asked to 20 Equestrian Facilities located in various regions of Türkiye where important equestrian facilities are located in order to examine the layout, comfort and working conditions of Equestrian Facilities. While selecting the Equestrian Facilities, care was taken to ensure that the facilities were registered with the Turkish Equestrian Federation. The questions prepared by the researcher were prepared by taking the common opinions of the horse owners of equestrian facilities located in different places from the sample group. The cities where the survey questions were asked include Adana (3 facilities), Istanbul (3 facilities), Osmaniye (3 facilities), Ankara (2 facilities), Antalya (2 facilities), Mersin (2 facilities), Eskişehir (1 facility), Gaziantep (1 facility), Isparta (1 facility), Urfa (1 facility), Yalova (1 facility). The interviews were conducted face-to-face and by phone.

SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) 25.0 package program was used in the statistical analysis of the data (Selvi and Paksoy, 2024). Categorical measurements were summarized in numbers and percentages and continuous measurements were summarized as mean and standard deviation values (when necessary, median and minimum-maximum).

3. Results

The findings of the physical characteristics of the equestrian facilities within the scope of the study are examined in Table 1. According to the examination, it has been observed that horse riding and landing places are available in all facilities in their farms. Other animals were determined in 85% (17) of the farm. While the training program for horses was observed on all farms, it was determined that the training program was 1 day a week in 40% of them.

Table 1. Findings of the physical characteristics of equestrian facilities

	Number (n)	**Percentage (%)**
Horse riding and landing locations on your farm	20	100
Other animals on the farm	17	85
Training program for horses	20	100
Frequency of the training program used in the training of horses		
Once a week	8	40
Twice a week	5	25
3 days a week	6	30
4 days a week	1	5
Restaurants or cafeterias on farms	20	100
Parking of vehicles visiting the farm		
Parking away from horses	20	100
Closed manege	13	65
Travay on the farm	9	45
Between the barns on the farm		
On	12	60
Off	8	40
	Mean	
Number of horses on the farm (%)	42.8	
The barn on the farm (%)	64.1	
Area of the barn (m^2)	14.3	
Height of the barn (m)	12.2	
Water Bowl (n)	4.6	
Automatic height of drinker (cm)	97.3	
Feeder height (cm)	96.5	
Horses housed as private pensions on farms (%)	17.6	
Horse trainer on the farm (n)	3.5	
Groom working on the farm (n)	6.1	
Manege used on farm (n)	1.25	

While it was determined that restaurant or cafeteria service was available on all farms within the farm, it was determined that the vehicles visiting the farm had parking facilities.

While the closed manege was detected in 65% of the farms, it was determined that the average of the manege used was 1.25±0.4. It has been observed that there are 10 average 9 (45.0%) of laborers within the farm. In 60% of the farms, it was observed that the stables were open, and in 40%, they were closed. While the average number of horses on the farm was 42.8±33.3, it was found to be 64.1±59.2 stables. It was determined that the average m^2 of the stables was 14.3±3.4. While it was determined that horses had an average of 4.6±0.8 watering troughs for easy access to water within the farms, it was determined that the height of the water troughs was 97.3±8.5 cm on average. The average of the fixed heights of the feed troughs was 96.5±7.5 cm. It was determined that 17.6±13.6 horses were cared for on average as private pensions on the farms. It was understood that an average of 3.5±3.3 horse trainers and 6.1±8.5 grooms were employed on the farms. In the farms included in the study, it was determined that Thoroughbred, Arabian, Warmblood, and Pony breeds of horses were bred.

Table 2 shows the materials used in equestrian facilities. Concrete was used in 85% of the barns and sawdust was used in 80% of the horses' stable litter. It was observed that the paddock area of the horses was 95%. It has been determined that 60% of the gates of the barns use classical wood and iron.

It has been determined that roofs and windows are used to ventilation barns on all farms. It was observed that silica sand was used most frequently in 35%, sea sand in 20%, prosol and silica sand in 20%, mineral sand in 15% and fine sand in 10% of the working ground of the horses, respectively. It was determined that the most common wood material was used in the managing fences on the farms (Table 2).

Table 2. Examination of materials used in equestrian facilities

	Number (n)	**Percentage (%)**
Material used in the construction of barns		
Wood and iron	1	5
Concrete	15	75
Concrete and iron	3	15
Concrete and wood	1	5
Material used in the coasters of horses		
Deviation	1	5
Sawdust	16	80
Chip and handle	3	15
Paddock area of horses	19	95
Material used in barn doors		
Wood and metal	1	5
Classic wood	7	35
Classic wood and iron	12	60
Equipment used for ventilation of barns		
Roof and window	20	100
Material used in the working grounds of horses		
Sea sand	4	20
Taper	2	10
Mining sand	3	15
Prosol, silica sand	4	20
Silica sand	7	35
Material used in managing fences on the farm		
Wood	17	85
Iron	3	15

When the feed needs of the horses were examined in Table 3, it was determined that 85.0% of them were mostly met with barley, 85.0% with hay, 70.0% with corn, 60.0% with clover and 50.0% with oats.

Table 3. Foods that meet the feed needs of horses

Foods that meet the feed needs of horses		
Barley	17	85
Oat	10	50
Hay	17	85
Palette (protein additive)	9	45
Straw	4	20
Corn	14	70
Clover	12	60
Sugar beet	3	15

Data on the care of horses is given in Table 4. According to this, it was determined that 85.0% of the horses were vaccinated every 6 months and 85.0% of the anthelmintics were applied once in every 3 months. It was observed that a veterinarian was regularly employed on the farm regarding the horses' health.

Table 4. Findings on care of horses

Vaccination frequency of horses		
Every 6 months	17	85
Once a month	1	5
Once a year	2	10
Parasitic drug frequencies of horses		
Every 3 months	17	85
Every 4 months	1	5
Once a year	2	10
Veterinarian who regularly takes care of the health of horses on the farm	20	100
How often the horses are horseshoed		
1 in 30 days	3	15
1 in 40 days	7	35
1 in 45 days	10	50
Use of ventilators or heaters in stables in summer or winter		
Heater in winter	1	5
Fan in summer	8	40
Ventilator in summer Heater in winter	1	5
None.	10	50
Regular spraying of the farm	20	100
Precaution for infectious diseases	20	100
Mating or artificial insemination on the farm	5	25
Horse stallion and stud horse to get foal on the farm	6	30
Prohibitions imposed on customers for the health of animals on farms		
Giving food is prohibited	15	75
None	5	25

It has been observed that the horseshoes of the horses are nailed at 45-day intervals in 50% of the cases. It was determined that 40.0% of them use a fan in summer. It has been observed that all farms are regularly medicated, and precautions are taken against infectious diseases.

In 25.0% of the equestrian and equestrian facilities included in the study, it was observed that mating or artificial insemination was carried out in the farm; In 30.0%, the presence of stallions and breeding horses was detected to get foals.

In 75.0% of the farms, it was stated that it was forbidden to give food by visitors to the animals for the health of the animals on the farm.

4. Discussion

In addition to care and feeding programs related to animal welfare, studies on farm organization are increasingly gaining attention (Crew et al., 2023). The study was conducted with a similar purpose.

Protection of animals from epidemics is possible with regular vaccination programs and proper care and feeding (Crew et al., 2023). Vaccination of horses every 6 months and parasite medication every 3 months are recommended in previous studies (Nowakowicz-Debek et al., 2014). Most of the enterprises surveyed were found to be aware of this situation.

The cleanliness of the staff, not feeding the horses by visitors and parking the vehicles far away from the stables prevent the transmission of bacteria and viruses (İnce et al., 2024). The survey results show that business owners act in line with this view.

Arabian, Thoroughbred and Warmblood breed horses are preferred in equestrian sports (Anonymous, 2024). In the equestrian facilities included in the study, it was determined that the number of horses of these breeds was high.

Within the framework of harmonization with the European Union directive, it is aimed to keep regular records by microchipping the horses registered in the federation (İnce et al., 2024). In the study, it was determined that all horses in the facilities were microchipped.

It has been reported that hay and oats prevent colic cases in horses by facilitating digestion (Bachmann et al., 2024). Our study observed that horse owners preferred hay, but half of the horse owners did not give oats because they were expensive.

According to Fédération Equestre Internationale (FEI), the size of the manege area, the material to be laid on the manege area, and the characteristics of the equipment to be used in jumping (Anonymous, 2014). It has been determined that some of the equestrian facilities do not know some of these rules. The fact that 50% of the facilities were visited by a farrier at an average interval of 45 days was consistent with a previous study (Paksoy et al., 2018). The number of horses in the farms, individual housing of horses and the horse population in the country were found to be at a level that does not affect climate change and greenhouse gas emissions, which was emphasized in a previous study (Erdal and Tıpı, 2024). According to biosecurity recommendations on farms; animals should be given parasite medication at 3-month intervals and a veterinarian should visit each farm regularly (İnce et al., 2024). The farms included in the study had a veterinarian they worked with, and most of them gave importance to parasite control. Breeding of horses is usually done in stud farms and private farms. Competitions are held in hippodromes and equestrian sports and rarely reproductive activities are carried out (Aurich and Aurich, 2006). Since this study was conducted in equestrian facilities, it was determined that reproductive activities were very low.

5. Recommendations

Considering the findings of the study, some recommendations are as follows:

- Safety: Safety should always be the highest priority in any equestrian organization. This requires that all facilities and equipment are in good condition and that riders and horses are properly trained and equipped to deal with any situation that may arise.
- Horse care: Proper horse care is very important for their health and well-being. This includes providing clean water and feed, proper stables, and regular veterinary care.
- Education and training: Equestrian facilities should offer education and training for both riders and horses. This may include horse riding lessons, clinics, and workshops on topics such as horse care, horse feeding and first aid for horses.
- Facility maintenance: Equestrian facilities must be well protected and kept clean to ensure the safety and comfort of both horses and riders. This includes regular maintenance of riding areas, stables and other facilities.

- Personnel: There should be experienced and knowledgeable personnel who can provide appropriate maintenance and training for horses and riders in equestrian facilities.
- Rules and regulations: Equestrian facilities must have clear rules and regulations for the safety and well-being of all participants. These rules should be communicated clearly to all riders and applied consistently.
- Good communication: Effective communication is essential for the good functioning of equestrian facilities. This should be through clear communication between staff, riders and external vendors or service providers.

Equestrian facilities can provide a safe and pleasant environment for both riders and horses by following these guidelines. It is very important that these facilities, which have great contributions to breeding and the country's economy, operate under ideal conditions.

6. Conclusion

According to the data obtained in the study, it was determined that equestrian facilities in Turkey are sensitive about care and feeding. It has been seen that horse welfare can be brought to a better level with some arrangements. It was seen that the lack of indoor manege area in the facilities interrupts the horse training program in sunny and rainy times. It is recommended that oats, one of the most important nutrients for the digestive system of horses, should be used on all farms. The fact that visitors do not come near the stables with their vehicles and do not give food to the horses without the permission of the staff, and that regular veterinary controls are carried out are found to be positive in terms of horse breeding. On the other hand, insufficiency in appropriate training programs and lack of experienced personnel constitute an important problem for the sector. As a result, this study sheds for horse breeders and colleagues to see the deficiencies in the farms as well as to make horse breeding at a better level.

Acknowledgments

The authors are appreciative of the attention that horse owners have given to our research.

Conflict of interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

Author Contribution Rate

The authors declared that they contributed equally to the article.

References

Anonymous. https://www.fei.org/ (Access Date: 01.04.2014)

Anonymous. https://www.binicilik.org.tr/ (Access Date: 26.04.2024)

Aurich J., Aurich C. Developments in European horse breeding and conequences for veterinarians in equine reproduction. Reproduction in Domestic Animals 2006; 41(4): 275-279.

Bachmann M., Schusser GF., Wensch-Dorendorf M., Pisch C., Bochnia M., Santo MM., Netzker H., Woitow G., Thielebein J., Kesting S., Riehl G., Greef JM., Heinichen K. Carbonhydrate digestion in the stomach of horses grazed on pasture, fed hay or hay and oats. Journal of Equine Veterinary Science 2024; 141: 105152.

Crew CR., Brennan ML., Ireland JL. Implementation of biosecurity on equestrian premises: A narrative overview. The Vet J 2023; 292: 105950.

Erdal B., Tıpı T. Does increasing number of livestock affect climate change? Evidence from Turkey. OKU Journal of Institute of Science and Technology 2024; 7(1): 110-124.

Hakala K. Equestrian architecture: crafting a sustainable northern community for the wellness of the horse and human companion in Greater Sudbury, Ontario: Laurentian University of Sudbury. 2021.

İnce OB., Paksoy Y., Sait A. Risk assessment about effectiveness of biosecurity implementations on horse properties in Turkey. Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society 2024; 75(2): 7397-7406.

Ladu M., Battino S., Balletto G., Amaro García A. Green ınfrastructure and slow tourism: A methodological approach for mining heritage accessibility in the sulcis-ıglesiente bioregion (Sardinia, Italy). J Sustainability 2023; 15(5): 4665.

Lenart-Boroń A., Bajor A., Tischner M., Kulik K., Kabacińska J. Particulate matter concentrations and fungal aerosol in horse stables as potential causal agents in recurrent airway disease in horses and human asthma and allergies. J Applied Sciences 2022; 12(18): 9375.

Lönker NS., Fechner K., Abd El Wahed A. Horses as a crucial part of one health. J Veterinary Sciences 2020; 7(1): 28.

Nazarenko Y., Westendorf ML., Williams CA., Mainelis G. The effects of bedding type in stalls and activity of horses on stall air quality. J Journal of Equine Veterinary Science 2018; 67: 91-98.

Nowakowicz-Debek B., Pawlak H., Wlazlo L., Kuna-Broniowska I., Bis-Wencel H., Buczaj A., Maksym P. Evaluation of working conditions of workers engaged in tending horses. J Annals of Agricultural Environmental Medicine 2014; 21(4).

Öksüz T., Kaynakcı Elinç Z. At barınaklarında kullanıcı gereksinimlerinin mekânsal oluşuma etkisi. J Journal of World of Turks 2022; 14(3).

Özkurt P., Güngör S. Examination of facility location suitability in horse facilities. Current Debates İn Socıal, Humanıtıes and Admınıstratıve Sciences 2022; 457-471.

Paksoy Y., Ünal N., Polat M., Tekin, M., Özbeyaz C. Arap ve İngiliz atlarında tırnak büyüklüğünün yarış performansına etkisi. Lalahan Hayvancılık ve Araştırma Enstitüsü Dergisi 2018; 0102-0188.

Popescu S., Lazar EA., Borda C., Niculae M., Sandru CD., Spinu M. Welfare quality of breeding horses under different housing conditions. J Animals 2019; 9(3): 81.

Saastamoinen M., Särkijärvi S., Hyyppä S. Reducing respiratory health risks to horses and workers: a comparison of two stall bedding materials. J Animals 2015; 5(4): 965-977.

Saastamoinen M., Särkijärvi S., Hyyppä S. Garlic (*Allium sativum*) supplementation improves respiratory health but has increased risk of lower hematologic values in horses. J Animals 2019; 9(1): 13.

Selvi MH., Paksoy Y. The effect of COVID-19 pandemic on racehorse breeders. Osmaniye Korkut Ata University Journal of Institute of Science and Technology 2024; 7(3): 1129-1135.

Wheeler EF. Horse stable and riding arena design. John Wiley & Sons, 2008.

Yıldırım F. Binicilik kulübü tesis çevresi faktörlerinin katılımcılarda memnuniyet, sadakat, davranışsal niyet ve ağızdan ağıza iletişim etkisinin incelenmesi. Tam Metin Kitabı: Asos Yayınları, Ankara, 75; 2022.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1240-1257, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology,
8(3): 1240-1257, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Gerçek Zamanlı Polip Tespiti: Yolov5 ve Yolov6'nın Hız ve Performans Analizi

Semih DEMİREL[1*], Azer ÇELİKTEN[2], Andaç AKPULAT[3], Kerem DEMİR[4], Ece BİNGÖL[5], İdris GÜLTEKİN[6], Abdulkadir BUDAK[7], Hakan KARATAŞ[8]

[1,2,3,4,5,6,7,8]Akgun Computer Inc., Department of Artificial Intelligence and Image Processing, Ankara, Türkiye
[1]Gazi University, Graduate School of Informatics, Department of Information Systems, Ankara, Türkiye
[4]Atılım University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Ankara, Türkiye
[5]Atılım University, Faculty of Engineering, Department of Software Engineering, Ankara, Türkiye

[1] https://orcid.org/0000-0002-3454-3631
[2] https://orcid.org/0000-0002-6804-737X
[3] https://orcid.org/0000-0001-9611-9038
[4] https://orcid.org/0009-0001-4737-1496
[5] https://orcid.org/0009-0006-7615-1392
[6] https://orcid.org/0000-0002-3240-606X
[7] https://orcid.org/0000-0002-0328-6783
[8] https://orcid.org/0000-0002-9497-5444
*Sorumlu yazar: semih.demirel@akgun.com.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 06.09.2024
Kabul tarihi: 20.02.2025
Online Yayınlanma:16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Gerçek zamanlı polip tespiti
Yolov5
Yolov6
Bilgisayar destekli tanı
Nesne tespiti

ÖZ

Kolorektal kanser, kolonoskopi sırasında gözden kaçan poliplerin bilgisayar destekli tanı sistemi ile tespit edilmesiyle potansiyel olarak önlenebilir. Endoskopi uzmanlarına yardımcı olmak amacıyla, gerçek zamanlı polip tespiti için yolov5 ve yolov6 modelleri kullanılarak performans ve hız analizi yapılmıştır. Polip tespiti için you look only once v5 (yolov5) ve you look only once v6 (yolov6) modelleri kullanılmıştır. Nesne tespiti modellerini eğitmek için açık kaynaklı bir veri setine yeni bir özel veri seti eklenmiştir. Bulgular, yolov5x ve yolov6l modelleri için ortalama doğruluk (mAP50) oranlarının sırasıyla 0.896 ve 0.913 olduğunu göstermiştir. Yolov5x ve yolov6l modelleri karşılaştırıldığında, yolov5x'in daha yüksek bir doğruluk oranına, yolov6l'nin ise daha yüksek bir duyarlılık oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Modeller, literatürdeki diğer araştırmalarla karşılaştırıldığında, yolov5x ve yolov6l'nin sırasıyla duyarlılık (0.893) ve f1-skoru (0.876) açısından önceki çalışmalardan daha başarılı olduğu görülmüştür.

Real-Time Polyp Detection: A Speed and Performance Analysis of Yolov5 and Yolov6

Research Article

Article History:
Received: 06.09.2024
Accepted: 20.02.2025
Published online:16.06.2025

Keywords:
Real-time polyp detection
Yolov5
Yolov6
Computer aided diagnosis
Object detection

ABSTRACT

Colorectal cancer can potentially be prevented by detecting polyps missed during colonoscopy using a computer aided diagnosis system. In order to help endoscopy specialists, a performance and speed analysis were carried out utilizing the yolov5 and yolov6 models for real-time polyp detection. You look only once v5 (yolov5) and you look only once v6 (yolov6) models were used for polyp detection. To train object detection models, a new private dataset was added to the open-source dataset. The findings showed that the mean average precision 50 (mAP50) rates for yolov5x and yolov6l were 0.896 and 0.913, respectively. After comparing yolov5x and yolov6l, it was determined that yolov5x had superior precision while yolov6l had superior recall. When models were compared to other research in the literature, yolov5x and yolov6l succeeded better than previous studies in terms of recall (0.893) and f1-score (0.876), respectively.

To Cite: Demirel S., Çelikten A., Akpulat A., Demir K., Bingöl E., Gültekin İ., Budak A., Karataş H. Real-Time Polyp Detection: A Speed and Performance Analysis of Yolov5 and Yolov6. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1240-1257.

1. Introduction

According to data from the American Cancer Society, colorectal cancer is the second leading cause of cancer-related deaths worldwide (Rahim et al., 2021). Colorectal cancer is the term used to describe the gradual development of malignant tumors from benign polyps in the colon and rectum (Pacal and Karaboga, 2021). Polyps can be detected by colonoscopy (Pacal et al., 2022). Research suggests that a considerable proportion of polyps, as many as 28%, may be missed during a colonoscopy (Wang et al., 2021). In order to combat colorectal cancer, professionals may find it useful to use an automated diagnosis system that was created for polyp identification.

In recent years, object detection models have advanced significantly and are now widely employed in a variety of industries, including healthcare. Using two-stage models yields good results for problems involving object detection. Furthermore, one-stage versions have gained popularity recently (Lin et al., 2017). Two-stage models are exemplified by the region-based convolutional neural networks (R-CNN) series. A convolutional neural network is used to extract characteristics from generated region proposals in a region-based convolutional neural network (Girshick et al., 2014). A support vector machine is used to classify the regions based on the features that were extracted (Girshick et al., 2014). Fast region-based convolutional neural network (Girshick, 2015) is a single-stage object identification model that arranges locations according to convolution-based assumptions. It synchronizes region proposals with the pooling of regions of interest. The region proposal network is used to create region proposals at various sizes on feature maps in the faster region-based convolutional neural network (Ren et al., 2017), which is the more sophisticated variant of the fast region-based convolutional neural network. The region proposal network helps to improve the quality of region proposals and produce more accurate outcomes. One example of a single-stage model is yolo. The single shot detector model is an additional single-stage model (Liu et al., 2016). According to Redmon et al. (2016), yolov1 predicts items in a single network and considers object identification tasks to be a regression problem. To increase the accuracy performance of yolov1, yolov2 uses anchor boxes instead of a fully connected network (Redmon and Farhadi, 2017). The feature extractor network's residual connections (He et al., 2016) enable the extraction of superior features in yolov3 (Redmon and Farhadi, 2018). Building on the success of earlier iterations, yolov4 (Bochkovskiy et al., 2020) is an upgraded version that incorporates a number of improvements to achieve greater speed and accuracy. The main concept of a single shot detector is to detect objects immediately on a single network pass, eliminating the need for post-processing or extra proposal creation (Liu et al., 2016). Despite their high accuracy, two-stage models are not suitable for real-time problems due to their speed (Lin et al., 2017). Yolo's novel network architecture enables high accuracy performance free from speed fluctuations. As a result, the yolo series can be used for tasks involving object recognition in real time.

Significant research on polyp detection has recently been carried out in the literature with the introduction of object identification models based on convolutional neural networks. Rahim et al. (2021) improved feature extraction and polyp detection on colonoscopy images by using convolution kernels

of different sizes. Following a variety of augmentation methods, images were entered into a 16-convolution model. Two fully linked layers and a softmax function were then used to make predictions. Their findings showed that the suggested convolutional neural network model has a f1-score of 88.30%, 82.92% sensitivity, and 94.44% precision.

In their work, Pacal and Karaboga (2021) improved the yolov4 model for real-time polyp recognition. They accomplished this by using a number of models as the feature extractor, with distance intersection over union (Zheng et al., 2020) serving as the loss and mish (Misra, 2019) serving as the activation. They claimed that the accuracy was increased by employing input of varying sizes. Yolo models were said to be effective at detecting polyps in real time.

Chen et al. (2021) used faster r-cnn to detect polyps in their investigation. In order to make the polyps more noticeable, they preprocessed the colonoscopy images by increasing the contrast. They added a self-attention module to the feature extractor network in order to improve the quality of the feature map. Their findings showed that the suggested model had a 0.934 f1-score, 0.925 recall, and 0.943 precision.

In order to achieve excellent performance in polyp identification, Pacal et al. (2022) employed the cross stage partial network (Wang et al., 2020) in the neck and head networks of yolov3 and in the backbone network of yolov4. It was shown that the false positive rate is decreased by include negative samples. Other networks came out worse than the suggested yolov4 cross stage partial (yolov4-csp) model.

In order to perform data augmentation on image data for polyp detection in their experiment, Qian et al. (2022) used a conditional generative adversarial network (Mirza and Osindero, 2014) because they lacked colonoscopy images. By using skip connection and dilated convolution, they enhanced the yolov4's architecture. Based on the results, the suggested model produced 17.2 frames per second and an average precision of 92.37%.

Karaman et al. (2022) adjusted the yolo models' hyperparameters using the artificial bee colony algorithm. Following the recommended modification, the scaled-yolov4 (Wang et al., 2021) model's mean average precision value and f1-score both increased by 2% and 3%, respectively. Tang et al. (2022) employed image processing techniques to simulate the narrow band imaging approach used during colonoscopy. When compared to the original images, the multi-scale retinex approach was more successful in identifying polyps.

In this work, the most recent yolo models, yolov5 and yolov6 (Li et al., 2022), were used to create an automated diagnostic solution for real-time polyp identification. This study's primary goal is to evaluate the yolov5 and yolov6 model variants' performance and speed. Open-source data and a new private dataset were used as the datasets. The private dataset only included a tiny amount of data, thus data augmentation techniques such motion blur, rotation 90 degrees, and vertical and horizontal flips were applied. To lower the amount of false positives, negative samples were added to the training set of data. Precision, recall, f1-score, f2-score, mAP50, and mAP50:95 metrics were used to compare the models' performance. The models were also put through a speed test. The yolov5x and yolov6l models were also compared with previous studies in the literature.

This study offers the following contributions that are different from other studies for real-time polyp detection:

- Performance comparison of the accuracy and speed of yolov5 and yolov6 models.
- A new dataset for polyp detection was created and validated by an endoscopy specialist.
- The performance in polyp detection was significantly improved by using data augmentation techniques.

The rest of the content of this research is divided into the following sections: In Section 2, the materials and methods of this study are presented. Section 3 consists of performance metrics, experimental results of the models, and discussions about the results. Section 4 gives the conclusion and future research.

2. Materials and Method

In this study, real-time polyp detection was carried out using yolov5 and yolov6 models.

2.1. Dataset

In this study, open source datasets and private dataset were used for polyp detection. Table 1 provides comprehensive details about the dataset.

Table 1. Detailed information about the dataset.

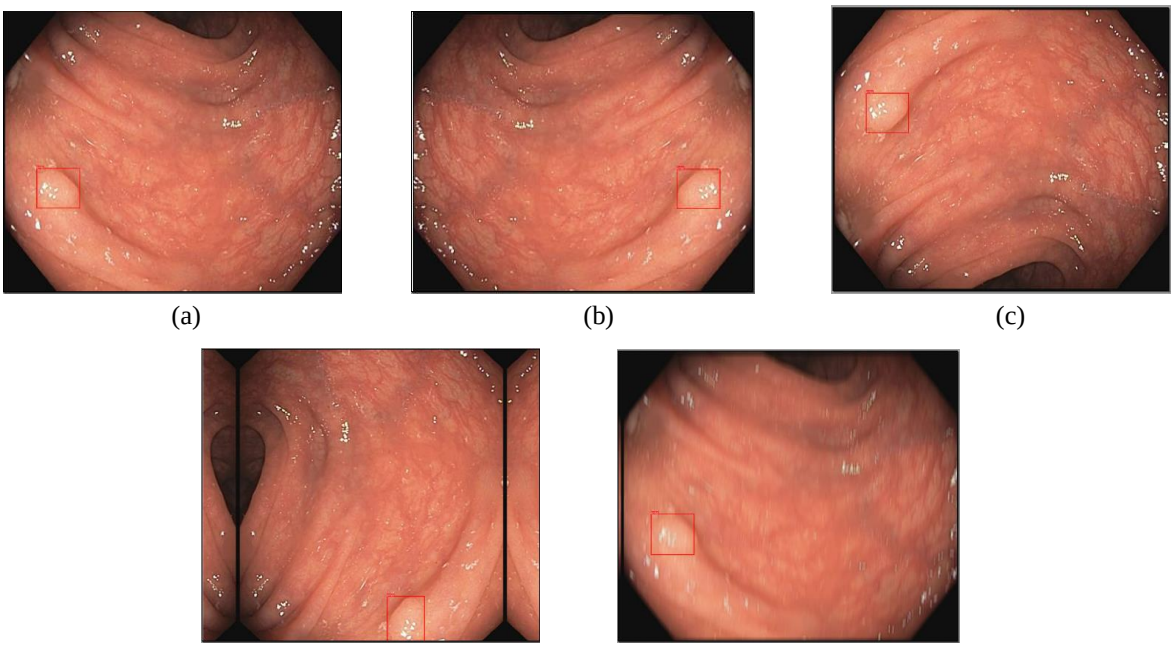
	Training	Testing	Total
CVC-ColonDB (Bernal et al., 2012)	244	56	300
ETIS (Silva et al., 2014)	157	39	196
Kvasir-SEG (Jha et al., 2020)	800	200	1000
CVC-ClinicDB (Bernal et al., 2015)	500	112	612
Private dataset	516	122	638
Total	2217	529	2746

There are 2217 and 529 data points for training and test, respectively, in Table 1. A new private dataset was created in this study. The private dataset was obtained from a private healthcare facility in Turkey, while the open-source datasets were sourced via online sites. Video recordings were gathered following the acquisition of the required ethical permissions. An endoscopic specialist recognized and annotated frames in the videos that included polyps. Data augmentation was used because the private dataset only contained a small number of images. For the private dataset in this investigation, data augmentation techniques such as vertical flip, horizontal flip, rotate 90, and motion blur were used. The albumentations (Buslaev et al., 2020) library was used for data augmentation. In addition, it was stated in the study by (Pacal et al., 2022) that adding negative sample to the training data reduces the false positive rate. Therefore, 765 negative sample images were added to the training data in this study. The added negative samples are images that do not contain polyps. In addition to negative sample processing and data augmentation, no other preprocessing was used. Following these methods, Table 2 provides the dataset information.

Table 2. Relevant details about the dataset after taking data augmentation methods.

	Training	Testing	Total
CVC-ColonDB	244	56	300
ETIS	157	39	196
Kvasir-SEG	800	200	1000
CVC-ClinicDB	500	112	612
Private dataset	516	122	638
Private dataset(Horizontal flip)	516	-	516
Private dataset(Vertical flip)	516	-	516
Private dataset(Rotate 90)	516	-	516
Private dataset(Motion blur)	516	-	516
Negative sample	765	-	765
Total	5046	529	5575

Table 2 shows that while the quantity of data for test stays the same, the number of data for training expands from 2217 instances to 5046 instances. In Figure 1, some examples from the private dataset are shown. The red bounding box represents the ground truth of a polyp.



(a) (b) (c) (d) (e)

Figure 1. Example of images from the dataset. (a) Original image, (b) Horizontal flip, (c) Vertical flip, (d) Rotate 90, (e) Motion blur

2.2. Yolov5

Cross stage partial network is used as a backbone in yolov5. Cross stage partial network consists of cross stage partial modules from which information is extracted using convolution filters. Cross stage partial modules learn features using convolution, gain stability using batch normalization, and perform smooth optimization using mish activation (Sun et al., 2022). Information from the upper layers is transmitted to the lower layers using feature pyramid network to enhance the fusion feature in the neck network (Mushtag et al., 2023). In addition, spatial information of feature pyramids is aggregated and sent to the head via path aggregation network (Liu et al., 2018). Similar to the previous series, the head

network predicts the bounding box, object accuracy score, and object category. From the fewest to the most in terms of parameters, the models in yolov5 are N, S, M, L, and X. Architecture of the yolov5 models are given in Figure 2.

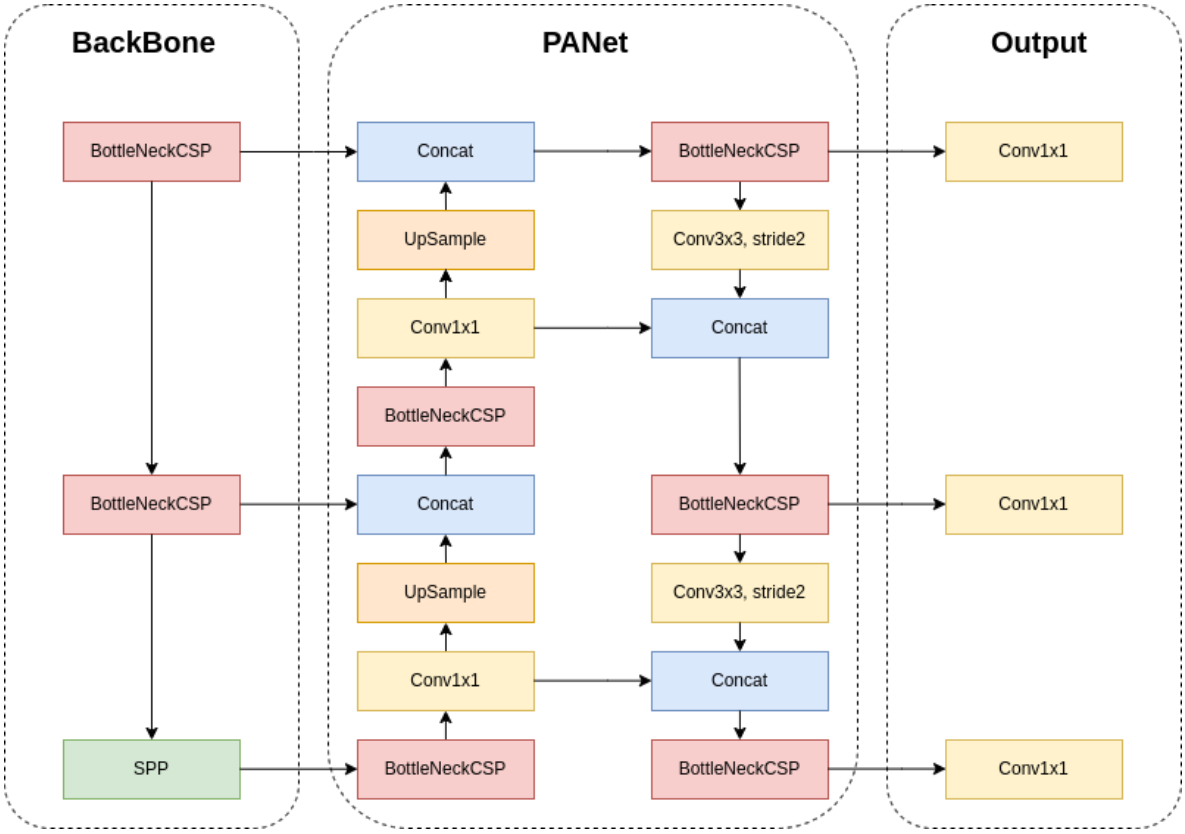


Figure 2. Architecture of the yolov5 models (Kurniawan et al., 2024).

2.3. Yolov6

Yolov6 proposes small and large models for different purposes as a one-stage model. While large models yield better results with the increase in parameters, the single path architecture creates a cost for large models. For small models, the single path architecture provides a consistency in terms of cost. Yolov6 shows high performance without sacrificing inference with domain-specific methods and cutting-edge quantization methods (Li et al., 2022). The models in yolov6 range in size from the smallest to the largest with respect to the quantity of parameters: N, T, S, M, and L. Figure 3 shows the architecture of the yolov6 N and S models.

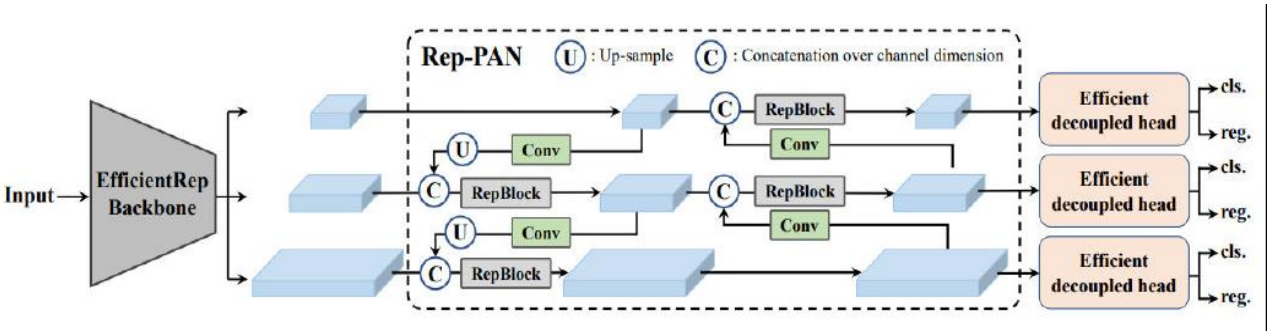


Figure 3. Architecture of the yolov6 N and S models (Li et al., 2022).

A backbone called efficientrep, which includes cross stage partial (Wang et al., 2020) blocks representing strong feature characteristics, is introduced for the backbone network. Thanks to the structural design of the multi-branch methodology and the reparameterization technique used during the training, repblocks (Ding et al., 2021) offers an optimal compromise between speed and accuracy.

A network architecture called a path aggregation network is intended to increase information flow and feature fusion. By allowing both top-down and bottom-up paths to aggregate features across several levels of a neural network, it expands on the concept of feature pyramids. In the neck network, the path aggregation network strengthens the information feature by performing fusion integration with feature aggregation at the layers (Xiao et al., 2022). The residual module located in the cross stage partial block provides a deep network, and the cross stage partial modules implement cross-stage hierarchy. Yolov6 uses the efficient decoupled head module for the head network. Hybrid-channel integration was provided for better performance. Yolov6 uses focal loss based varifocal loss (Zhang et al., 2021) to minimize classification loss. Varifocal loss is given in Equation 1.

$$loss_{varifocal} = \begin{cases} -q(qlog(p) + (1-q)\log(1-p)), & q > 0 \\ -\alpha p^{\gamma}\log(1-p), & q = 0 \end{cases} \quad (1)$$

where, p is the predicted classification score based on localization-aware, and q is the actual value. γ is adjustable parameter and defined as $\gamma \geq 0$.

Yolov6 uses scylla intersection over union (Gevorgyan, 2022) and generalized intersection over union (GIoU) (Rezatofighi, 2019) to localize bounding boxes. Equation 2 gives the generalized intersection over union loss function.

$$loss_{GIoU} = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} - \frac{C/(A \cup B)}{|C|} \quad (2)$$

where, A represents the predicted bounding box, whereas B represents the actual bounding box. The smallest convex object that encloses a given shape or set of points is referred to as C.

Distribution focal loss (DFL) (Xiang, 2020) is used as probability loss for the M and L models of yolov6. Distribution focal loss is given in Equation 3.

$$loss_{DFL}(S_i, S_{i+1}) = -((y_{i+1} - y)\log(S_i) + (y - y_i)\log(S_{i+1})) \quad (3)$$

where, y is the target value, S_i and S_{i+1} are defined as $S_i = \frac{y_{i+1}-y}{y_{i+1}-y_i}$ and $S_{i+1} = \frac{y-y_i}{y_{i+1}-y_i}$, respectively.

3. Findings and Discussion

In this study, real-time polyp detection was performed using the yolov5 and yolov6 object detection models. Different models of yolov5 and yolov6 were compared with each other. Additionally, the best yolov5 and yolov6 models in terms of mAP50 were also compared with previous studies in the literature. Precision, recall, f1-score, f2-score, mAP50 and mAP50:95 were used as evaluation metrics.

In this study, training and tests were conducted on ubuntu 20.04 operating system. Computer hardware specifications are as follows: Intel Core i7-10700 CPU (Central Processing Unit) 2.90GHz, Nvidia GeForce 3060 12GB GPU (Graphic Processing Unit), 16GB RAM (Random Access Memory).

3.1. Performance Evaluation Metrics

The intersection over union (IoU) measure is the fundamental performance evaluation information for identifying objects. In Equation 4, the intersection over union metric is presented.

$$IoU = \frac{area(B' \cap B)}{area(B' \cup B)} \tag{4}$$

where, the intersection region between the region of interests is represented by the numerator. The union area between the region of interests is represented by the denominator. The intersection over union value, similar to the classification, can potentially used to generate a confusion matrix. Using the components of the confusion matrix, metrics can be calculated. Calculated metrics are given in Equations 5, 6, 7 and 8, respectively.

$$precision = \frac{TP}{TP + FP} \tag{5}$$

$$recall = \frac{TP}{TP + FN} \tag{6}$$

$$f1score = 2 \times \frac{precision \times recall}{precision + recall} \tag{7}$$

$$f2score = \frac{5 \times precision \times recall}{4 \times precision + recall} \tag{8}$$

Precision-recall curve can be obtained by using different intersection over union threshold values. The precision-recall curve is commonly used to compute the mean average precision given in Equation 9.

$$mAP = \frac{1}{k}\sum_{l=1}^{k} AP_l \tag{9}$$

where, k is the number of classes, AP is the average precision value for class l.

3.2. Yolov5 Test Results

In this study, yolov5 models were trained at 400 epochs. During training, the batch size and image size of the models were set to 32 and 512, respectively, and the optimization algorithm was set to adam (Diederik, 2014). The learning rate and momentum hyperparameters for adam optimization were set to 0.0032 and 0.843, respectively. Models were evaluated using a 0.5 confidence and intersection over union threshold. Table 3 provides the performance results of the yolov5 models.

Table 3. Outcomes of the yolov5 models.

Models	Precision	Recall	F1-Score	F2-Score	mAP50	mAP50-95
Yolov5n	0.865	0.825	0.844	0.832	0.860	0.694
Yolov5s	0.897	0.821	0.857	0.835	0.878	0.744
Yolov5m	0.920	0.807	0.859	0.827	0.882	0.772
Yolov5l	0.901	0.858	0.878	0.866	0.891	0.767
Yolov5x	0.909	0.847	0.876	0.858	0.896	0.783

The performance outcomes of the models utilizing the accuracy, recall, f1-score, f2-score, mAP50, and mAP50:95 metrics are given in Table 3. According to the results obtained, the yolov5m model achieved the highest precision value of 0.92. This means that the yolov5m model achieved the lowest false positive value in the detection of polyps. The yolov5l model achieved the highest recall value of 0.858. In the case of not missing polyp identification, the yolov5l model performs the best. The yolov5l model achieved the best score in regarding the f1-score with 0.878. This suggests that the L model offers the optimum precision and recall arrangement. The yolov5l model outperformed in terms of f2-score with a value of 0.866 compared to other models. Since f2-score gives more weight to the recall metric, this indicates that the yolov5l performs the greatest performance with respect to the recall when considering the f2-score metric. According to the mAP50 and mAP50:95 metrics, the yolov5x model achieved superior performance compared to other studies with values of 0.896 and 0.783, respectively. Therefore, the yolov5x model outperformed other models in polyp detection at different intersection over union thresholds. Table 4 provides the speed test outcomes of the yolov5 models.

Table 4. The speed test outcomes of the yolov5 models.

Models	(B, C, W, H)	Preprocess(ms)	Inference(ms)	NMS(ms)	Total(ms)
Yolov5n	(32, 3, 512, 512)	0.1	1.1	0.9	2.1
Yolov5s	(32, 3, 512, 512)	0.1	2.4	0.9	3.4
Yolov5m	(32, 3, 512, 512)	0.1	5.6	1.3	7
Yolov5l	(32, 3, 512, 512)	0.1	10.2	2.0	12.3
Yolov5x	(32, 3, 512, 512)	0.1	17.4	1.8	19.3

In Table 4, batch size is 32, images are 3-channel and image size is 512. In the table, the preprocess time of all models is 0.1 ms. In terms of NMS(Non Maximum Suppression) time, the fastest model is yolov5n and yolov5s with 0.9 ms, while the slowest model is yolov5l with 2.0 ms. Models with more parameters have a higher inference time. The yolov5n model with the fewest parameters, which has an inference time of 2.1 ms, is the fastest model, while the yolov5x model with the most parameters, which has an inference time of 19.3 ms, is the slowest. The yolov5n is the most efficient when thinking of overall time, while the slowest model is the yolov5x model. The yolov5m, with its 0.772 mAP50:95 value and 7 ms speed, provides the best accuracy-to-speed balancing. A few instances of the yolov5x outcomes for object detection are shown in Figure 4.

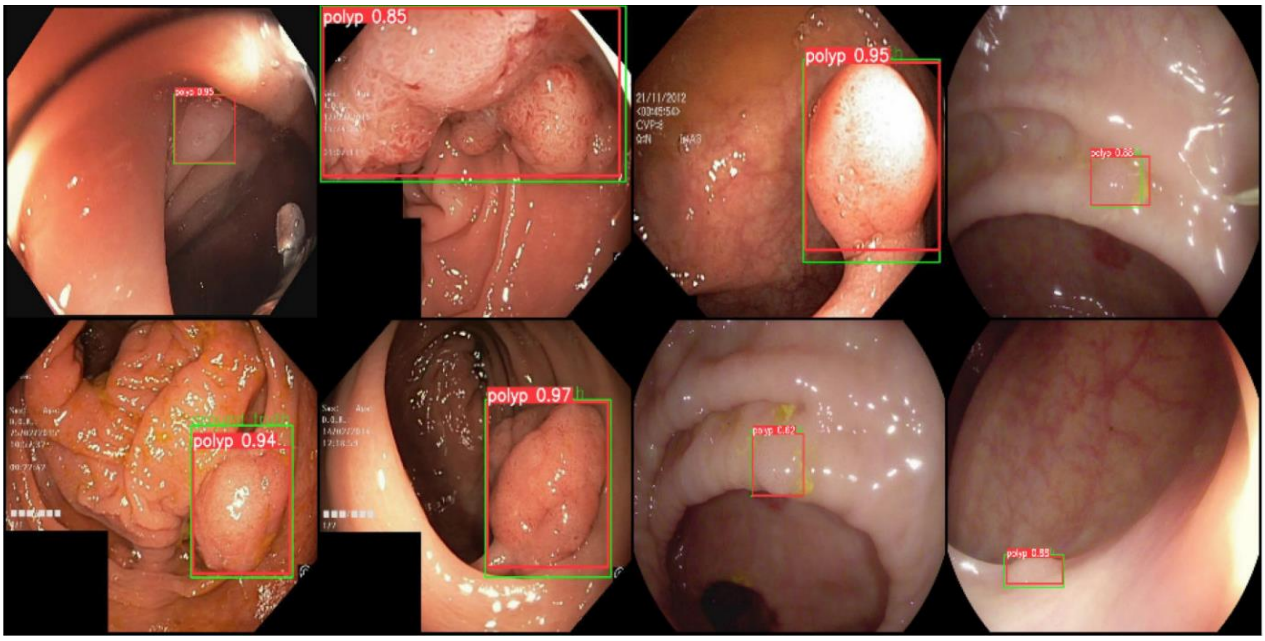


Figure 4. Examples of images containing predictions of the yolov5x model for polyp detection.

The bounding boxes shown in Figure 4 correspond to the true regions, indicated by the green boxes, and the detected regions, indicated by the red boxes.

3.3. Yolov6 Test Results

In this study, yolov6 models were trained at 400 epochs. During training, the batch size and image size of the models were set to 32 and 512, respectively and the optimization algorithm was set to adam. The learning rate and momentum hyperparameters for adam optimization were set to 0.0032 and 0.843, respectively. The intersection over union and confidence thresholds were both set to 0.5 to evaluate models. Table 5 provides the performance outcomes of yolov6 models.

Table 5. Outcomes of the yolov6 models.

Models	Precision	Recall	F1-Score	F2-Score	mAP50	mAP50-95
Yolov6n	0.854	0.777	0.814	0.791	0.873	0.632
Yolov6t	0.761	0.843	0.800	0.825	0.864	0.637
Yolov6s	0.785	0.840	0.811	0.828	0.857	0.632
Yolov6m	0.832	0.875	0.853	0.866	0.881	0.678
Yolov6l	0.842	0.893	0.867	0.882	0.913	0.710

Table 5 shows that the yolov6n model, with a rate of 0.854, offers the greatest precision value. This suggests that the N model performs the best at avoiding false-positive polyp detection. The yolov6l model, with a ratio of 0.893, offers the greatest recall value. The L model has the least number of missed detections in terms of detecting polyps compared to other models. The yolov6l model, with a ratio of 0.867, achieves the greatest f1-score. This implies that the L model has the highest precision to recall ratio when compared to other models. With a rate of 0.882, the yolov6l model has the highest f2-score. This suggests that, when using the f2-score metric, the yolov6l model performs the best with respect to the recall. The yolov6l model has the highest mAP50 and mAP50:95 metrics with rates of 0.913 and 0.71, respectively. This indicates that, when it comes to recognizing polyps at various intersection over union thresholds, the yolov6l model outperforms the other models. Table 6 provides the speed test outcomes of yolov6 models.

Table 6. The speed test outcomes of the yolov6 models.

Models	(B, C, W, H)	Preprocess(ms)	Inference(ms)	NMS(ms)	Total(ms)
Yolov6n	(32, 3, 512, 512)	0.12	1.24	0.56	1.92
Yolov6t	(32, 3, 512, 512)	0.11	2.26	0.56	2.93
Yolov6s	(32, 3, 512, 512)	0.09	3.07	0.69	3.85
Yolov6m	(32, 3, 512, 512)	0.09	6.40	0.64	7.13
Yolov6l	(32, 3, 512, 512)	0.09	10.08	0.61	10.78

In Table 6, batch size is 32, images are 3-channel and image size is 512. According to the results obtained, the fastest models in terms of preprocessing time are yolov6s, yolov6m, and yolov6l with 0.09 ms, while the slowest model is yolov6n with 0.12 ms. In terms of NMS, the fastest models are yolov6n and yolov6t with 0.56 ms. The slowest model in terms of NMS is yolov6s with 0.69 ms. Due to its significantly larger parameter count, the yolov6l model demonstrates the slowest inference time, taking approximately 10.08 milliseconds. With the smallest parameter count among the models, the yolov6n model achieves the fastest inference time, completing in just 1.24 milliseconds.

In terms of the overall time elapsed, it can be observed that the yolov6l model exhibits a comparatively slower performance, while the yolov6n model demonstrates superior speed. In terms of speed, the models from the fastest to the slowest are the N, T, S, M, and L models. The yolov6t model presents an optimal compromise with regard to accuracy and speed, offering a commendable mean average precision (mAP50:95) rate of 0.637 alongside a swift inference time of 2.93 milliseconds. Figure 5 shows example images containing the polyp predictions of the yolov6l model.

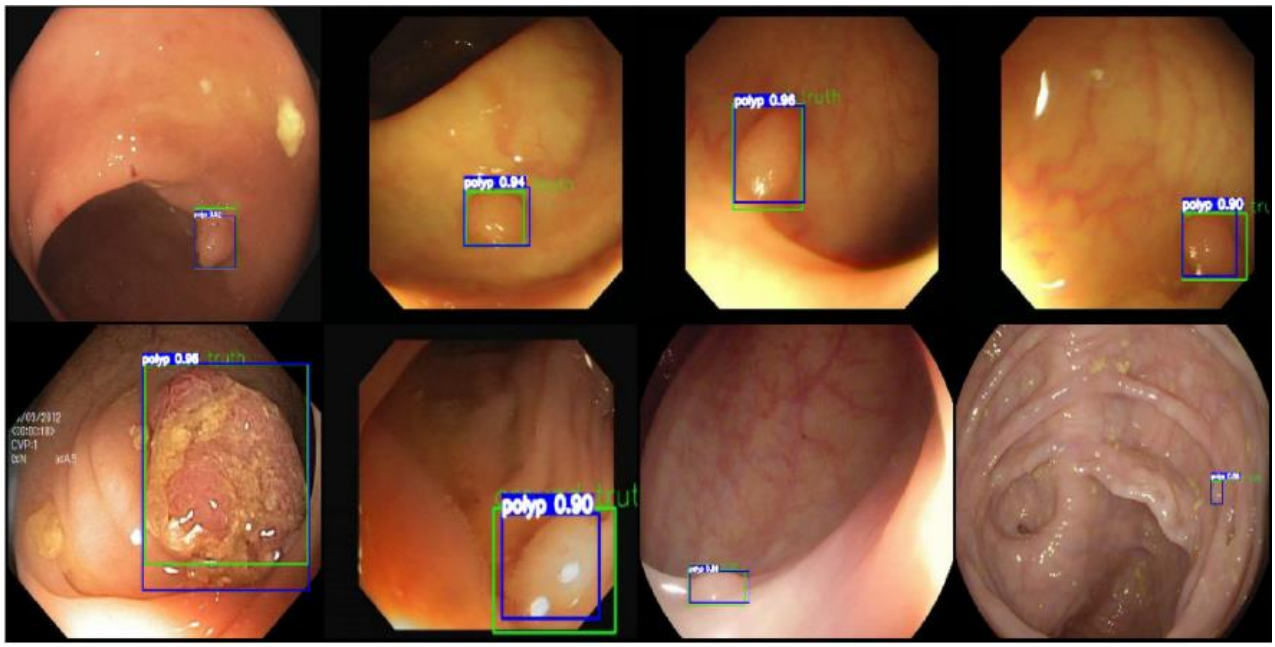


Figure 5. Examples of images containing predictions for polyp detection by the yolov6l model.

Figure 5 depicts the actual box, which is shown in green, and the detected box, which is shown in blue. When yolov5 and yolov6 were compared, the yolov5m model obtained the highest precision value with 0.92. In terms of precision, the other models of the yolov5 also outperformed all the models of the yolov6. From this, it can be inferred that the false positive rate of yolov5 models is smaller compared to yolov6 models. In terms of recall, the yolov6l and yolov6m models outperformed all models of yolov5 with a ratio of 0.893 and 0.875, respectively. This indicates that the ability to not miss polyps is better in yolov6. The yolov5l model was particularly better than all of the yolov6 models, with a f1-score ratio of 0.878. It is clear from comparing the yolov6 and yolov5 models that the yolov5 model provides the best balance between precision and recall. The yolov6l model, which obtained a mAP50 score of 0.913, performed better than any of the yolov5 models. This suggests that the yolov6l model is the best option in regard to mAP50 when using an intersection over union threshold of 0.5. With a mAP50:95 score of 0.783, the yolov5x model performed better than any of the yolov6 variants. In terms of mAP50:95 at various intersections over union thresholds, this suggests that yolov5x performed better than the other models of yolov6.

The slowest model among the yolov5 models is yolov5x, which has a speed of 19.3 ms, while the slowest model among the yolov6 models is yolov6l, which has a speed of 10.78 ms. Compared to the yolov5x model, the yolov6l model exhibits an 8.52 ms speed advantage. With an impressive speed of 2.1 ms, the yolov5n model is the fastest of the examined yolov5 versions. At 1.92 ms, the yolov6n model is the quickest of the yolov6 variants. Yolov6n model is faster than yolov5n model. The evaluation revealed that the yolov6 models exhibit superior speed in the context of polyp detection compared to the yolov5

models. The yolov5x and yolov6l models, which show the best performance in terms of the mAP50:95 metric, are compared with previous studies in the literature that perform polyp detection in Table 7.

Table 7. Comparison of yolov5x and yolov6l models with previous studies in the literature.

Paper	Method	Precision	Recall	F1-Score	F2-Score	mAP50	mAP50-95
Proposed models	Yolov5x	0.909	0.847	0.876	0.858	0.896	0.783
	Yolov6l	0.842	0.893	0.867	0.882	0.913	0.710
(Shin et al., 2018)	Faster R-CNN	0.815	0.803	0.809	-	-	-
(Pacal and Karaboga, 2021)	Yolov4-CSP	0.916	0.825	0.868	-	-	-
(Karaman et al., 2022)	Yolov4-CSP+ABC	0.860	0.840	0.850	-	0.890	-
(Taş and Yılmaz, 2021)	Faster R-CNN	0.710	0.844	0.770	0.810	-	-
(Xu et al., 2021)	Yolov3	0.832	0.716	0.770	0.736	-	-
(Sornapudi et al., 2019)	R-CNN	0.729	0.802	0.764	-	-	-

The performance results of studies that carried out polyp detection in the literature, along with the proposed yolov5x and yolov6l models, are given in Table 7. Based on the acquired results, the yolov4-CSP model, as suggested by (Pacal and Karaboga, 2021), exhibited the highest precision performance, attaining a value of 0.916. This indicates that the yolov4-CSP model proposed by (Pacal and Karaboga, 2021) has the least false detections. The precision value of the yolov5x model is 0.909. The yolov5x model exhibits the highest precision performance compared to the other studies, with a precision value very similar to that of the yolov4-CSP model proposed by (Pacal and Karaboga, 2021). Compared to other studies, the yolov6l and yolov5x models exhibit the best performance with recall values of 0.893 and 0.847, respectively. This indicates that the yolov6l and yolov5x models have the best capacity to identify polyps. The yolov5x model displayed the best performance in terms of the f1-score metric, with a value of 0.876. After the yolov5x model, the yolov4-CSP model put forward by Pacal and Karaboga (2021) obtained the greatest f1-score value of 0.868. The yolov5x and yolov6l models we suggested operate differently from the yolov4-CSP model put forward by Pacal and Karaboga (2021). The yolov4-CSP model performed the best in terms of precision. Our suggested yolov6l model, however, performed better than the yolov4-CSP model in terms of recall. The yolov5x model offered the best results in terms of the f1-score. The yolov5x model performed better than the yolov6l and yolov4-CSP models because the f1-score is the harmonic mean of recall and precision. At a value of 0.882, the yolov6l model had the best performance in terms of the f2-score metric. Furthermore, the yolov5x model trailed the yolov6l model with a value of 0.858, achieving the second-best performance. The yolov3 proposed by Xu et al. (2021) and the quicker R-CNN proposed by Taş and Yılmaz (2021) both achieved f2-score values of 0.736 and 0.81, respectively. Our suggested models performed better than the models in the references

(Taş and Yılmaz, 2021) and (Xu et al., 2021), especially when it came to the f2-score metric. Furthermore, the yolov6l model showed the best performance when taking the mAP50 measure into account, with a value of 0.913. This suggests that the yolov6l model obtained the highest average precision value when the intersection over union threshold was set to 0.5. The yolov5x model has the highest mAP50 value (0.896), followed by yolov6l. The yolov4-CSP+ABC model put forward by Karaman et al. (2022) has a mAP50 value of 0.89. The yolov5x and yolov6l models performed better than the yolov4-CSP+ABC model put forward by Karaman et al. (2022) in terms of mAP50. There was no information regarding mAP50:95 in other studies. As a result, yolov5x performed better than yolov6l when our suggested models were evaluated, with a mAP50:95 score of 0.783.

The quicker R-CNN model achieved precision, recall, and f1-score values of 0.815, 0.803, and 0.809, respectively, according to the research conducted by Shin (2018). Our suggested models outperformed the quicker R-CNN model put forward by Taş and Yılmaz (2021) in terms of precision, recall, and f1-score measures. Taş and Yılmaz (2021) reported that the quicker R-CNN model achieved a recall value of 0.844. This figure is poorer than our models, but it is better than other studies. The precision value of the yolov3 proposed by Xu et al. (2021) was 0.832. This result is worse than yolov5x and yolov6l, but better than the models put forward by Taş and Yılmaz (2021) and Sornapudi et al. (2019). With a ratio of 0.802, the R-CNN model put forward by Sornapudi et al. (2019) performs better than the yolov3 model put forward by Xu et al. (2021), but it is still inferior to our models and previous research.

3. Conclusions

Through the identification of polyps, computerized detection has the potential to reduce the death rate associated with colorectal cancer. The death rate from colorectal cancer can be decreased by using computer-aided diagnosis methods to detect polyps. By identifying polyps, computer-aided diagnostic tools can lower the death rate from colorectal cancer. Consequently, within the framework of this investigation, real-time polyp detection was carried out using the yolov5 and yolov6 object detection models. To enhance the performance of object detection, this study incorporated data augmentation techniques and introduced negative samples into the training data to mitigate the false positive rate.

According to the obtained results, the yolov6l model outperformed the yolov5x model, which had a mAP50 value of 0.896, with a mAP50 value of 0.913. When considering the mAP50-95 measure, the yolov5x model scored better than the yolov6l model, with a mAP50-95 score of 0.783 versus 0.71. The matching yolov5 models were all outperformed by the yolov6 in terms of speed. Additionally, with f1-score values of 0.876 and 0.867, respectively, the yolov5x and yolov6l models outperformed earlier models documented in the literature. In future studies, real-time multi-class polyp detection is going to be carried out as a computerized diagnostic system.

Acknowledgment

This study was supported by AKGUN Computer Incorporated Company and TUBITAK(Scientific and Technological Research Council of Turkey). We would like to thank AKGUN Computer Inc. and TUBITAK for providing all the necessary resources and funding for the execution of this study.

References

Bernal J., Sanchez J., Vilarino F. Towards automatic polyp detection with a polyp appearance model. Pattern Recognition 2012; 45(9). 3166-3182.

Bernal J., Sanchez FJ., Esparrach GF., Gil D., Rodriguez C., Vilarino F. WM-DOVA maps for accurate polyp highlighting in colonoscopy: Validation vs. saliency maps from physicians. Computerized Medical Imaging and Graphics 2015; 43: 99-111.

Bochkovskiy A., Wang CY., Liao HYM. Yolov4: Optimal speed and accuracy of object detection. arXiv preprint arXiv:2004.10934.

Buslaev A., Iglovikov V., Khvedchenya E., Parinov A., Druzhinin A., Kalinin M., Alexandr A. Albumentations: fast and flexible image augmentations. Information 2020; 11(2).

Chen BL., Wan JJ., Chen TY., Yu YT., Ji M. A self-attention based faster R-CNN for polyp detection from colonoscopy images. Biomedical Signal Processing and Control 2021; 70: 103019.

Diederik PK. Adam: A method for stochastic optimization. 2014.

Ding X., Zhang X., Ma N., Han J., Ding G., Sun J. RepVGG: making vgg-style convnets great again. 2021 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2021, 13728-13737, Nashville, TN, USA.

Gevorgyan Z. SIoU loss: More powerful learning for bounding box regression. arXiv preprint arXiv:2205.12740.

Girshick R., Donahue J., Darrell T., Malik J. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation. 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2014, 580-587, Columbus, OH, USA.

Girshick R. Fast R-CNN. 2015 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2015, 1440-1448, Santiago, Chile.

He K., Zhang S., Ren S., Sun J. Deep residual learning for ımage recognition. 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, 770-778, Las Vegas, NV, USA.

Jha D., Smedsrud PH., Riegler MA., Halvorsen P., Lange TD., Johansen D., Johansen HD. Kvasir-SEG: A segmented polyp dataset. 2020 Multimedia Modeling, 2020, 451-462, Daejeon, South Korea.

Karaman A., Karaboga D., Pacal I., Akay B., Basturk A., Nalbantoglu U., Coskun S., Sahin O. Hyper-parameter optimization of deep learning architectures using artificial bee colony (ABC) algorithm for high performance real-time automatic colorectal cancer (CRC) polyp detection. Applied Intelligence 2022; 53(12): 15603-15620.

Kurniawan H., Arief MAA., Manggala B., Lee S., Kim H., Cho BK. Advanced detection of foreign objects in fresh-cut vegetables using YOLOv5. LWT-Food Science and Technology 2024; 212: 116989.

Lin TY., Goyal P., Girshick R., He K., Dollar P. Focal loss for dense object detection. 2017 IEEE International Conference on Computer Vision(ICCV), 2017, 2999-3007, Venice, Italy.

Liu W., Anguelov D., Erhan D., Szegedy C., Reed S., Fu CY., Berg AC. SSD: Single shot multibox detector. 2016 European Conference on Computer Vision(ECCV), 2016, 21-37, Amsterdam, Netherlands.

Li C., Li L., Jiang H., Weng K., Geng Y., Li L., Ke Z., Li Q., Cheng M., Nie W., Li Y., Zhang B., Liang Y., Zhou L., Xu X., Chu X., Wei X., W Xiaolin. Yolov6: A single-stage object detection framework for industrial applications. arXiv preprint arXiv:2209.02976, 55.

Liu S., Qi L., Qin H., Shi J., Jia J. Path aggregation network for instance segmentation. 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2018, 8759-8768, Salt Lake City, UT, USA.

Mirza M., Osindero S. Conditional generative adversarial nets. arXiv preprint arXiv:1411.1784.

Misra D. Mish: A self regularized non-monotonic activation function. arXiv preprint arXiv:1908.08681.

Mushtag F., Ramesh K., Deshmukh S., Ray T., Parimi C., Tandon P., Jha PK. Nuts and bolts: yolo-v5 and image processing based component identification system. Engineering Applications of Artificial Intelligence 2023; 118: 105665.

Pacal I., Karaboga D. A robust real-time deep learning based automatic polyp detection system. Computers in Biology and Medicine 2021; 134: 104519.

Pacal I., Karaman A., Karaboga D., Akay B., Basturk A., Nalbantoglu U., Coskun S. An efficient real-time colonic polyp detection with yolo algorithms trained by using negative samples and large datasets. Computers in Biology and Medicine 2022; 141: 105031.

Qian Z., Jing W., Lv Y., Zhang W. Automatic polyp detection by combining conditional generative adversarial network and modified you-only-look-once. IEEE Sensors Journal 2022; 22(11): 10841-10849.

Rahim T., Hassan SA., Shin SY. A deep convolutional neural network for the detection of polyps in colonoscopy images. Biomedical Signal Processing and Control 2021; 68: 102654.

Ren S., He K., Girshick R., Sun J. Faster R-CNN: towards real-time object detection with region proposal networks. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 2017; 39(6): 1137-1149.

Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You only look once: unified, real-time object detection. 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016; 779-788, Las Vegas, NV, USA.

Redmon J., Farhadi A. Yolo9000: better, faster, stronger. 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2017, 6517-6525, Honolulu, HI, USA.

Redmon J., Farhadi A. Yolov3: an incremental improvement. arXiv preprint arXiv:1804.02767.

Rezatofighi H., Tsoi N., Gwak J., Sadeghian A., Reid I., Savarese S. Generalized intersection over union: a metric and a loss for bounding box regression. 2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) 2019; 658-666, Long Beach, CA, USA.

Silva J., Histace A., Romain O., Dray X., Granado B. Toward embedded detection of polyps in WCE images for early diagnosis of colorectal cancer. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery 2014; 9: 283-293.

Shin Y., Qadir HA., Aabakken L., Bergsland J., Balasingham I. Automatic colon polyp detection using region based deep cnn and post learning approaches. IEEE Access 2018; 6: 40950-40962.

Sornapudi S., Meng F., Yi S. Region-based automated localization of colonoscopy and wireless capsule endoscopy polyps. Applied Sciences 2019; 9(12).

Sun X., Jia X., Liang Y., Wang M., Chi X. A defect detection method for a boiler inner wall based on an improved yolo-v5 network and data augmentation technologies. IEEE Access 2022; 10: 93845-93853.

Tang CP., Hsieh CH., Lin TL. Computer-aided image enhanced endoscopy automated system to boost polyp and adenoma detection accuracy. Diagnostics 2022; 12(4).

Taş M., Yılmaz B. Super resolution convolutional neural network based pre-processing for automatic polyp detection in colonoscopy images. Computers and Electrical Engineering 2021; 90: 106959.

Wang CY., Liao HYM., Wu YH., Chen PY., Hsieh JW. Cspnet: A new backbone that can enhance learning capability of cnn. 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2020, 1571-1580, Seattle, WA, USA.

Wang CY., Bochkovskiy A., Liao HYM. Scaled-yolov4: scaling cross stage partial network. 2021 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) 2021; 13024-13033, Nashville, TN, USA.

Wang S., Yin Y., Wang D., Lv Z., Wang Y., Jin Y. An interpretable deep neural network for colorectal polyp diagnosis under colonoscopy. Knowledge-Based Systems 2021; 234: 107568.

Xiang L., Wang W., Wu L., Chen S., Hu X., Li J., Tang J., Yang J. Generalized focal loss: learning qualified and distributed bounding boxes for dense object detection. Advances in Neural Information Processing Systems 2020; 33: 21002-21012.

Xiao Y., Chang A., Wang Y., Huang Y., Yu J., Huo L. Real-time object detection for substation security early-warning with deep neural network based on yolo-V5. 2022 IEEE IAS Global Conference on Emerging Technologies (GlobConET), 2022, 45-50, Arad, Romania.

Xu J., Zhao R., Yu Y., Zhang Q., Bian X., Wang J., Ge Z., Qian D. Real-time automatic polyp detection in colonoscopy using feature enhancement module and spatiotemporal similarity correlation unit. Biomedical Signal Processing and Control 2021; 66: 102503.

Zhang H., Wang Y., Dayoub F., Sünderhauf N. VarifocalNet: an iou-aware dense object detector. 2021 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) 2021; 8510-8519, Nashville, TN, USA.

Zheng Z., Wang P., Liu W., Li J., Ye R. Distance-IoU loss: faster and better learning for bounding box regression. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence 2020; 34(7): 12993-13000.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1258-1277, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1258-1277, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Güneş Panellerinde Gölgelenme Durumunda Maksimum Güç Noktası ile Verim Arttırımı

Sıla SEZGİN[1], Ahmet YÖNETKEN[2*], Tolga ÖZER[3]

[1,2,3] Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 03032, Afyonkarahisar

[1]https://orcid.org/0000-0001-6919-8324
[2]https://orcid.org/0000-0003-1844-7233
[3]https://orcid.org/0000-0001-7607-6894
*Sorumlu yazar: yonetken@aku.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 10.11.2024
Kabul tarihi:16.03.2025
Online Yayınlanma:16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Güneş enerjisi
Güneş paneli
Gölgeleme
Maksimum güç noktası takibi
Bulanık mantık kontrolü
Matlab

ÖZ

Güneş enerjisi; güneş panelleri yardımı ile insanlar tarafından kullanılabilir hale gelmekle birlikte enerji kullanılabilir hale gelirken güneşin tüm enerjisinden yarar sağlanamamaktadır. Kullanılacak enerjide kayıplar olmaktadır. Bunun sebeplerinden biri güneş panellerinin gölgelenme durumundan kaynaklı düzgün ışınım alamamasından dolayı ürettiği güçte azalışa sebep olmasıdır. Gölgelenme; verimde azalmaya ve panellerin bozulmasına sebep olabilmektedir. Gölgelenme durumundan etkilenmemek için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden biri de Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT)'dir. Bu makalede; kısmi gölgelemenin güneş panellerinin performansını nasıl etkilediğini ve Maksimum Güç Noktası Takibi gibi azaltma tekniklerini incelemeyi amaçlamıştır. Bu çalışmada Matlab\ Simulink programı kullanılarak Maksimum Güç Noktası Takibi teknikleri olan Bulanık Mantık kontrolü üzerinde çalışılmıştır. Çalışma iki adet güneş paneli dizisi, bulanık Mantık ve Boost dönüştürücü kullanarak tasarlanmış ve MPPT kullanarak ve MPPT kullanmadan elde edilen güç, voltaj ve akım değerleri karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda kısmi gölgeleme altında kalan güneş panellerinin MPPT kullanarak yapılan çalışmada güç, verim ve performansının MPPT kullanmadan yapılan çalışmaya göre daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. Çalışmanın sonucunda MPPT kullanımı sonrasında gerilim değerlerinde %2,12, akım değerlerinde %16,21 ve güç değerinde %19,39 değerinde bir artış görülmüştür. Zorlu şartlar altında güneş panellerinden daha fazla verim alabilmek için MPPT tekniklerinin kullanılabileceği çalışma sonucunda net bir şekilde anlaşılmıştır.

Increasing Efficiency with Maximum Power Point in Solar Panels in Shading Conditions

Research Article

Article History:
Received: 10.11.2024
Accepted: 16.03.2025
Published online:16.06.2025

Keywords:
Solar energy
Solar panel
Shading
Maximum power point tracking
Fuzzy logic control
Matlab

ABSTRACT

Solar energy becomes available to people with the help of solar panels. However, while the energy becomes usable, not all of the sun's energy can be utilized. There is loss of energy to be used. One of the reasons for this is that solar panels cannot receive proper radiation due to shading, causing a decrease in the power they produce. Shading can cause a decrease in efficiency and damage to the panels. There are many methods to avoid being affected by ghosting. One of these methods is Maximum Power Point Tracking. This article aims to examine how partial shading affects the performance of solar panels and mitigation techniques such as Maximum Power Point Tracking (MPPT). In this study, Fuzzy Logic control, which is Maximum Power Point Tracking techniques, was studied using Matlab\Simulink program. In the study, two solar panel arrays were designed using fuzzy logic and Boost converter, and the power, voltage and current values

obtained with and without MPPT were compared. As a result of the study, it was understood that the power, efficiency and performance of solar panels under partial shading in the study using MPPT gave better results than in the study without using MPPT. Consequently, study, an increase of 2.12% in voltage values, 16.21% in current values and 19.39% in power values was observed after the use of MPPT. As a result of the study, it was clearly understood that MPPT techniques can be used to get more efficiency from solar panels under harsh conditions.

To Cite: Sezgin S., Yönetken A., Özer T. Güneş Panellerinde Gölgelenme Durumunda Maksimum Güç Noktası ile Verim Arttırımı. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1258-1277.

1. Giriş

Teknoloji ilerlemeye başladıkça insanlar hayatlarını daha kolay hale getirebilmek amacı ile çalışmaya başlamışlardır. Teknolojik cihazların kullanımının artması enerji ihtiyacı ile doğrudan bağlantılıdır ve enerji ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Doğada birçok enerji kaynağı bulunmaktadır. Bunların bazıları insanlar tarafından kullanılabilirken bazıları da kullanılamaz ve başka bir forma dönüşebilmektedir. Bu enerji kaynaklarından en eskiye dayananı yenilenemez enerji kaynaklarıdır. Fakat günümüzde yenilenemez enerji kaynakları enerjiyi karşılamakta yetersiz kalmaktadır ve bu nedenle daha farklı enerji kaynakları arayışına girilmiştir (Karakaya ve Şen, 2019). Bu arayış sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları; Rüzgâr Enerjisi, Güneş Enerjisi, Hidrolik Enerji, Jeotermal Enerji ve Biyokütle Enerjisidir (Yılmaz, 2012). Yenilenebilir enerji kaynaklarından uzun süreli maliyet kolaylığı, kullanım ömrü ve tükenmeyen enerjiye sahip olmasından dolayı güneş enerjisi en çok tercih edilen enerji türüdür. Türkiye'de konumundan dolayı güneşten alınan potansiyel açısından zengindir (Şenpınar ve Gençoğlu, 2006). Güneş panellerinden elde edilecek enerjinin miktarı da yapılan ışınıma ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir (Çıkan, 2024). Güneş enerjisi güneş panelleri sayesinde insanlar tarafından kullanılabilir bir enerji kaynağı haline gelmiştir. Güneş panelleri yardımıyla enerji elde etme yöntemi fotovoltaik olarak adlandırılmaktadır. Fotovoltaik sistemlere örnek olarak Şebekeden Ayrı (Off-Grid) ve Şebekeye Bağlı (On-Grid) Fotovoltaik Güneş Enerji Sistemleri verilebilir (Aktaş ve ark., 2017). Şebekeden Ayrı (Off-Grid) sistemlerde depolanan enerji panellerde elektriğe dönüştürülerek akülerde stoklanır ve invertör yardımıyla AC elektriğe dönüştürülür. Genellikle de elektrik şebekesinin bulunmadığı bölgelerde kullanılmaktadır. Şebekeye Bağlı (On-Grid) Fotovoltaik Sistemler güneş enerji santralleri olarak düşünülebilir. Güneş panelleri tarafından üretilen elektrik, şebekeye bağlı bir invertör tarafından düzenlenir ve şebekeye iletilmek üzere dönüştürülmektedir. Fotovoltaik sistemlerde her elektrik üretim aşamasında dönüştürülen enerjide kayıplar meydana gelmektedir (Öztürk, 2020). Bu kayıplar ışınım kayıpları, istem kayıpları ve invertör kayıplarıdır. Işınım kayıplarına örnek olarak; spektrum kayıpları, yansıma kayıpları ve gölgelenme kayıpları verilebilir. Sistem kayıplarına örnek ise; düşük ışınım kayıpları, sıcaklık kayıpları, uyumsuzluk kayıpları ve kablo kayıplarıdır. Bu kayıplarda üstünde durulması gereken en önemli kayıplardan biri gölgelenme kayıplarıdır (Ayaz ve Hocaoğlu, 2019). Gölgelenme kayıpları; güneş panellerinin gölgelenen bölümleri ile gölgelenmeyen bölümleri arasındaki gerilim farkıdır. Güneş paneli yeterli miktarda ışık almazsa ürettiği güç azalmaktadır. Güneş panelinde tek bir hücrenin gölgelenmesi bile

enerji üretimini durdurur ve yük görevi görür. Elde edilecek güç, yükün büyüklüğü, sıcaklık ve ışınım gibi faktörlere bağlı olarak anlık değişiklik gösterebilmesinden kaynaklı bu durumda büyük güç kaybına sebep olabilmektedir (Yilmaz ve ark., 2018; Rahul ve Hariharan, 2023; Saral, 2023; Tan ve Mohamad-Saleh, 2023). Gölgelenme kayıpları; ufuk gölgelenmesi ve panel sırası gölgelenmesi olarak ikiye ayrılmaktadır. Güneş panellerinin kurulum sahalarında dağ ve tepe gibi oluşumların bulunması durumunda bu durumların paneller üzerine oluşturduğu gölgelenmelere ufuk gölgelenmesi denmektedir. Güneş paneli santrallerinde kurulum yapılan panellerin birbiri üzerinde yaptıkları gölgelenme ise panel sırası gölgelenmesi olarak adlandırılmaktadır. Gölgelenme güneş enerjisi verimini çok fazla düşürmekte hatta panellerin çalışmasını durdurabilmektedir. Bu durumdan dolayı birçok çözüm üretilmeye çalışılmıştır. Bu çözümlere panel konumlandırması, bypass diyot kullanımı, güç optimize ediciler ve Maksimum Güç Noktası Takibi vb. örnek verilebilir. Güneş panelleri konumlandırılırken güneşin durumu dikkate alınarak konumlandırma yapılması gerekmektedir. Bypass diyot yardımı ile de gölgeli bölgeleri atlayarak enerji kaybı önlenmeye çalışılmaktadır (Zheng ve Li, 2014; Pamuk, 2023). Güç optimize edicilerde performansta düşüş yaşanmaması için voltajı ve akımı ayarlar. Güneş panellerinde gölgelenme konusu önemli bir konudur. Bu yüzden bu konu ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Aberle ve ark. (2012) yaptıkları çalışmada kısmi gölgelemeye sahip bir güneş paneli LTspice'da modellemiştir. Çalışmada amaç gölgelenmenin paneller üzerindeki etkisini simülasyonlar yardımı ile araştırmaktır. Üç bypass diyot ile beş bypass diyottan oluşmuş güneş panelinin gölgeleme koşulları altında değerleri elde edilerek karşılaştırılmış, gölgeye bağlı olarak maksimum güç hesaplanmıştır. Bouraiou ve ark. (2017) yapmış olduğu bir diğer çalışmada; gölgelemenin güneş panelleri üzerinde etkisinin incelenmesinin dışında bir de farklı güneş panellerinin güçlerinin etkileri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Farklı iklim koşulları ele alınarak güç ve enerji verileri elde edilmiş ve güç performans analizi gerçekleştirilmiştir. Bouraiou ve ark. (2021) yapmış oldukları çalışmada; panellerin kurulumu yapılırken gerilimin yüksek olması tercih edildiği için paneller seri olarak yan yana konumda bağlanmıştır. Güneş panellerinin kurulum yapıldığı alanlarda bina, ağaç gibi dış etkenlerin olmasından dolayı panellerin bir kısmı gölgede kalarak kısmi gölgelenmeyi oluşturmaktadır. Kısmi gölgelenmenin yarattığı olumsuzluklardan kurtulmak için Bypass diyot kullanılmaktadır. Bu çalışmada da Bypass diyot kullanımının önemini gösterebilmek amacı ile hem panel sayısı arttırılmış hem de panellerin bazılarında Bypass diyot kullanarak bazılarında ise kullanmayarak sistem güç değerleri incelenmiştir. Abdulmawjood ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada kısmi gölgelemenin güneş enerjisi üretiminde en önemli sorunlardan biri olmasından kaynaklı kısmi gölgelemenin farklı tipte güneş panellerinin farklı kenarları üzerinde etkisini anlayabilmek için çok kristalli, amorf ince film, Kadmiyum Tellurit (CdTe) ince film ve Bakır İndiyum Galyum Selenit (CIGS) ince film PV modüllerini içeren çalışmalar yapmış ve performans analizine bakılmıştır. Aynı zamanda üç panelde Bypass diyot, bir panelde ise Bypass diyotu kullanmadan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Literatürde Bypass diyot kullanımının dışında üstünde durulan konulardan biri de ve Maksimum Güç Noktası Takibi tekniğini kullanarak güneş enerjisi verimliliğini arttırmak üzerine olan çalışmalardır. Bu çalışmalardan biri de

birden fazla sayıda seri ve paralel bağlı güneş panelleri Matlab /Simulink programı kullanılarak simüle edilmiş ve farklı kısmi gölgelenme koşulları altında incelenmiştir ve Maksimum Güç Noktası değerlerinde uyumsuzluk ve güç kayıpları üzerinde çalışılmıştır (Mäki ve Valkealahti, 2011). Başka bir çalışmada maksimum güç için güç gerilimi değerleri ile Maksimum Güç Noktası Takibi ile maksimum güçte çalıştırılarak sıcaklık ve güneş ışığı verilerini elde etmişlerdir. Elde edilen sonuçları simülasyon ve deneysel bir çalışmada göstermişlerdir ve Maksimum Güç Noktası Takibinin gölgeleme üzerindeki etkisi akım-voltaj, güç-voltaj grafikleri ile incelenmiştir (Shahariar ve ark., 2012). Diğer bir çalışmada üç farklı Maksimum Güç Noktası Takibi tekniği kullanılarak güneş panellerinin performans ve verimi arttırılmak amaçlanmıştır. Birden fazla voltaj değeri elde edilerek güç-voltaj analizi yapılmıştır. Elde edilen değerler ile teknikler karşılaştırılmış ve güç performansında, kararlıkta ve verim artışında hangi tekniğin daha iyi olduğu incelenmiştir (Mirza ve ark., 2019). Gürkan ve Güner'in 2024 yılında yapmış oldukları diğer bir çalışmada; güneş ışınlarının maksimum verimde kullanılabilmesi için maksimum güç verimliliğine ihtiyaç duyulmaktadır. Güç verimliliğini etkileyen en önemli durumlardan biri kısmi gölgelemelidir. Bu çalışmada kısmi gölgeleme sorununu çözebilmek için meta sezgisel algoritmaları olan parçacık sürü optimizasyonu, gri kurt optimizasyonu ve balina optimizasyonu algoritmaları Matlab/Simulink programında tasarlanarak sonuçları birbirleri ile karşılaştırıp performans analizi yapılmıştır (Gürkan ve Güner, 2024). Maksimum Güç Noktası ile ilgili bir başka çalışmada, güneş panellerinin güneş ışığını kısmi gölgelemeye maruz kalmasından dolayı ve güneş ışığını tam verimle kullanamamasından kaynaklı akım-voltaj (I–V), güç-voltaj (P–V) grafik değerlerini incelemek amacı ile Matlab programı kullanarak bir simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada farklı özeliklere sahip panellerdeki gölgelenmenin etkileri incelenmiştir (Patel ve ark., 2008). Bir diğer çalışma, gölgelemeye maruz kalan güneş panellerinden elde edilecek enerjideki verimi arttırabilmek amacı ile Matlab/Simulink programında üç farklı MPPT yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan MPPT teknikleri değiştir ve gözle (DandG), parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve guguk kuşu optimizasyonu (GKO) yöntemleridir. Bu yöntemler ile güç değerleri takip edilmiş ve maksimum güç elde edilmeye çalışılmıştır (Gümüş ve Demirtaş, 2021). Maksimum Güç Noktası ile ilgili son çalışmada gölgelemeden kaynaklı güç ve verim kaybından dolayı Maksimum Güç Noktası Takibi tekniği ile sezgiye dayalı yapay zekâ olan gen algoritması kullanılarak performansı etkileyen durumları incelemek ve bunlar üzerinde geliştirici bir çalışma yapmak amacı ile Matlab/Simulink kullanılarak simülasyonu geliştirilmiş ve güç-voltaj, akım-voltaj grafikleri incelenmiştir (Megantoro ve ark., 2018). Maksimum Güç Noktası Takibi tekniğinin kullanımında birden fazla yöntem vardır. Bu yöntemler Perturb and Observe, Artımlı iletkenlik, kesirli kısa devre akımı yöntemi ve Bulanık Mantık kontrol tabanlı yöntemdir. Bu çalışmada Maksimum Güç Noktası Takibi tekniklerinden Bulanık Mantık yöntemi kullanılarak çalışma gerçekleştirilmiştir. Bulanık Mantık yöntemi ile ilgili de literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların ilkinde gölgelenmenin enerji kaybı ve güç kaybına sebep olasından dolayı fotovoltaik sistemlerde sorunlar oluşmasından kaynaklı Maksimum Güç Noktası Takibi teknikleri kullanarak gölgelenme azaltılmaya çalışılmıştır. Maksimum Güç Noktası Takibi tekniği

olarak Takagi-Sugeno (T-S) Bulanık Mantık yöntemi tercih edilmiştir. Bunun sebebi de Bulanık Mantık yöntemi iklimsel değişikliklerden etkilenmemekte ve diğer tekniklerden daha iyi performans göstermektedir (Choudhury ve ark., 2015). Diğer bir çalışmada gölgelenme koşulları için hem bulanık mantık yöntemi hem de Perturb and Observe (P&O) algoritması birlikte kullanılarak çalışma gerçekleştirilmiştir (Kumar ve ark., 2018). Başka bir çalışmada Matlab\Simulink kullanılarak gölgelenme koşullarını azaltıp güneş panellerinin performansını arttırmak amacı ile Maksimum Güç Noktası Takibi tekniğinden Bulanık Mantık kullanılmış ve Perturb and Observe (P&O) algoritmasına dayalı çalışılmıştır (Chin ve ark., 2012). Son çalışmada gölgelenme koşullarında güneş panellerinin farklı konfigürasyonları incelenerek dört farklı Maksimum Güç Noktası Takibi tekniği kullanılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmanın amacı iyi değer aralığını bularak verim ve performansı arttırmaktır (Naick ve ark., 2018). Maksimum Güç Noktası Takibi tekniği ile ilgili son çalışma maksimum güç transferi yöntemlerinden olan gradiyent tabana sahip artımlı iletkenlik ve değiştir ve gözle yöntemleri ile sabit gerilim ve açık devre gerilim yöntemi olan pasif maksimum güç transferleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sürekli değişen ışınım değerleri ile güç ve elde edilecek verim bu yöntemler ile incelenmiş ve performans analizi gerçekleştirilmiştir (Altıntaş ve ark., 2021). Bu çalışmada Bulanık Mantık tekniği kullanılmıştır. Bulanık Mantık, sistem belirsizliğini ve doğrusal olmamayı yönetmek için basit ve çok etkili bir tekniktir. Bulanık Mantık, hava değişiklikleri sırasında daha hızlı ve daha doğru sonuçlar vermektedir. Bu çalışmanın ana amacı gölgelemeye maruz kalan güneş paneli sistemlerinin Maksimum Güç Noktası Takibi tekniklerinden olan Bulanık Mantık yöntemi ile maksimum güç, verim ve performansı arttırmaktır.

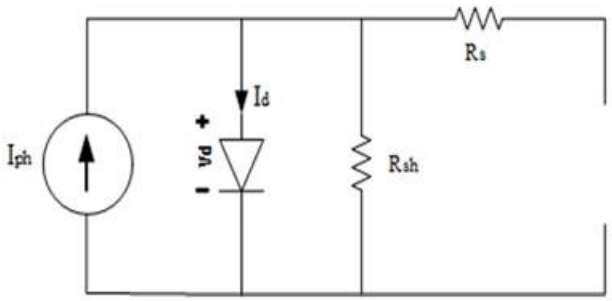
2.Materyal ve Metot

2.1. Güneş Paneli Modeli

Güneş paneli; bir çerçeve içine yerleştirilmiş fotovoltaik hücrelerin birleşimidir. Güneş paneli enerji kaynağı olarak güneş ışığını kullanarak elektrik akımı üretir. Güneş panelleri genellikle bir dizi halinde kurulur. Güneş panelleri tüm faktörler dikkate alınarak matematiksel olarak modellenebilir. Güneş panellerin iki matematiksel modeli vardır. Bunlar tek diyot ile oluşturulan devre modeli ve iki diyot ile oluşturulan devre modelidir.

2.1.1. Tek Güneş Modeli

Güneş panellerinin tek diyot ile oluştururken, bir akım kaynağı ve paralel bağlı diyot, şönt direnç ve seri bağlı direnç kullanılmaktadır. Tek diyot modeli Matlab\Simulink'teki güneş paneli dizisinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanım olarak kolay olması ve yüksek verime sahip olmasından kaynaklı bu çalışmada tek diyot modeli kullanılmıştır. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de tek diyot ile oluşturulan model gösterilmektedir (Khan ve ark., 2016).



Şekil 1. PV hücresinin tek diyot modeli

I_{ph} fotovoltaik akım kaynağını, I_d diyot akımını, I_{sh} şönt akımını, R_{sh} şant direncini, R_s seri direnci, I hücre akımını ve V hücre gerilimini temsil etmektedir. Güneş panelinin akım ve gerilimleri matematiksel olarak aşağıdaki gibidir (Boztepe, 2017).

$$I_{PV} = I_L - I_S \times \left(e^{\frac{q \times V_{PV}}{n \times k \times t}} - 1\right) \quad (1)$$

$V_{PV:}$ Güneş panelinde ele alınacak gerilim

I_{PV}: Güneş panelinde ele alınacak akım

I_L: Işık akımı

$I_{S:}$ Diyot akımı

q: Elektron yükü

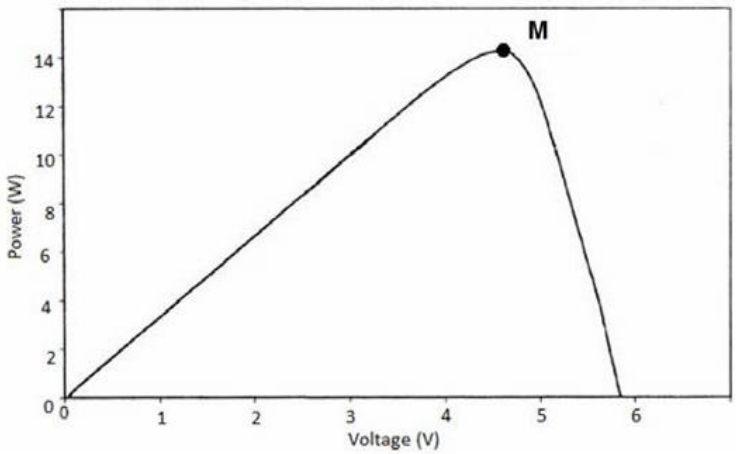
k: Boltzmann sabiti

n: Diyot Faktörü

T: Hücre sıcaklığı

2.2 Maksimum Güç Noktası Takibi

Güneş panelleri; güneş enerjisini alarak farklı formlara dönüştürmektedir. Bu dönüşüm yapılırken elde edilen güneş enerjisinde kayıplar meydana gelir. Bir de panellerin içerisinde gerçekleşen bu kaybın dışında paneller dış etkenlerden de etkilenmekte ve ışınım, sıcaklık, yön ve gölgeleme gibi durumlardan etkilenerek enerji kaybına neden olmaktadır ve gün içerisinde elde edilecek ışın miktarı da değişmektedir. Bu durum düzensiz bir güç değerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Bu durumdan kaynaklı çıkış gücünde maksimum gücün elde edilmesi önemlidir. Maksimum Güç Noktası Takibi tekniğini kullanarak gücün değerlerindeki inişler çıkışlar tespit edilerek gücün en yüksek değere sahip olduğu an elde edilir ve düzenli ve verimin fazla olduğu anları elde ederek kullanmak amaçlanmaktadır. Elde edilen gerilimi ve akımı kontrol ederek güneş panelinden sisteme doğru maksimum güçte çalışılması için Maksimum Güç Noktası Takibi ile çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Birçok Maksimum Güç Noktası Takibi tekniği bulunmaktadır. Bunlar dolaylı, doğrudan ve diğer teknikler olarak ayrılmaktadır. Şekil 2 Fotovoltaik sistemlerin Maksimum Güç Noktasını temsil etmektedir (Khan ve ark., 2016).



Şekil 2. Fotovoltaik sistemin maksimum güç noktası (Khan ve ark., 2016)

2.3. Bulanık Mantık Kontrolü

Bulanık Mantık; sisteminde bir sıfır olarak adlandırılan değerlerin dışında ara değerleri de bulunduran bir sistemdir. Güneş panellerinde basitlik ve performansta artışa sahip olunması istenmesinden dolayı gölgelenmeyi azaltmak amacı ile sıklık ile kullanılan yöntemlerden biridir. Kesin değerlerin dışında daha esnek ve kesin olmayan değerler ile çalışarak kontrolü gerçekleştirir. Bulanık Mantık kural tabanlı bir yapıya sahiptir. Değişken ve belirsiz çevre koşullarının sahip olunan yerlerde Maksimum Güç Noktası Takibi yöntemlerinden Bulanık Mantık yöntemi kullanılmaktadır. Bulanık Mantık kontrolcüsü tasarlanırken aşağıdaki aşamalar gerçekleştirilir.

- Değişkenlerin tanımlanmalı
- Bulanık alt küme yapılandırılmalı
- Bulanık kural tabanının konfigürasyonu sağlanmalı
- Bulanıklaştırma
- Bulanık çıktıların birleştirilmesi
- Durulaştırma

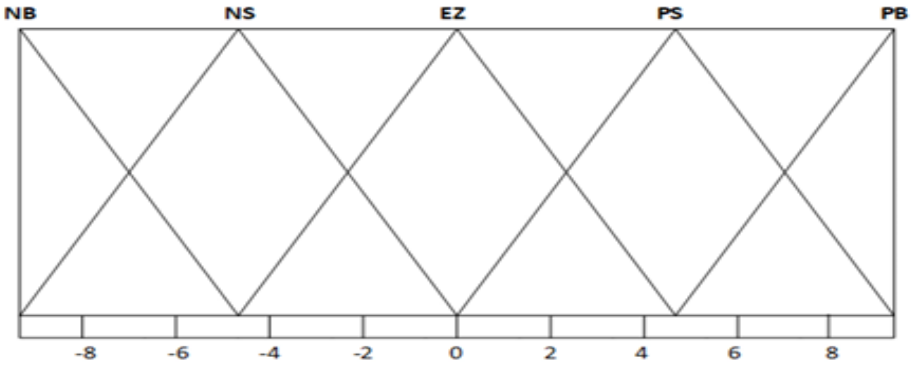
2.3.1.Bulanık Mantık Tasarımı

Bulanık Mantık gerçekleştirilirken giriş fonksiyonları ve üyelik fonksiyonları tanımlanarak gerçekleştirilir ve bu fonksiyonlar bulanık küme olarak adlandırılır. Kesin bir değeri bulanık bir değere dönüştürmek bulanıklaştırma olarak adlandırılır. Bu çalışma sırasında Mamdani yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada iki giriş E(t), CE(t) ve bir çıkış ise D fonksiyonu tanımlanmıştır. Denklem 2 ve Denklem 3 bulanık sisteme verilen girişleri temsil etmektedir.

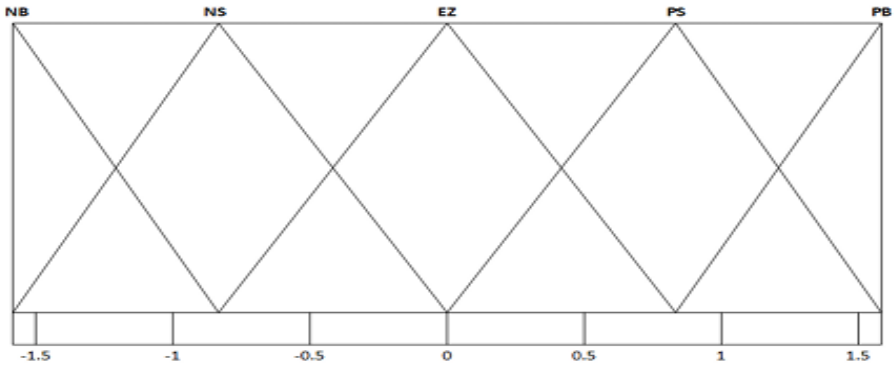
$$E(\mathrm{t}) = \mathrm{V}(\mathrm{t}) - V_ref \tag{2}$$

$$CE(\mathrm{t}) = \mathrm{E}(\mathrm{t}-1) - E(\mathrm{t}) \tag{3}$$

Giriş değişkenleri tanımlandıktan sonra giriş üyelik fonksiyon grafikleri elde edilmiştir. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'te giriş üyelik fonksiyonu olan E(t), **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'te ikinci giriş üyelik fonksiyonu olan CE(t) bulunmaktadır.



Şekil 3. Giriş üyelik fonksiyonu E(t)



Şekil 4. İkinci giriş üyelik fonksiyonu CE(t)

Giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları için kullanılan adlandırma aşağıdaki gibidir:

Not: Negatif büyük

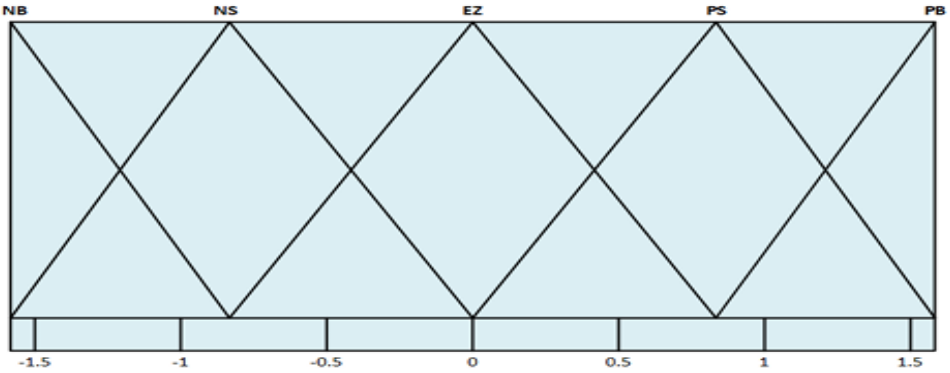
NS: Negatif küçük

EZ: Sıfır

Not: Pozitif küçük

PB: Pozitif büyük

Şekil 5 çıkış fonksiyonu olarak adlandırılan D fonksiyonunu göstermektedir. D çıkışını belirlemek için kurallar Tablo 1'de tanımlanmıştır.



Şekil 5. Çıkış fonksiyonu olan D fonksiyonu

Tablo 1. Bulanık Mantık kural tablosu

$E(t)/CE(t)$	**NB**	**NS**	**EZ**	**PS**	**PB**
NB	PB	PS	NS	NS	NB
NS	PS	PS	NS	PB	NB
EZ	NB	NB	PB	PS	PB
PS	NS	NS	PB	NB	PS
PB	NS	NS	PB	PB	PB

Oluşturulan bu kümeler gölgelemeden kaynaklı oluşan etkileri belirtmektedir. Kararlar, bulanık kurallar kullanılarak girdi değişkenlerine göre verilir. Amacı gölgeli koşullarda Maksimum Güç Noktasını bulmaktır.

2.4. Boost Dönüştürücü (Boost Converter)

Girdi olarak giren voltajı istenen gerilim değerine yükselterek çıktı olarak vermektedir. Doğru akımı doğru akıma dönüştürmektedir. DC/DC Boost dönüştürücüler Maksimum Güç Noktası Takibinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu yüzdende bu çalışmanın önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Maksimum Güç Noktası Takibi algoritmalarının oluşturduğu görev döngüleri, Boost dönüştürücü anahtarına verilmektedir. İndüktör enerjiyi depolaması ve yüke daha yüksek bir voltaj seviyesi

iletmesinden kaynaklı devrede kullanılması tercih edilmektedir. Aşağıda Boost dönüştürücünün tasarımında kullanılan denklemler bulunmaktadır.

$$C_min \ = V_mpp \ \times D_mpp/2 \times \Delta V_out \times R_l \times f_s \quad (4)$$

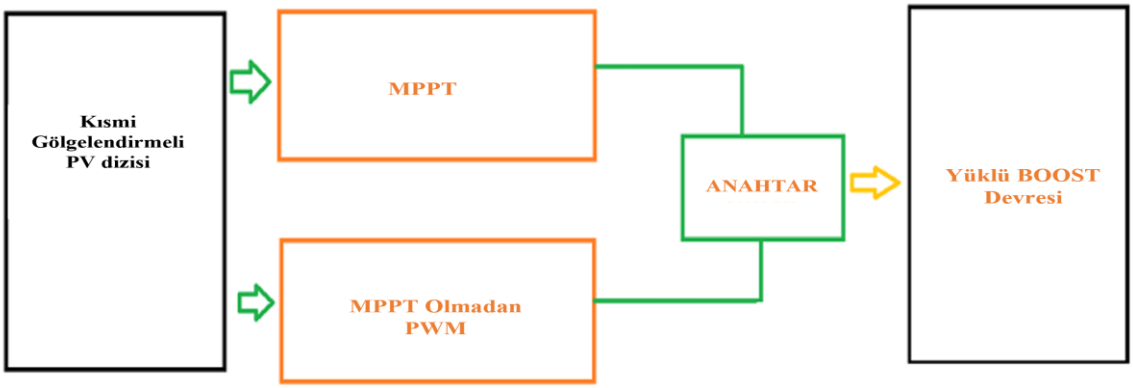
$$R_L \ = R_mpp/ \ [\![(1 - D_mpp)]\!]\text{^}2 \quad (5)$$

$$L_min \ = V_mpp \times \ D_mpp/2 \times \Delta I_out \ \times f_s \quad (6)$$

C_{min} değeri Boost dönüştürücüyü sürekli modda tutmak için gereken minimum kapasitans değerini, L_{min} değeri akımın sürekli kalması için gerekli endüktör değerini, V_{mpp} değeri Maksimum Güç Noktasındaki voltajı, D_{mpp} değeri maksimum noktaya ulaşılan görev döngüsünü, ΔV_{out} değeri çıkışta kabul edilebilir dalgalanma voltajını, R_l değeri yük direncini ve F_s değeri Boost dönüştürücünün anahtarlama frekansını tanımlamaktadır.

2.5.Devre Blok Şeması

Bu çalışmaya ait simülasyon tasarım planlanması **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'da gösterilmektedir.

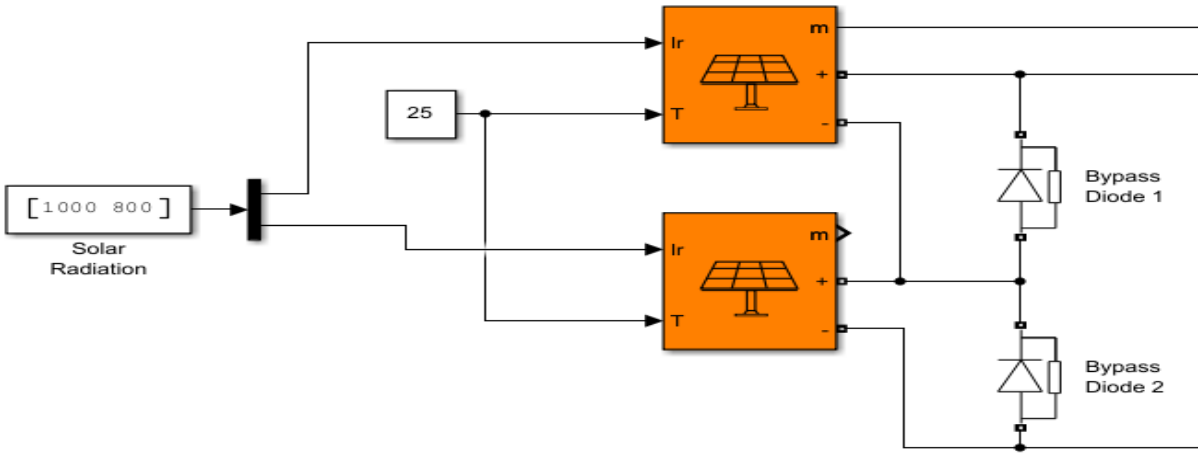


Şekil 6. Tasarım blok şeması

2.6. Matlab Devre Tasarımı

2.6.1.Fotovoltaik Dizilerde Bypass Diyot Kullanımı

Çalışmada güneş panellerindeki gölgelenme sorununu gösterebilmek için devrenin bir ışınım yapması gerekmektedir. Bu bölümde ışınım değerleri bulunmaktadır, kısmi gölgeleme yapabilmek için güneş ışınımı bir panel için 1000W/m^2, ikinci panel için 800W/m^2 olarak kullanılmıştır. İki panelin güç değerlerinin farklı seçilme nedeni ise güneş panellerini gölgelemeye maruz bırakarak inceleme yapılmak istenmesidir. Bu yüzden ikinci panel güç değeri 800W/m^2 ayarlanmıştır. Sıcaklık tüm panellerde aynı değer ayarlanmıştır. Devrede güneş panellerinin kısa devre yapmasını önlemek için iki adet Bypass diyot kullanılmıştır. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de güneş panellerinde tasarımın ilk aşaması verilmektedir.



Şekil 7. Güneş panelleri ve Bypass diyot tasarımı

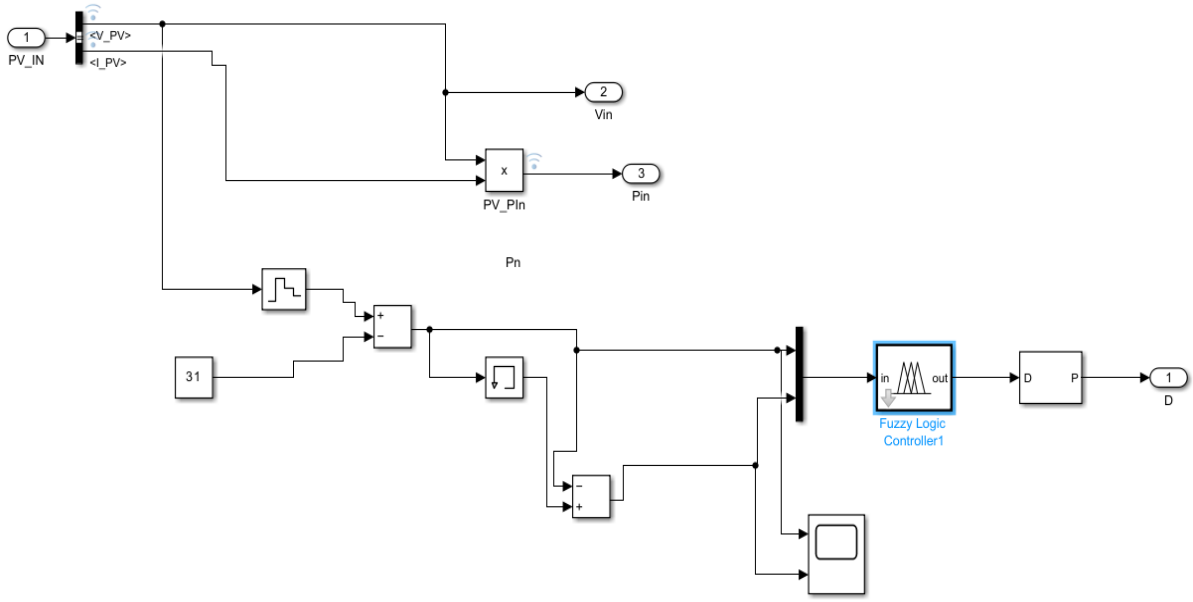
Tasarım gerçekleştirilirken kullanılan güneş paneli verileri Tablo 2'dedir.

Tablo 2. Güneş paneli verileri

Maksimum Güç	Açık Devre Gerilimi	Kısa Devre Akımı	Maksimum Gerilim	Maksimum Akım
213,15 W	36,3 W	7,84 A	29 V	7,35A

2.6.2.Maksimum Güç Noktası Takibinde Bulanık Mantık Kontrolünün Kullanımı

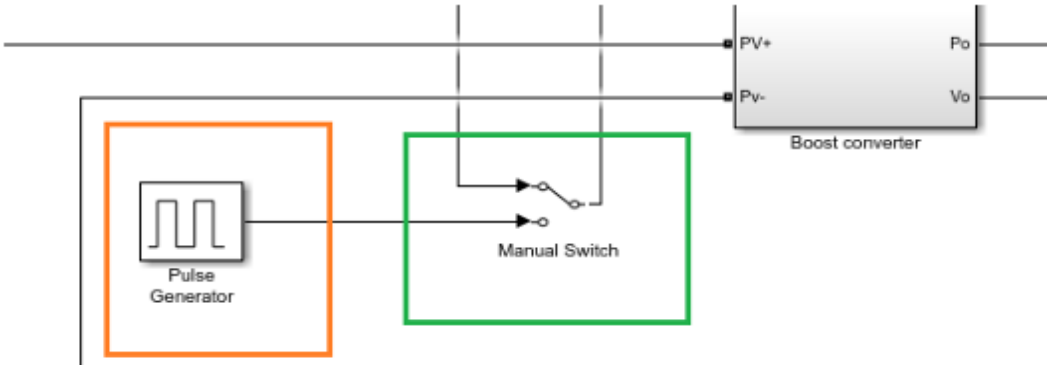
Bulanık Mantık Matlab devre tasarımında Bulanık Mantık kurallarının uygulandığı bir fotovoltaik giriş, referans voltajı, girdiyi aynı düzeyde tutmak için zero order hold, memory (bellek) ve bulanık mantık bloğu bulunmaktadır. Referans voltajı, daha sonra bulanık bir değişken olarak kullanılan hata sinyallerini üretmek için kullanılır. Bellek bloğu önceki andaki hatayı saklar ve daha sonra mevcut hata ve önceki hata bulanık bloğa beslenir. Denklem 2 ve Denklem 3 de hata ve hafıza fonksiyonları verilmektedir. Kontrol olarak bulanık Mantık bloğu uygulanır. Belirlenen giriş, çıkış verileri ve bulanık kurallar bu blokta kullanılır. Şekil 8'de Bulanık Mantık devre şeması verilmektedir.



Şekil 8. Bulanık Mantık kontrolü devre şeması

2.6.3.Switch ve Pulse Bloğu

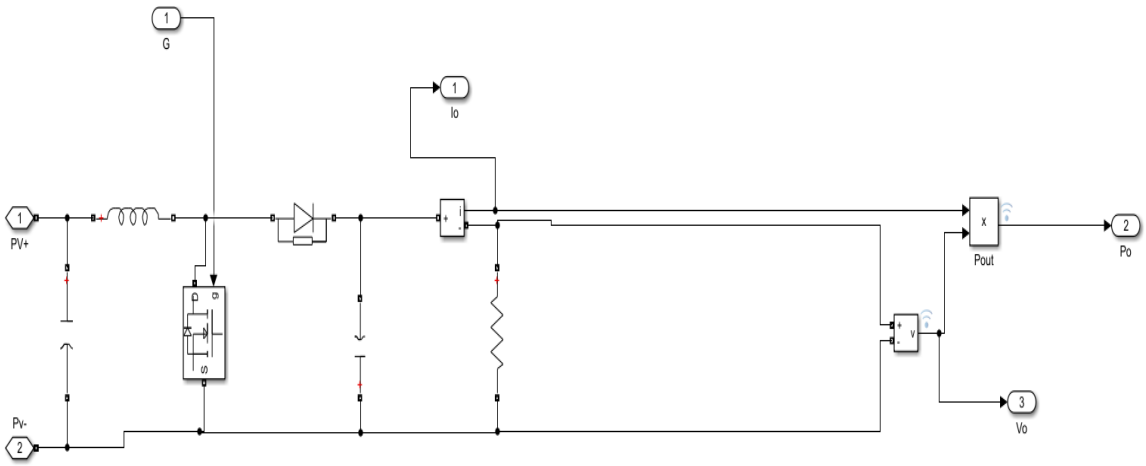
Maksimum Güç Noktası Takibi olmayan simülasyon sırasında Boost dönüştürücüye beslenen bir PWM sinyali oluşturmak için bir Pulse bloğu kullanılmalıdır. Manuel Switch, MPPT ve MPPT olmayan modlar arasında geçiş yapmak için kullanılır. Switch ve Pulse blokları **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'da verilmektedir.



Şekil 9. Switch ve Pulse blokları

2.6.4. Boost Dönüştürücü

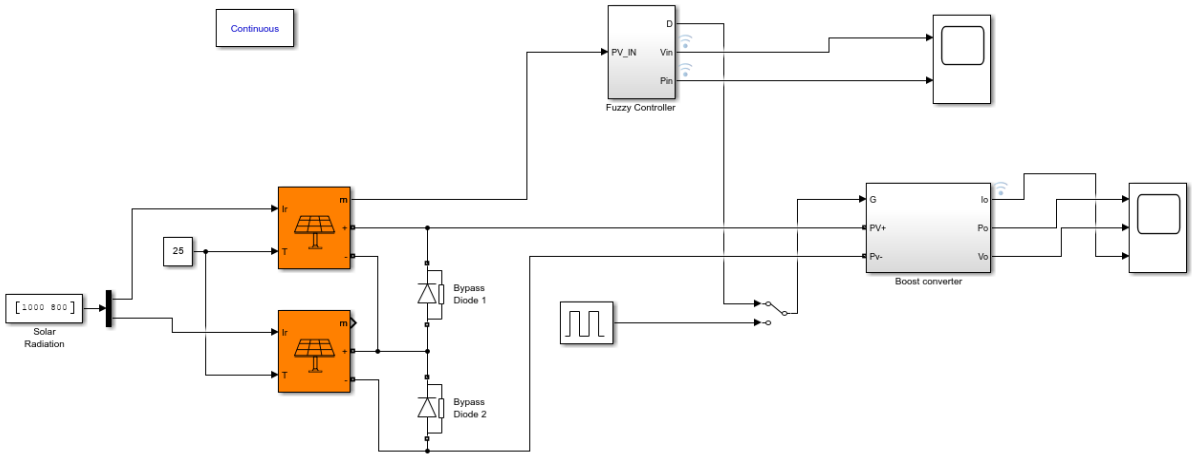
Boost dönüştürücünün çalışması Mosfet'e giriş 1 olduğunda yani açık olması durumunda, indüktör bu Mosfet aracılığıyla enerjiyi şarj eder ve depolar. Bir sonraki döngüde Mosfet kapatıldığında indüktör depolanan enerjiyi girişle birlikte yüke gönderir. Kapasitör, yük boyunca çıkış voltajını koruyacak şekilde konumlandırılmıştır. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'da Boost dönüştürücü tasarımı bulunmaktadır.



Şekil 10. Boost dönüştürücü tasarımı

2.6.5.Genel MPPT Tasarımı

Matlab\Simulink kullanılarak tasarlanan çalışmada ana tasarım, kısmi gölgelendirmeli fotovoltaik modüllerini, MPPT için Bulanık Mantık kontrolörünü, MPPT olmayan kontrol için PWM kontrolörünü ve Boost dönüştürücüyü içermektedir. Kısmi gölgeleme altında MPPT durumunda her güneş panelindeki voltajı izler. Bulanık Mantık kontrolü için tasarlanan Denklem 2 ve Denklem 3 kullanılarak anlık hata önceki hata ile karşılaştırılır ve Bulanık Mantık kontrolü beslenir. Bulanık Mantık üyelik fonksiyonlarını kullanarak kesin çıktıyı hesaplar. Böylece devre akışı tamamlanmış olur. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de gölgelenme altında kalan genel MPPT tasarımı bulunmaktadır.

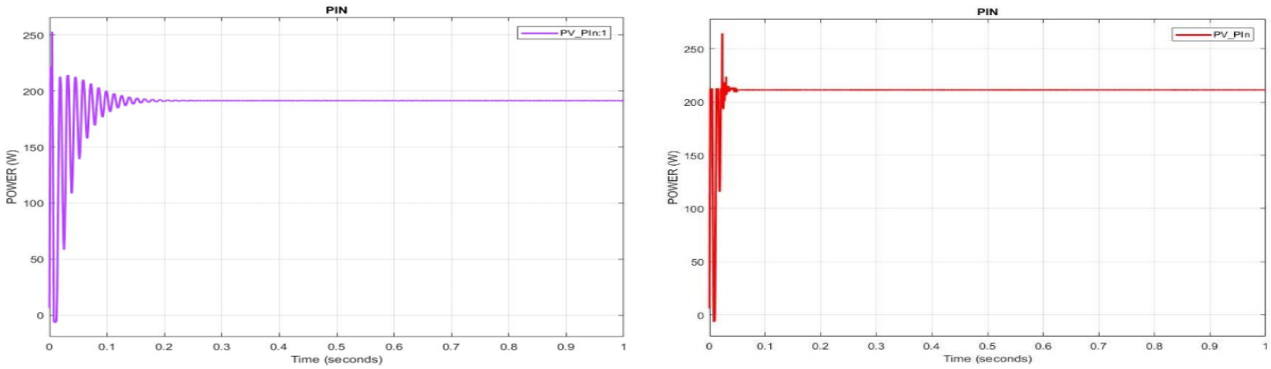


Şekil 11. Genel MPPT tasarımı

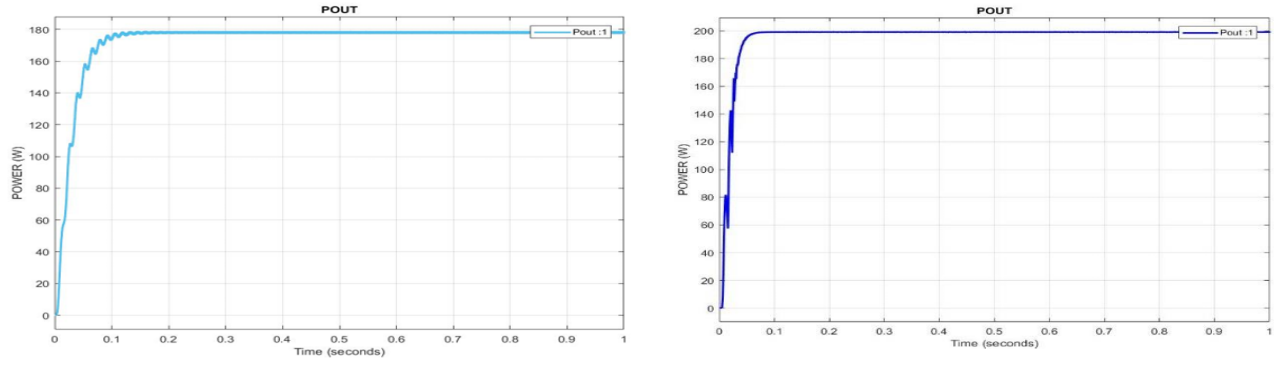
3. Bulgular

Kısmi gölgelenme altında Maksimum Güç Noktası Takibi uygulanmamış sonuçlar incelendiğinde; giriş gücünün çıkış gücünden daha büyük olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum sistemin verimliliğinin %100'den az olduğunu göstermektedir. Bu durumda kayıplar meydana gelmektedir. Giriş

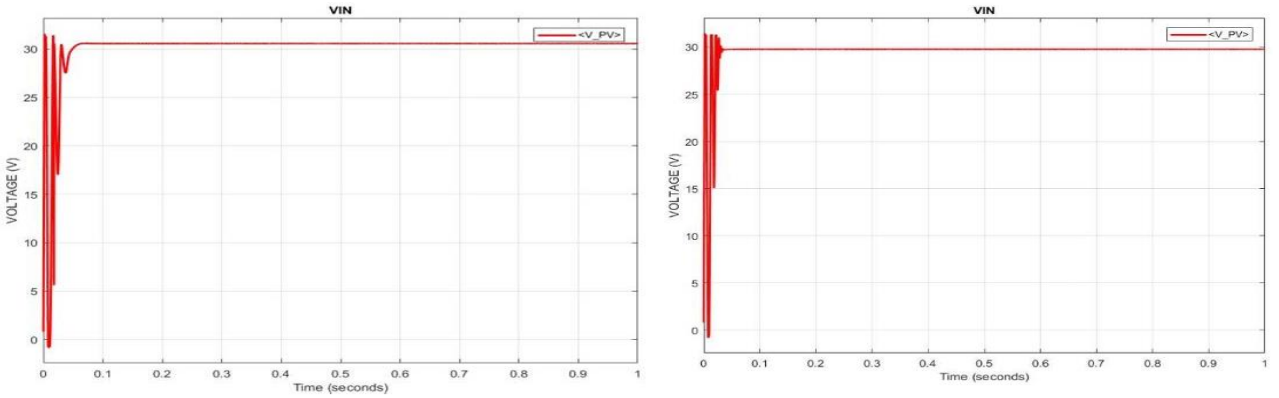
voltajını artıran bir Boost dönüştürücü kullanıldığı için çıkış voltajının giriş voltajından daha yüksek olduğu görülmektedir. Çıkış akımı, Boost dönüştürücünün çalışmasına karşılık gelen giriş akımından daha azdır, çünkü Boost dönüştürücüde çıkış gücü olarak gücü korumak için voltaj artar ve akım azalır. Çünkü çıkış gücü giriş gücünden daha büyük olamaz. Kısmi gölgelenme altında Maksimum Güç Noktası Takibi uygulanmış çalışmanın sonuçlarında ise giriş gücünün çıkış gücünden daha büyük olduğu grafiklerde görülmektedir. Bu da sistemin genel verimliliğinin yine %100 olmadığı fakat MPPT uygulanmamış çalışmaya göre verimliliğin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Grafikler incelendiğinde çıkış voltajının giriş voltajından daha yüksek olduğu fark edilebilir çünkü giriş voltajını artıran bir Boost dönüştürücü kullanılmaktadır. Akım grafikleri incelendiğinde, çıkış akımı, Boost dönüştürücünün çalışmasına karşılık gelen giriş akımından daha azdır, çünkü Boost dönüştürücü çıkış gücü olarak gücü korumak için voltaj artar ve akım azalır. Giriş gücünden daha büyük olamaz. Güç, akım ve voltaj grafikleri incelendiğinde yine verimin ve değerlerin az olduğu düşünebilir fakat Maksimum Güç Noktası Takibi kullanmadan yapılan ve Maksimum Güç Noktası kullanılarak yapılarak çalışma karşılaştırılmalı ve bu sonuçlar değerlendirilmelidir.



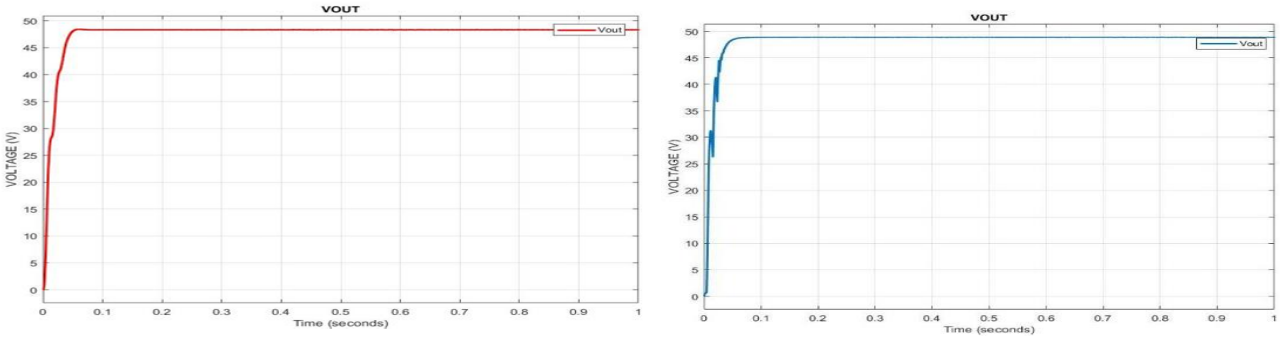
Şekil 12. MPPT uygulanmamış ve MPPT uygulanmış devrenin giriş gücü



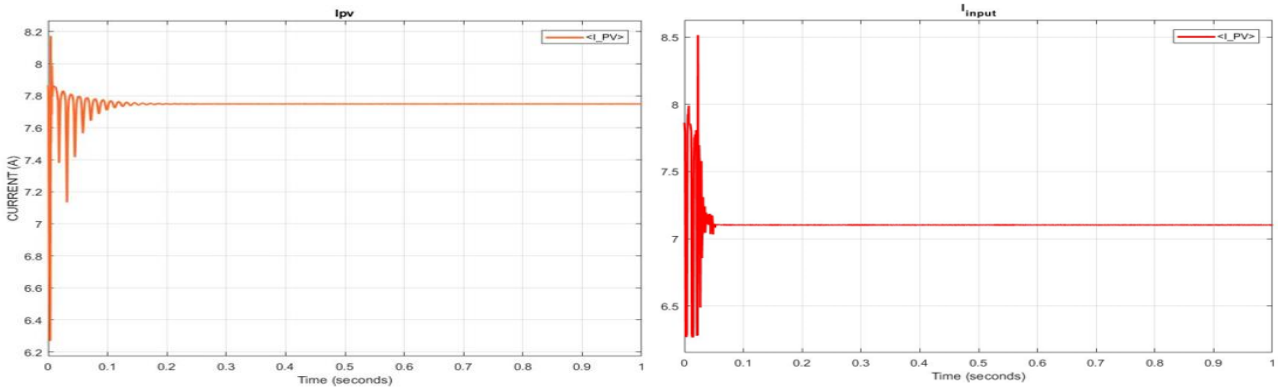
Şekil 13. MPPT uygulanmamış ve MPPT uygulanmış devrenin çıkış gücü



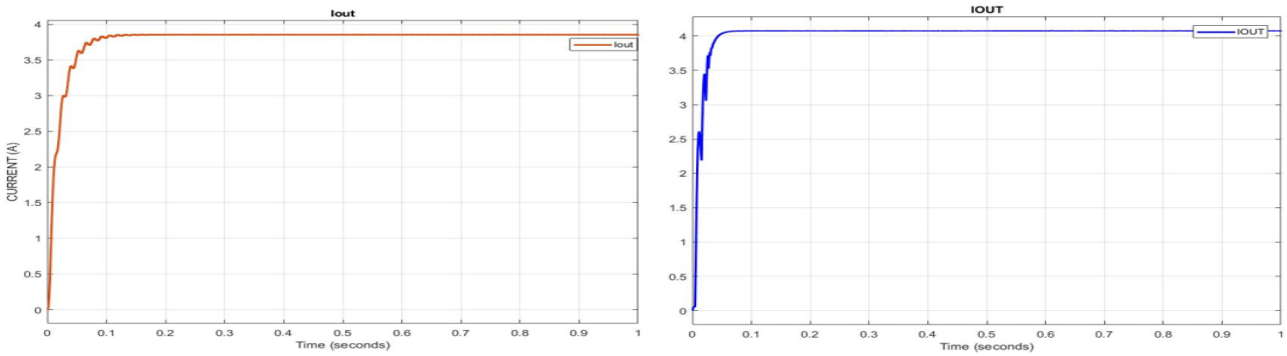
Şekil 14. MPPT uygulanmamış ve MPPT uygulanmış devrenim giriş voltajı



Şekil 15. MPPT uygulanmamış ve MPPT uygulanmış devrenin çıkış voltajı



Şekil 16. MPPT uygulanmamış ve MPPT uygulanmış devrenin giriş akımı



Şekil 17. MPPT uygulanmamış ve MPPT uygulanmış devrenin çıkış akımı

4.Tartışma

Günümüzün en büyük sorunlarından biri gölgelenmeye maruz kalarak düşük verim veren güneş panelleridir. Güneş panelleri elde ettiği enerjiyi farklı formlara dönüştürürken enerji kaybı gerçekleşmektedir ve verim azalmaktadır. Çalışmada Bulanık Mantık ile MPPT yöntemi kullanarak verimin artışı sağlamak amaçlanmaktadır. Bulanık Mantık yöntemi ile sürekli değişen hava durumundaki değerler olabileceğinden dolayı belirsiz sistemlerde ara değerleri ele alarak daha hızlı ve doğru sonuçlar ile kontrol gerçekleştirilmiştir. Bulanık Mantık dışında çalışmada Boost Converter önemli bir yere sahiptir. Gölgeli günlerde veya akşam saatlerinde güneşten elde edilecek verim az olacağı için güneş panelinin voltaj değeri de düşük olacaktır. Boost Converter yüksek güç seviyesine ulaşabilmek için gerilimin genliğinde dönüşüm sağlar ve çıkış genlik değerini uygun değere göre yükseltmektedir. Bu yüzden bu çalışmada Boost Converter kullanımı tercih edilmiştir. Böylece enerji üretiminde artış sağlamıştır. PV panel sayısı düşünüldüğünde toplamda oldukça yüksek bir güç üretim artışı sağlanmış olur. Bu çalışma sonucunda MPPT'li ve MPPT'siz sistemler incelenmiş ve karşılaştırma yapılmıştır. Tablo 2'de MPPT'li ve MPPT'siz sistemin maksimum değerleri ele alınarak güç, akım ve voltaj değerlerinin karşılaştırması verilmiştir. Değerler incelendiğinde MPPT'li sistemin voltaj değerinin ve akım değerinin MPPT'siz sistemden elde edilen voltaj ve akım değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Böylece elde edilen maksimum güç değeride MPPT'li sistemde %19,39'luk güç üretim kazancı sağlanmıştır. Sistemlerde çok sayıda fotovoltaik panel olduğundan toplam enerji üretimide buna bağlı olarak artacaktır. Çalışma sonuçları incelendiğinde akım, voltaj ve güç değerlerinde MPPT kullanılarak yapılan çalışmanın MPPT kullanmadan yapılan çalışmaya göre daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. MPPT kullanılarak maksimum gücün elde edildiği ve bu elde edilecek veriminde daha yüksek olduğu değerlere bakılarak anlaşılmaktadır. Elde edilen verilerden MPPT'nin kısmi gölgeleme altında çok daha gelişmiş ve daha iyi performansa sahip olduğu çıkarılmaktadır.

Tablo 3. MPPT'li ve MPPT'siz verilerin karşılaştırması

Parametreler	MPPT Kullanarak	MPPT Kullanmadan	Fark	Kazanç	MPPT Kullanarak % Verim	MPPT Kullanmadan % Verim
Voltaj	48 V	47 V	1	%2,12	96,00	94,00
Akım	4,3 A	3,7 A	1,9 A	%16,21	89,58	77,08
Güç	206 W	174 W	32 W	%19,39	85,83	72,50

MPPT yönteminin verim artışında büyük avantajı olduğu gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır. İçerik olarak daha komplex ve karmaşık bir yapıya sahip olmasında dolayı maliyeti yüksek bir yöntemdir. MPPT yöntemi anlık değişen hava durumuna hızlı tepki veremeyebilir ve enerjide verim kaybı gerçekleşebilir. Bunların dışında aktif olarak MPPT yöntemini kullanan cihazlarda aşırı ısınma gerçekleşebilir ve bu yüzden cihaz ömrü kısalabilmektedir. Fakat bu dezavantajlara rağmen bu çalışma incelendiğinde güneş panellerinden elde edilecek verim artışının MPPT yöntemi kullanarak olduğu görülmektedir ve MPPT yöntemini kullanmanın avantajı dezavantajından daha fazladır.

5.Sonuç

Kısmi gölge koşullarında güneş panellerinde sistem verimliliğini artırmak için bu projede Maksimum Güç Noktası Takibi tekniği olan Bulanık Mantık kontrolcüsü kullanılmıştır. Çalışma sırasında normal bir PWM dönüştürücü, girişteki değişiklikleri tespit etme yeteneğine veya devresine sahip olmadığı görülmüş ve dolayısıyla bu değişikliklere tepki vermemiştir. Maksimum Güç Noktası Takibi tekniğini kullanan DC/DC dönüştürücüler bu sorunlara mümkün olan en iyi sonuçları vermiştir. Sonuç olarak MPPT tekniklerinin kısmi gölgeleme gibi zorlu çevre koşulları altında güneş panellerinden daha fazla güç elde ettiği ve performansı arttırdığı görülmüştür.

6.Öneriler

Maksimum güç transferi teknikleri daha karmaşık devre ve bilgi işlem gücü gerektirir. Tüm bu faktörler sistem maliyetlerini artırmaktadır. Eğer sistemin daha iyi bir verim ve performansa sahip olması isteniyorsa maliyet gözden çıkarılmalıdır. Fakat sistemin maliyeti ve performansı arasında ödün verilebilir. Sistemin uygun olması, maliyetinin düşük olması ve karmaşık olmaması isteniyorsa Bulanık Mantık ve Maksimum Güç Transferi teknikleri tercih edilmemelidir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

Abdulmawjood K., Alsadi SY., Refaat SS., Morsi WG. Characteristic study of solar photovoltaic array under different partial shading conditions. IEEE Access 2022; 10: 6856-6866.

Aberle AG., Peters M., Guo S., Walsh TM. Analysing partial shading of PV modules by circuit modelling. 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference 03-08 June 2012; Austin TX, USA 002957-00296.

Aktaş E., Araz M., Atay O., Bıyık E., Hepbaşlı A., Genç Y. Fotovoltaik (PV) sistemlerin tasarımı için bütünleşik bir metodolojinin geliştirilmesi ve bir uygulama. TESKON Termodinamik Sempozyumu 19-22 Nisan 2017, İzmir; 1300-1312.

Altıntaş N., Yılmaz A., Demirci A., Tercan SM. Bataryalı PV sistemlerde maksimum güç noktası takip yöntemlerinin karşılaştırılması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 2021; 21: 369-377.

Ayaz E., Hocaoğlu FO. Afyonkarahisar bölgesinde tesis edilen gerçek bir güneş enerjisi sisteminde gölge analizi yapılması. Şırnak Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2019; 1(1): 41-57.

Bouraiou A., Bouchafaa F., Dabou R., Mostefaoui M., Neçaibia A., Rouabhia A., Sahouane N., Ziane A. Impact of partial shading and PV array power on the performance of grid connected PV station. 18th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA) 21-23 December 2017, Monastir, Tunisia; 476-481.

Boztepe M. Fotovoltaik güç sistemlerinde verimliliği etkileyen parametreler. IV. İzmir Enerji Verimliliği Günleri Konferansı Şubat 2017, İzmir.

Chin CS., Chin YK., Chua BL., Kiring A., Teo KT. Fuzzy logic based MPPT for PV array under partially shaded conditions. 2012 International Conference on Advanced Computer Science Applications and Technologies (ACSAT) 26-28 November 2012, Kuala Lumpur, Malaysia; 133-138.

Çıkan M. Çita optimizasyon algoritması kullanarak kısmi gölgelenme altındaki fotovoltaik sistemlerde maksimum güç noktası izleyicisinin tasarlanması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 2024; 40(1): 555-572.

Choudhury S., Rout PK. Adaptive fuzzy logic based MPPT control for PV system under partial shading condition, International Journal of Renewable Energy Research 2015; 5(4): 1252-1263.

Gümüş Z., Demirtaş M. Fotovoltaik sistemlerde maksimum güç noktası takibinde kullanılan algoritmaların kısmi gölgeleme koşulları altında karşılaştırılması. Politeknik Dergisi 2021; 24(3): 853-865.

Gürkan E., Güner A. FV sistemlerde kısmi gölgeleme koşullarında maksimum güç noktası takibi için metasezgisel algoritmaların karşılaştırmalı performans analizi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2024; 1-16.

Karanfil A. Kısmi gölgelenme durumundaki seri bağlı fotovoltaik (FV) panellerde bypass diyotunun kullanılmasının sistem gücü üzerine etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi 2021; 23(68): 621-630.

Karakaya H., Şen İE. Fotovoltaik panellerde verim iyileştirme yöntemleri. 7 th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 2019; 2(3): 1179-1188.

Khan UU., Raheem M., Ata S., Khan ZH. Design and implementation of a low-cost MPPT controller for solar PV system. 2016 International Conference on Open-Source Systems and Technologies (ICOSST) 15-17 December 2016, Lahore, Pakistan; 156-163.

Kumar R., Kumar B., Swaroop D. Fuzzy logic based improved P&O MPPT technique for partial shading conditions, 2018 International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON) 28-29 September 2018, Greater Noida; 775-779.

Mäki A., Valkealahti S. Power losses in long string and parallel-connected short strings of series-connected silicon-based photovoltaic modules due to partial shading conditions, IEEE Transactions on Energy Conversion 2011; 27(1): 173-183.

Megantoro P., Nugroho YD., Anggara F., Suhono Rusadi EY. Simulation and characterization of genetic algorithm implemented on MPPT for PV system under partial shading condition, 2018 3rd International Conference on Information Technology, Information System and Electrical Engineering (ICITISEE) 13-14 November 2018, Yogyakarta, Indonesia; 74-78.

Mirza A., Ling Q., Javed M., Mansoor M. Novel MPPT techniques for photovoltaic systems under uniform irradiance and partial shading. Solar Energy 2019; 184(3): 628-648.

Naick BK., Chatterjee K. Fuzzy logic controller based maximum power point tracking technique for different configurations of partially shaded photovoltaic system. Archives of Electrical Engineering 2018; 67(2): 307-320.

Öztürk C. Güneş enerji sistemlerinde verim analizi ve enerji kayıplarının tespiti. Hasan Kalyoncu Üniversitesi 2020; 1-69.

Pamuk N. Performance analysis of different optimization algorithms for MPPT control techniques under complex partial shading conditions in PV systems. Energies 2023; 16(8): 3358.

Patel H., Agarwal V. MATLAB-based modeling to study the effects of partial shading on PV array characteristics. IEEE Transactions on Energy Conversion 2008; 23(1): 302-310.

Rahul I., Hariharan R. Enhancement of solar PV panel efficiency using double ıntegral sliding mode MPPT control. Tsinghua Science and Technology 2023; 29(1): 271-283.

Saral Y. Fotovoltaik panel verimliliği ve maksimum güç noktası izleme. Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi 2023; 18(67): 1-25.

Şenpınar A., Gençoğlu MT. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel açıdan karşılaştırılması. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları 2006; 4(2): 49-54.

Shahariar K., Bansal R., Nadarajah M. Effects of partial shading on photovoltaic with advanced MPPT scheme. Power and Energy (PECon),2012 IEEE International Conference 02-05 December 2012 Kota Kinabalu, Malaysia; 354-359.

Tan WH., Mohamad-Saleh J. Critical review on ınterrelationship of electro-devices in PV solar systems with their evolution and future prospects for MPPT applications. Energies 2023; 16(2): 850.

Yılmaz M. Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi. Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi 2012; 4(2): 33-54.

Yilmaz U., Kircay A., Borekci S. PV system fuzzy logic MPPT method and PI control as a charge controller. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2018; 81(1): 994-100.

Zheng H., Li S. Design of bypass diodes in improving energy extraction of solar PV systems under uneven shading conditions. 2014 IEEE PES T&D Conference and Exposition 14-17 April 2014, Chicago, IL, USA; 1-5.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1278-1300, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1278-1300, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Metakaolin ile Stabilize Edilen Yol Taban Zeminlerinin Donma-Çözülme Direncinin Araştırılması

Tacettin GEÇKİL[1], Talha SARICI[2], Bahadır KARABAŞ[3*]

[1,2,3]İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 44280, Malatya, Türkiye

[1]https://orcid.org/0000-0001-8070-6836
[2]https://orcid.org/0000-0001-8488-5851
[3]https://orcid.org/0000-0003-0416-9121
*Sorumlu yazar: karabasbaha@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 11.09.2024
Kabul tarihi: 11.02.2025
Online Yayınlanma:16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Kil
Kum
Stabilizasyon
Donma-çözülme
Metakaolin
Ulaştırma geotekniği

ÖZ

Farklı iklim koşullarında inşa edilen yapıların, tabiat şartlarına dirençli tasarlanması mühendislik açısından önemli bir gerekliliktir. Özellikle karayollarının yol taban zeminlerinin dayanımının arttırılması amacıyla kullanılan stabilizatör malzemelerin, iklimsel nedenlerle meydana gelen donma ve çözülmeye karşı direnç arttırıcı olması önemli bir tercih nedenidir. Bu çalışmada, yol tabanı olarak değerlendirilen killi ve kumlu iki farklı zeminin metakaolin (MK) ile stabilize edilmesi ve bu stabilizasyonların donma-çözülme direncinin yapılan deneylerle araştırılmasına odaklanılmıştır. Çalışma kapsamında, killi ve kumlu zeminlerle hazırlanan katkısız ve farklı oranlarda MK ilave edilmiş numunelere, standart Proktor deneyi ve 7 gün kür sonrası serbest basınç deneyi uygulanmıştır. MK ilavesinin numunelerin dayanımını arttırdığı ve en yüksek dayanımların killi zemin için %6 MK, kumlu zemin için ise %12 MK içeren karışımlarda sağlandığı belirlenmiştir. Ardından, MK ile yapılan stabilizasyonun donma-çözülme direncinin belirlenmesi maksadıyla, katkısız ve optimum MK oranları içeren numuneler hazırlanmıştır. 7 günlük kür süresini tamamlayan bu numunelere 3, 6 ve 12 döngü uygulanmıştır. Her bir döngüde numuneler, 24 saat boyunca -23 °C'de dondurulmuş, ardından 23 ± 2 °C'de 23 saat çözülmeye bırakılmıştır. Daha sonra kıyaslamada 7 gün kür süresi sonrası elde edilen serbest basınç mukavemeti değerleri (0 döngü) kullanılmıştır. Yapılan deneyler ve kıyaslamalar neticesinde %12 MK ve %6 MK'lı numunelerde serbest basınç dayanımının artış oranı sırasıyla 2,58 ve 1,57 kat olarak belirlenmiştir. Donma-çözülme deneyi neticesinde, en büyük serbest basınç dayanım kaybının ve ağırlık kaybının 12 döngü sonrası tespit edilmiştir. Serbest basınç dayanım kaybının ve ağırlık kaybının; kumlu zeminde sırasıyla %88,80 ve %2,05 belirlenmişken, %12 MK'lı numunede sırasıyla %69,40 ve %1,23'e gerilediği belirlenmiştir. Killi zeminde ise sırasıyla %78 ve %1,47 belirlenmişken, %6 MK'lı numunede sırasıyla %67 ve %0,98'e gerilediği belirlenmiştir. Sonuç olarak, her iki zeminin MK ilavesi ile serbest basınç dayanımının ve donma-çözülme direncinin arttığı, metakaolinin etkin bir stabilizasyon malzemesi olabileceği ve özellikle donma-çözülmeye maruz farklı iklim koşullarında tercih edilmesinin uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Investigation of the Freeze-Thaw Resistance of Road Subgrade Soils Stabilized Using Metakaolin

Research Article

ABSTRACT

Article History:
Received: 11.09.2024
Accepted: 11.02.2025
Published online:16.06.2025

Keywords:
Clayey soil
Sandy soil
Stabilization
Freeze-thaw
Metakaolin
Transportation geotechnics

Designing structures planned for different climatic conditions to be resistant to natural conditions is one of the important engineering requirements. For highways, the selection of stabilizer materials that are resistant to climatic freeze-thaw cycles is an important consideration in enhancing the strength of road subgrades. In this study, the stabilization of two different soils, considered as road subgrades, with metakaolin (MK) and the freeze-thaw resistance of these stabilized soils were investigated. Samples without additives and with different proportions of MK were prepared using clayey and sandy soils. A standard Proctor test was applied to these samples. Subsequently, unconfined compression tests were conducted on the prepared samples (both with and without additives) after a 7-day curing period. It was observed that the strength increased in the prepared mixtures, and the highest strengths were obtained in mixtures containing 6% MK for clayey soils and 12% MK for sandy soils. Then, based on the samples without additives and those with the optimum MK ratios, soil samples were prepared for the freeze-thaw test application. The samples that completed the 7-day curing period were subjected to 3, 6, and 12 freeze-thaw cycles. Each cycle consisted of freezing the samples for 24 hours at -23°C in a freeze-thaw cabinet, followed by thawing for 23 hours at 23 ± 2°C. The unconfined compressive strength values obtained after the 7-day curing period (0 cycles) were used for comparison. As a result of the experiments and comparisons, the unconfined compressive strength (UCS) increase ratios for the samples containing 12% MK and 6% MK were determined to be 2.58 and 1.57 times, respectively. The freeze-thaw test revealed that the greatest losses in UCS and weight occurred after 12 cycles. For sandy soil, UCS and weight losses were found to be 88.80% and 2.05%, respectively, whereas these values decreased to 69.40% and 1.23% for the 12% MK-stabilized sample. Similarly, for clayey soil, UCS and weight losses were determined to be 78% and 1.47%, respectively, while these values dropped to 67% and 0.98% for the 6% MK-stabilized sample. In conclusion, the addition of MK enhanced both the UCS and freeze-thaw resistance of the soils. Based on the experimental results, metakaolin is considered an effective stabilization material and is particularly suitable for use in regions subjected to freeze-thaw conditions in different climatic settings.

To Cite: Geçkil T., Sarıcı T., Karabaş B. Metakaolin ile Stabilize Edilen Yol Taban Zeminlerinin Donma-Çözülme Direncinin Araştırılması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1278-1300.

1. Giriş

Dünya üzerinde tasarlanan mühendislik yapıları, farklı özellikler gösteren iklim koşulları altında, niteliklerini koruyarak hizmet verebilecek özellikte, tabiat şartlarına dirençli olarak projelendirilmektedir. Benzer şekilde karayollarının tasarlandığı mahallerde ise topoğrafya, iklim, hidrolik şartlar ve zemin özellikleri, tasarımın güvenli ve ekonomik olarak hayata geçirilmesi için önemli kriterler arasındadır. Ülkemizde iklim koşulları 320 adet meteorolojik istasyon tarafından istatistiksel olarak takip edilmektedir. Özellikle hava sıcaklığının don olayına neden olacak kadar düşük olduğu bölgelerde, zemin cinsine bağlı olarak zemin taneleri arasında merceksi şekilde donan su, yol tabanında kabarmaya neden olur. Buzların erimeye başladığı zamanlarda ise taban zeminini boşluklu ve yumuşak bir yapıya dönüştürerek, bir dış yük olmadan büzülmeye, zemin taşıma gücünün azalmasına ve yol yapısının bozulmasına neden olmaktadır. Bu durum, yolun servis kabiliyetini azaltarak tasarlanan proje ömrünün (üstyapı proje süresi) erken dolmasına ve bakım-onarım ihtiyacına sebep olmaktadır. Don etkisine karşı üstyapı taban zeminlerini korumaya yönelik yöntemler arasında; yer altı sularının drenajı ile yer altı su seviyesinin tesviye yüzeyinden 150 cm aşağıda tutulması, dona hassas olamayan

zemin ile taban zeminin değiştirilmesi ve taban zeminin çimento, kireç vb. katkı malzemelerle stabilize edilmesi yer almaktadır. Zemin stabilizasyonu hem düşük taşıma gücüne sahip zeminlerin iyileştirilmesi hem de zeminlerin donma çözülme direncinin arttırılmasına yönelik bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer taraftan taşıma gücü zayıf zeminlere sahip yol tabanlarında stabilizasyon gerektiren durumlarda, seçilen stabilizatör malzemelerinin hem taşıma gücünü attırması hem de donma ve çözülmeye karşı dirençli olması elzem olarak arzu edilen bir durumdur (Tunç, 2002; Karayolları Esnek Üstyapıları Projelendirme Rehberi, 2008; Uzuner, 2016).

Günümüzde stabilizasyon uygulamalarında çeşitli katkı malzemelerinin kullanımı ve üstyapı kaplama türlerine etkilerinin araştırılmasının (Sarıcı, 2014; Demir ve Sarıcı, 2017; Geçkil ve ark., 2021a; Geçkil ve ark., 2021b; Ok ve ark., 2021; Sarıcı ve ark., 2022) yanı sıra donma çözülme direnci de araştırılmaktadır. Soğancı ve Yıldız (2011), iki farklı killi zemine kireç karıştırılarak serbest basınç, donma-çözülme ve permeabilite deneyleri uygulamışlardır. Her iki zemin cinsinde optimum karışım oranın %6 olarak tespit etmişler, serbest basınç dayanımın yüksek plastisiteli killi zeminde 15 kat, düşük plastisiteli killi zeminde 3 kat arttığını belirlemişlerdir. Ayrıca, donma- çözülme döngülerinin artması ile puzolanik aktivitenin azaldığını ve permeabilitenin arttığını belirtmişlerdir. Yarbaşı (2016), kil bir zemini değişik boyutlarda (1,18 mm; 2 mm; 3,15 mm) atık lastik ile iyileştirmeye çalışmıştır. En iyi mukavemet artışının %0,5 oranında atık lastik (1,18 mm ebatında) ilaveli karışımda %35,3 olduğunu, ancak donma-çözülme deneyinde 12 döngü sonrası mukavemetin azaldığını tespit etmiştir. Orakoğlu ve Liu (2017), killi zemini cam ve bazalt lifi ile takviye ederek dayanımlarını ve donma-çözülme döngüleri sonrası dayanımlarını araştırmışlardır. Yapılan deneyler neticesinde donma-çözülme döngülerinin sayısı arttıkça hem donatısız hem de lif takviyeli numunelerin dayanımının azaldığı, lifsiz numunelerde dayanımın daha fazla azaldığını belirlemişlerdir. Ding ve ark. (2018), kil bir zemini çimento ve polipropilen lif ile stabilizasyonun donma-çözülme döngüleri sonrası mekanik özelliklere etkisini araştırmışlardır. Deneyler sonucunda, artan çimento ve lif içeriği ile serbest basınç dayanımının arttığını ve 5 donma-çözülme döngüsünden sonra direncinin daha da arttığını belirlemişlerdir. Saygılı ve Dayan (2019), kil bir zeminin silis dumanı, kireç ve polipropilen lif katkısının dayanıma ve donma-çözülme davranışına etkisini araştırmışlardır. Yapılan deneyler neticesine 28 gün küre tabi tutulan numunelerde en iyi dayanımın ve 2, 5, 8 döngü sonraki donma-çözülme direncinin %0,25 polipropilen lif+%5 kireç+%10 silis dumanı içeren karışımdan elde edildiğini belirlemişlerdir. Yılmaz (2020), düşük plastisiteli killi bir zeminin uçucu kül ve mermer tozu atıklarını zemin stabilizasyonu ve donma-çözülme direncine yönelik bir dizi çalışma yapmıştır. %25 uçucu kül ve %10 mermer tozu karışımında en iyi dayanım artışının sağlandığı ve donma-çözülme direncinin arttığını tespit etmiştir. Yarbaşı (2020), killi zemine %0,5; %1, %1,5 ve %2 keçi kılı lifleri ilave ederek mekanik özelliklerinin iyileştirilmesini ve donma çözülme direncinin arttırılması amaçlamıştır. En iyi artışın 28 günlük kür sonunda %1,5 keçi kılı lifinden elde edildiği, bu katkı sayesinde donma-çözülme öncesi ve sonrası direncini artırdığı belirlenmiştir. Bağrıaçık ve ark. (2021), enjekte edildiği zemin içerisinde $CaCO_3$ üreterek iyileşme sağlayan Bacillus Sp.'nin, yüksek plastisiteli kil (CH) ve kumlu kil (SC) gibi iki farklı zemin türünde

donma çözülme döngüleri altında mukavemet davranışları araştırmışlardır. Sonuçlara göre, Bacillus Sp.'nin CH ve SC türü zeminlerde, mukavemet ve şişme basıncı parametrelerinin iyileştirilmesinde olumlu yönde katkısı olduğunu tespit etmişlerdir. Ok ve Bağrıaçık (2022), killi bir zemini biyopolimer grubunda olan guar gum (GG) (%1, %2 ve %3) kullanarak stabilize edilmesinin mekanik özellikler ve donma çözülme üzerindeki direncini araştırmışlardır. GG'nin, kil zemin üzerinde donma-çözülme direnci, şişme basıncına etkisi ve serbest basınç mukavemetine olumlu etkisinin olduğu ve alternatif bir malzeme olarak kullanılabileceğini öngörmüşlerdir. Bozyiğit ve ark. (2023), kaolin kilinin ksantan guam (KG), guar guam (GG) ve anyonik poliakrilamid (PAM) ile stabilizasyonun, mukavemet özelliklerine ve donma-çözülme direncini etkisini araştırmışlardır. Araştırmalar neticesinde 4, 14 ve 28 günlük kür neticesinde, KG, GG ve PAM'lı karışımlarda saf kile göre sırayla en iyi artış oranlarını 6, 8 ve 3,5 kat olarak belirlemişlerdir. Ayrıca, söz konusu polimerlerin donma-çözülme direncini arttırdığını, en iyi direncin anyonik polimerde olduğunu tespit etmişlerdir. Karainli ve Saygılı (2024), kohezyonlu kil numuneleri geotekstil takviyesi sağlayarak donma-çözülme direncini araştırmışlardır. Laboratuvar çalışmaları sonucunda, geotekstil donatılı numunelerin donatısız kontrol numunelere göre daha yüksek donma-çözünme dayanımına sahip olduğu, dokuz donma çözünme döngüsünden sonra, serbest basınç dayanımındaki kaybın, kontrol numunelerine kıyasla %25'ten %14'e indiğini tespit etmişlerdir. Nan ve ark. (2024) iklimsel nedenlerle donma çözülme döngülerine sürekli maruz kalan Kuzeybatı Çin'deki tuzlu killi zeminin kireçle yapılan stabilizasyonun donma-çözülme direncini araştırmışlardır. Yapılan çalışma neticesinde bulunan sonuçlar stabilize edilmiş tuzlu toprağın gözenek boyutu dağılımı, donma-çözülme döngüleri ile ilişkilendirilerek, dayanım kaybıyla gözenek boyutu dağılımı ile ilişkisini ortaya koymuşlardır. Balkış ve İlman (2024), killi zeminin mermer tozu ile stabilizasyonunun serbest basınç dayanımı ve donma-çözülme direnci üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Yapılan deneyler neticesinde %5-%20 oranlarında kullanılan mermer tozunun donma-çözülme döngüleri sonrasında tane kaybını ve serbest basınç dayanımını azalttığını belirlemişlerdir.

Kaolin kilinin saflaştırılmasıyla elde edilen metakaolinin, stabilizasyon ve donma-çözülme direncinin incelenmesine yönelik çalışmalarda kullanıldığı ve zemin dayanımını ve donma-çözülme direncini artırdığı görülmüştür (Aygörmez ve ark., 2020; Kumar ve ark., 2020; Liang ve ark., 2021; Li ve ark., 2023; Wang ve ark., 2023; Xukun ve ark., 2024). Kumar ve ark. (2020), Hindistanın Nilgiris bölgesinden alınan kil içeriği yüksek zemin üzerinde, metakaolin ve lif katkıları ile yapılan stabilizasyonun donma çözülme direncini araştırmışlardır. Yapılan donma-çözülme döngüleri ile karışımların mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. Çalışmalar neticesinde, eklenen katkı maddelerinin döngülerden sonra zeminin donma-çözülme reaksiyonuna karşı direncini artırdığı belirlemişlerdir. Aygörmez ve ark. (2020) %20'ye kadar silis dumanı ve kolemanit atığı ikame edilerek üretilen metakaolin esaslı geopolimer numunelerini 56 ve 300 çevrim donma-çözülme etkisine tabi tutmuşlardır. Numunelerin dayanımda 56 döngüden sonra bir artış görüldüğünü, 300 döngüden sonra ise azalma meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Deneyler neticesinde metakaolinli karışımların donma çözülme direncini arttırdığını belirlemişlerdir. Liang ve ark. (2021), pirinç kabuğu külü (RHA) ve silika dumanı (SF) ilaveli

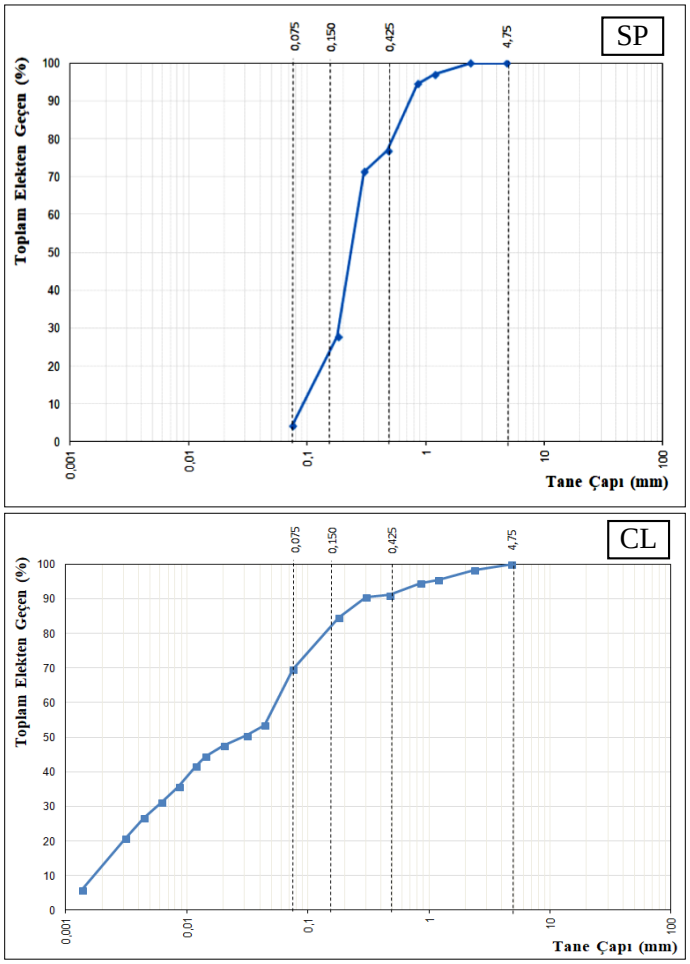
metakaolinli geopolimer karışımların, mekanik özelliklerini ve donma çözülme direncini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında hazırlanan karışımlara, RHA ve SF'nin dahil edilmesiyle potansiyel doldurma etkisiyle gözenek yapılarının azaldığını tespit etmişlerdir. Bu durumun hem RHA hem de SF kullanılarak hazırlanan metakaolinli karışımların mekanik özelliklerini ve donma-çözülme direncini arttırdığını belirlemişlerdir. Li ve ark. (2023), siltli kum bir zemini kireç-metakaolin ve doğal kireç kullanarak, mukavemet ve donma çözülme direncinin arttırılmasına yönelik çalışmalar yapmışlardır. Yapılan 0, 5, 10, 15 donma çözülme döngüleri sonrasında %8 kireç ve %4 metakaolin içeren karışımların, %10 doğal kireç içeren karışımlara göre daha iyi sonuçlar verdiği ve metakaolin ilavesinin donma çözülme direncini arttırdığını belirlemişlerdir. Wang ve ark. (2023), bakırla kirletilmiş killi bir zeminin kalsiyum karbür (KK) kalıntısı, metakaolin (MK) ve kükürt giderme alçısından (DG) oluşan yeni bir bağlayıcı malzeme ile stabilizasyonuna ve donma çözülme direncine yönelik bir dizi deneyler yapmışlardır. Yapılan 2, 4, 6, 8, 10 ve 12 donma çözülme döngüsü neticesinde içinde MK bulunan stabilizatörün miktarı arttıkça donma çözülme direncinin arttığını belirlemişlerdir. Bu araştırma kapsamında yapılan literatür incelemesi neticesinde; kumlu ve killi yol tabanı olarak değerlendirilen iki farklı zeminin metakaolin (MK) ile stabilizasyonu ve yapılan stabilizasyonların donma-çözülme direncinin karşılaştırılmasına odaklanan bu çalışmanın literatürdeki nadir çalışmalardan biri olabileceği değerlendirilmiştir. Bu amaçla killi ve kumlu zeminlerle hazırlanan, katkısız ve farklı oranlardaki MK ilaveli numunelere standart proktor deneyi uygulanmıştır. Ardından hazırlanan katkısız ve katkılı serbest basınç deneyi örneklerine 7 gün kür sonrası serbest basınç deneyi yapılmıştır. Akabinde, katkısız ve belirlenen optimum MK oranları esas alınarak donma-çözülme deneyinin uygulamasında kullanılacak zemin numuneleri hazırlanmıştır. 7 günlük kür süresini tamamlayan örneklere 3, 6, 12 döngü uygulanmıştır. Uygulanan 1 döngü, hazırlanan numunelerin 24 saat – 23 °C'de donma-çözülme kabininde dondurulması, daha sonra 23 saat boyunca 23 ± 2 °C'de çözülme şeklinde tatbik edilmiştir. Donma-çözülme direncini kıyaslamak için 7 gün kür süresi sonrası elde edilen serbest basınç mukavemeti değerleri (0 döngü) kullanılmıştır. Daha sonra dayanım ve ağırlık kayıpları belirlenerek değerlendirmeler yapılmıştır.

2. Malzeme ve Yöntem

2.1. Zemin Numuneleri

Çalışma kapsamında kullanılan zemin örnekleri Malatya ilinde Yazıhan İlçesi Eğribük Mahallesi (kumlu zemin Z1) ve İnönü Üniversitesi kampüsünden (killi zemin Z2) temin edilmiştir. Zemin özelliklerini tespit için ASTM D422-63 (2007) ve ASTM C136/C136M (2019)'a göre elek analizi ile hidrometre deneyi yapılmıştır. Akabinde, ASTM D4318 (2017)'e göre zemin örneğinin kıvam limitleri belirlenmiş ve ASTM D854 (2006) standardına göre özgül ağırlığın tespiti için piknometre deneyi gerçekleştirilmiştir. Ardından, zeminin maksimum kuru yoğunluk (ρ_{kmax}) ve optimum su içeriği (ω_{opt}) ASTM D698 (2014) esaslarında Standart proktor deneyi ile tespit edilmiştir. Uygulanan deneyler sonucunda araştırılan zeminlerinin kötü derecelenmiş kum (SP) ve düşük plastisiteli kil (CL) olduğu

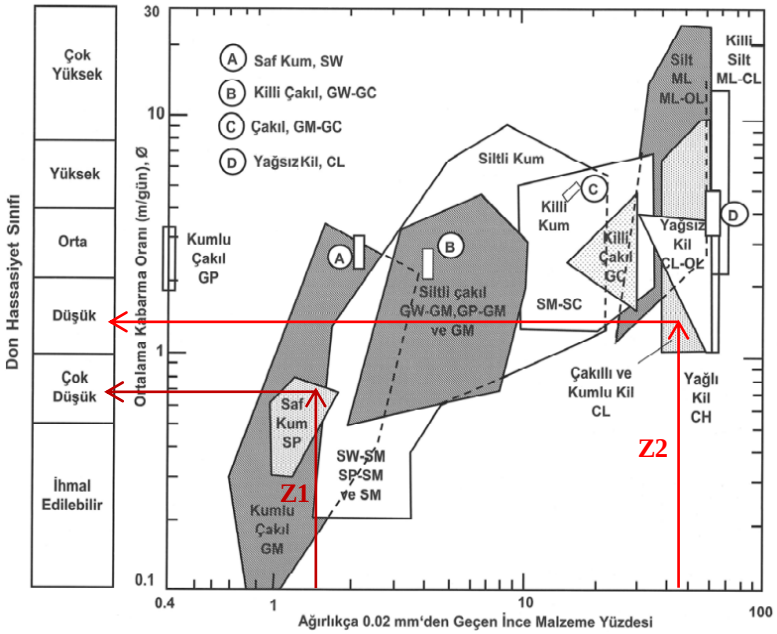
tespit edilmiştir. Zeminlerinin dane çapı dağılım eğrisi Şekil 1'de verilmiştir. Tablo 1'de deneyler ile belirlenen zemin özellikleri görülmektedir. Ayrıca, zemin örneklerinin don hassasiyet sınıfı Şekil 2 kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Zeminlerinin dane çapı dağılım eğrileri

Tablo 1. Zeminlerin özellikleri

Değişkenin Adı	Simge	Birim	Kum Zemin İçin Değerler	Kil Zemin İçin Değerler	Standartlar
Maksimum kuru yoğunluk	ρ_{kmax}	g/cm^3	1,685	1,752	ASTM D698
Tane yoğunluğu	ρ_s	g/cm^3	2,669	2,720	ASTM D854
Likit limit	ω_L	%	-	30,58	ASTM D4318
Plastik limit	ω_p	%	-	18,70	ASTM D4318
Plastisite İndisi	PI	%	NP	11,88	ASTM D4318
Optimum su içeriği	ω_{opt}	%	18,5	18,10	ASTM D698
Don Hassasiyet Sınıfı	-		Çok Düşük	Düşük	AASHTO
Sınıflandırma (Birleştirilmiş Zemin Sınıfı)	-	-	SP	CL	ASTM D2487
Numune Adı	-	-	Z1	Z2	-



Şekil 2. Zemin don hassasiyet duyarlığı ve don kabarma grafiği (AASHTO, 1993)

2.2. Metakaolin

Metakaolinin genel kimyasal bileşimi $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ şeklindedir ve kaolin kilinin saflaştırılmasıyla elde edilmektedir. Ayrıca amorf bir yapıya sahiptir ve beyaz renklidir. Üretim sürecinde, kil mineralleri yaklaşık 100-200°C sıcaklıkta içeriğinde bulunan suyu kaybeder. Kaolin kilinin suyunu kaybettiği dehidrolizasyon sıcaklığı ise 500°C ve 800°C arasındadır. Dehidrolizasyon ardından oluşan sıcaklıkta, kaolinit yapısını korur ve meydana gelen bu ürüne metakaolin denir. Metakaolinin temel bileşenleri SiO_2 ve Al_2O_3'tür. Bunun yanı sıra, Fe_2O_3, Na_2O ve K_2O gibi elementler az miktarda bulunur. Metakaolinin katkı malzemesi olarak kullanılması, özellikle SiO_2 ve Al_2O_3 içeriğine dayanmaktadır. Metakaolinin genellikle amorf veya az kristalli SiO_2 gibi bileşikleri daha çok ticari amaçlar için kullanılan ürünlerde yer almaktadır (Nebioğulları, 2010; Karahan, 2011). Çalışma kapsamında kullanılan metakaolinin kimyasal yapısı %56,68 SiO_2, %43,11 Al_2O_3, %1,38 Fe_2O_3, %0,30 CaO, %0,30 MgO, %0,0006 SO_3, %0,30 K_2O, %0,62 Na_2O, %0,62 Kızdırma Kaybı (KK) olarak özetlenebilir. Metakaolin'in numune örneği ise Şekil 3'de gösterilmiştir.

Şekil 3. Metakaolin numunesi görüntüsü

2.3. Standart Proktor Deneyi

Standart proktor deneyi, su ile mekanik gereçler kullanılmasıyla havanın atılarak zemin numunesinin maksimum kuru yoğunluk ve optimum su içeriğinin belirlenmesine dayanır. Söz konusu deney ASTM

D698 (2014) standardına uygun olarak gerçekleştirilir. Kullanılan kalıp boyutları 105 mm çapında 115,5 mm yüksekliğindedir. Deneyde 105 °C'de 24 saat kurutulan örnek kullanılmalıdır. İstenen su oranlarıyla yoğrulan örnekler kalıba yerleştirilir. 2,5 kg ağırlığındaki tokmak ile vurularak (25 defa) sıkıştırılma işlemi gerçekleştirilir. 3 aşamada serilme süreci yapılır, son katmandan sonra üstü düzeltilir ve ağırlığı belirlenir. Bu aşamalar, değişik oranlarda su içeriklerinde 5 kez tekrarlanır ve her birinde su içeriği ile kuru birim hacim ağırlığı hesaplanır. Belirlenen veriler doğrultusunda doygunluk eğrisi oluşturulur ve maksimum kuru yoğunluk ile optimum su içeriği belirlenir (Yılmaz ve ark., 2017).

2.4. Serbest Basınç Deneyi

Serbest basınç deneyi, hazırlanan numunelere belirli kür sürelerinin ardından dayanımlarının belirlenmesi amacıyla ASTM D2166-06 (2006) standardına uygun olarak gerçekleştirilir. Uygulama esnasında, zemin numunesi etüvde 24 saat boyunca 105°C'de kurutulur. Kullanılacak kalıbın boyutları (çap 38 mm ve boy 76 mm) deney başlamadan önce ölçülerek kontrol edilir. Önceden hesaplanan miktarlarda su ilave edilerek hazırlanan örnekler, kalıba 4 aşamada serilir. Her tabakadan sonra çekiçle 10 defa vurularak sıkıştırılır. Sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra numune kalıptan çıkarılır. Numuneler, belirlenen kür süresince oda sıcaklığında bekletilir ve kür süresi sonrası örnekler cihaza yerleştirilir. Birim boy kısalması %0,5 ve %2 arasında (dakikada) olmalıdır. Deney süresi 10 dakikayı geçmemelidir. Deney sonrasında şekil değişimleri ve deformasyonlar gözlemlenerek numunelerin dayanım değerleri belirlenir (Orhan ve ark., 2013).

2.5. Donma- Çözülme Deneyi

Donma-çözülme deneyi; zemin daneleri boşluklarında bulunan suyun ortam sıcaklığının donma noktasının altına düşmesi sonucu donması, sıcaklığın sıfır derecenin üstüne ulaştığı zaman buzun suya dönüşmesi sonucu meydana gelen donma-çözülme döngüsünün tekrar tekrar meydana gelmesi durumunun, zemin üzerindeki etkisinin incelemesi amacıyla yapılmaktadır. Söz konusu deney ASTM D560/D560M-16 (2016) standardında belirtilen hususlar dikkate alınarak yapılmaktadır. Deneyin uygulamasında kullanılacak zemin numuneleri serbest basınç deneyindeki numune hazırlama esasları göz önüne alınarak hazırlanır. 7 günlük kür süresini tamamlayan örnekler, 24 saat boyunca – 23 °C'de donma-çözülme kabininde dondurulmuş, daha sonra 23 saat boyunca 23 ± 2 °C'de çözülmeye maruz bırakılmaktadır. (Bu süreç 1 donma-çözülme döngüsüdür). Belirlenen döngü sayısını tamamlayan numunelerin donma-çözülme sonrası dayanımlarının tespit edilmesiyle deney tamamlanır (Karayolları Genel Müdürlüğü [KGM], 2013; ASTM D560/D560M-16, 2016).

2.6. Numunelerin Hazırlanması ve Uygulamalar

Bu çalışmamızda, öncelikle katkısız ve katkılı zemin numunelerinin maksimum kuru yoğunluk ile optimum su içeriğinin belirlenmesi maksadıyla standart proktor deneyi yapılmıştır. Standart proktor deneyinde katkılı zemin numuneleri, Z1 zeminine ağırlıkça %3, %6, %9, %12, %15 MK ve Z2 zeminine

ağırlıkça %3, %6, %9, %12 MK ilave edilerek hazırlanmıştır. Ardından, standart proktor deneyinde tespit edilen maksimum kuru yoğunluk ile optimum su içerikleri kullanılarak, katkısız ve MK katkılı serbest basınç deneyi numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler dış ortamdan muhafazalı olarak 7 gün kür süresi ardından, serbest basınç deneyi uygulanarak, MK'nın Z1 ve Z2 zemini üzerindeki stabilizasyon etkisi belirlenmiştir. Akabinde tespit edilen en büyük mukavemet değerleri elde edilen optimum MK oranları (Z1 için %6 MK ve Z2 için %12 MK) göz önüne alınarak donma çözülme deney numuneleri hazırlanmıştır. Numuneler serbest basınç deney numuneleri ile aynı esaslarda hazırlanarak dış ortamdan muhafazalı olarak 7 gün kür süresi ardından, 3, 6, 12 döngü uygulanmıştır.

Bu döngü sayıları belirlenirken Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan şartnamedeki minimum 5 donma-çözülme döngüsü (KGM, 2013) ve ASTM D560/D560M-16 (2016) standardındaki 12 donma-çözülme döngüsü gerekliliği göz önüne alınarak belirlenmiştir. Döngü kıyaslamalarında 7 gün kür süresi sonrası elde edilen serbest basınç mukavemeti (0 döngü) kullanılmıştır. Döngülerin sonunda ağırlık kaybı ve mukavemet (serbest basınç dayanımları) kayıpları incelenmiştir. Donma çözülme deneyine ait uygulama aşamaları Şekil 4'te gösterilmiştir.

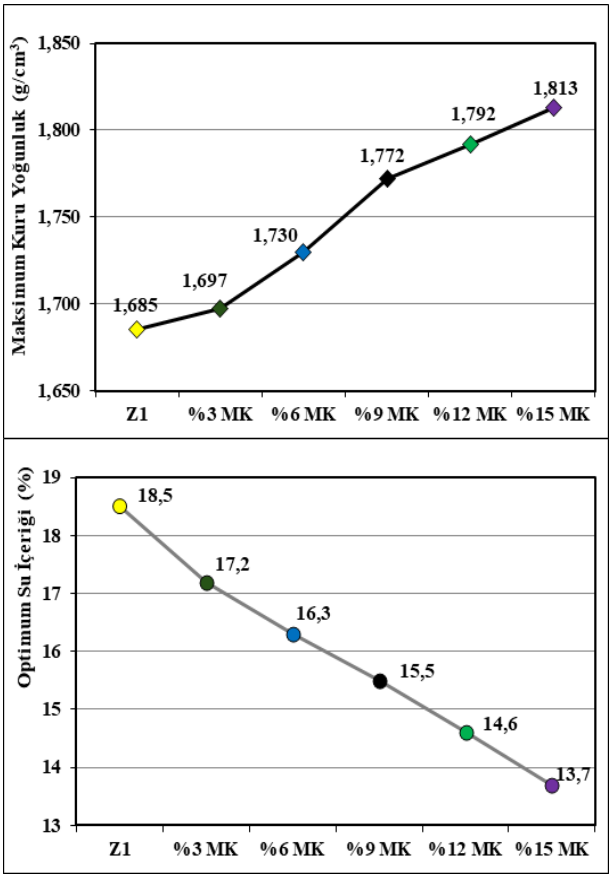
Şekil 4. Donma çözülme deneyine ait uygulama aşamaları

3. Araştırma Bulguları ve Değerlendirme

Yol tabanı olarak değerlendirilen iki farklı zeminin MK ile stabilizasyonu ve yapılan stabilizasyonların donma-çözülme direncinin araştırıldığı bu çalışmada, uygulanan deneyler ve sonuçları bölümler halinde sunulmuştur.

3.1. Standart Proktor Deneyi Bulguları

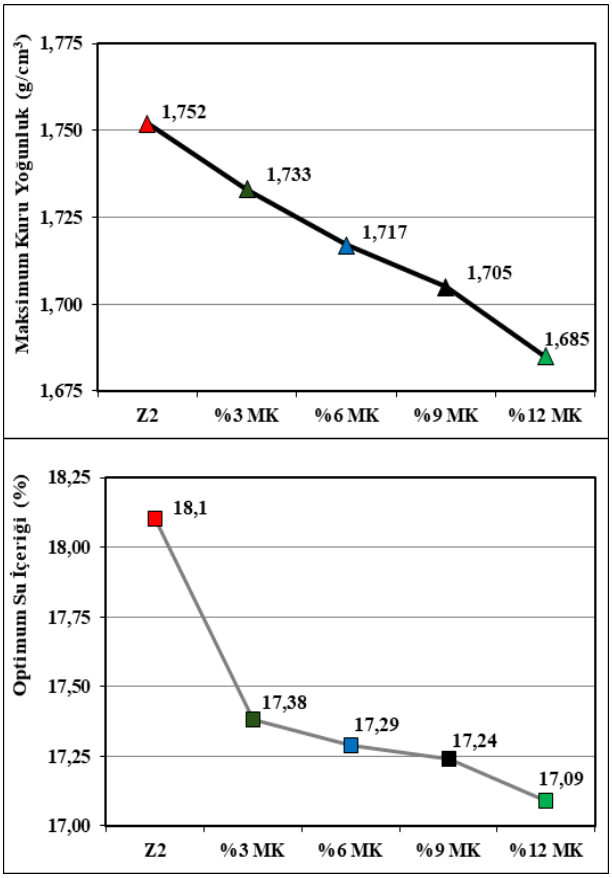
Z1 zemini ile ağırlıkça %3, %6, %9, %12 ve %15 MK'lı örneklere standart proktor deneyi uygulanmıştır. Deney neticesinde belirlenen maksimum kuru yoğunluk ile optimum su içeriğinin sonuçları grafiği Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Z1 zemini ile ağırlıkça %3, %6, %9, %12, %15 MK'lı örneklere ait standart proktor deneyi sonuçları

Z1 zemini ile hazırlanan karışımlarda MK oranının artmasıyla optimum su içeriğinin değerinin azaldığı, maksimum kuru yoğunluk değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Sonuçların, literatür (Alhakim ve ark., 2022) ile örtüştüğü görülmüştür. Ayrıca MK oranı arttıkça, optimum su içeriğinin azalmasının, MK'nın daha az suya ihtiyaç duyan amorf bir morfolojiye sahip olduğu görüşüyle (Chakkor, 2021) uyumlu olduğu değerlendirilmektedir. Ayrıca, MK ve Z1 zemini ile hazırlanan karışımda boşluk oranının (tane yoğunluğu ve kuru yoğunluk esas alınarak hesaplanması neticesinde) %58,4'den %49 gerilediği, MK'nın Z1 zemininde filler etkisi gösterdiği değerlendirilmektedir.

Z2 zemini ile ağırlıkça %3, %6, %9 ve %12 MK'lı örneklere standart proktor deneyi uygulanmıştır. Deney neticesinde belirlenen maksimum kuru yoğunluk ile optimum su içeriğinin sonuçları grafiği Şekil 6'da verilmiştir.

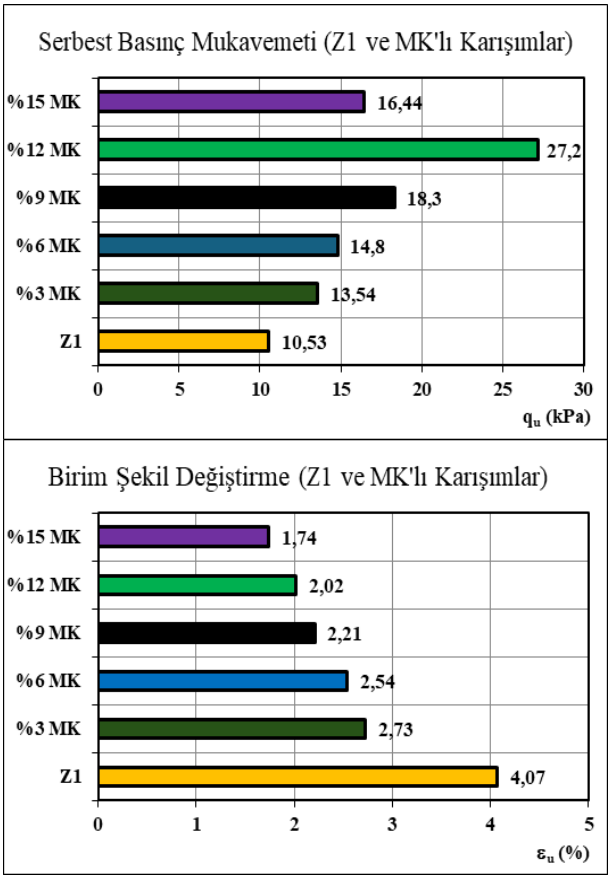


Şekil 6. Z2 zemini ile ağırlıkça %3, %6, %9, %12MK'lı örneklere ait standart proktor deneyi sonuçları

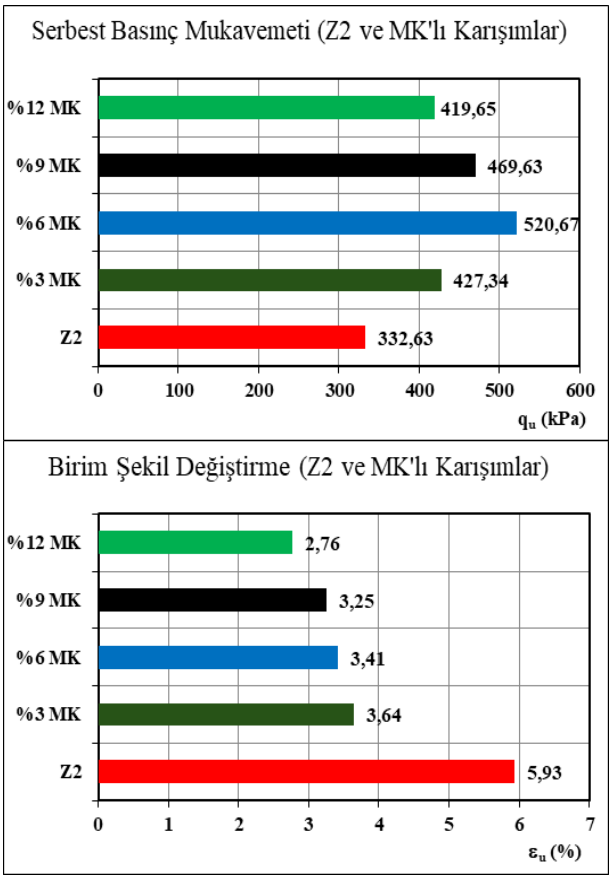
Z2 zemini ile hazırlanan karışımlarda MK oranının artmasıyla maksimum kuru yoğunluk ve optimum su içeriğinin değerinin azaldığı belirlenmiştir. Sonuçların, literatür (Abdulkareem ve Abbas, 2021; Dabakuyo ve ark., 2021) ile örtüştüğü görülmüştür. Ayrıca MK oranı arttıkça, optimum su içeriğinin azalmasının, MK'nın daha az suya ihtiyaç duyan amorf bir morfolojiye sahip olduğu görüşüyle (Chakkor, 2021) uyumlu olduğu değerlendirilmektedir.

3.2. Serbest Basınç Deneyi Bulguları

Z1 zemini ile ağırlıkça %3, %6, %9, %12, %15 MK'lı ve Z2 zemini ile ağırlıkça %3, %6, %9, %12 MK'lı serbest basınç örnekleri, standart proktor deneyi ile belirlenen maksimum kuru yoğunluk ve optimum su içeriği değerleri ile hazırlanmıştır. Oda sıcaklığındaki 7 günlük kür süresi ardından serbest basınç deneyi uygulanmıştır. Deneylerin 10 dakikayı aşmadığı gözlemlenmiştir. Katkısız zeminler ve MK katkılı numunelerin serbest basınç mukavemeti (q_u) ve birim şekil değiştirme (ε_u) sonuç grafikleri Şekil 7 ve 8'de verilmiştir.



Şekil 7. Z1 zemini ile ağırlıkça %3, %6, %9, %12 ve %15MK'lı örneklere ait serbest basınç deneyi sonuçları



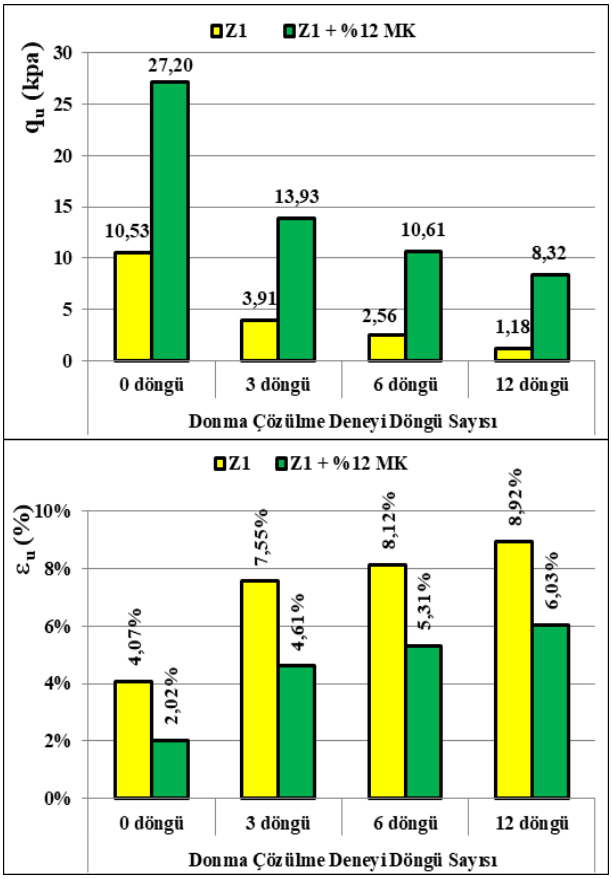
Şekil 8. Z2 zemini ile ağırlıkça %3, %6, %9, %12MK'lı örneklere ait serbest basınç deneyi sonuçları

Serbest basınç deneyi sonuçlarında, Z1 zeminine göre ağırlıkça %3, %6, %9, %12, %15 MK'lı tüm numunelerde 7 gün sonunda serbest basınç dayanımının arttığı ve artış oranlarının katkı sırasıyla 1,29; 1,41; 1,74; 2,58; 1,56 kat olduğu belirlenmiştir. Z1 için optimum MK oranı %12 olarak belirlenmiştir. Z2 zeminine göre ağırlıkça %3, %6, %9, %12 MK'lı tüm numunelerde 7 gün sonunda serbest basınç dayanımın arttığı ve artış oranlarının katkı sırasıyla 1,28; 1,57; 1,41; 1,26 kat olduğu belirlenmiştir. Z2 için optimum MK oranı %6 olarak belirlenmiştir. Belirlenen optimum MK oranlarının farklı olması, zemin çeşitleri ve dane çapı dağılımındaki farklılıkla ilgili olduğu değerlendirilmiştir. MK katkısının zeminin dayanımını artırdığı ve bu sonuçların literatürle (Ayyappan ve ark., 2017; Reddy ve ark., 2018; Abdulkareem ve Abbas, 2021) uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, kalsine edilme sürecinde metakaolindeki alüminyum ve silisin kristal yapılarının bozulduğu, amorf yapılı ve yüksek puzolanik özelliklere sahip bir ürün ortaya çıktığı, ayrıca metakaolinin ince yapısının, boşlukları doldurarak mekanik özellikleri iyileştirdiği literatürde (Badogiannis ve ark., 2004; Khatib ve Hibbert, 2005; Siddique ve Kalus, 2009) belirtilmektedir. Literatürde belirtilen metakaolinin puzolanik özellik göstermesi ve ince yapısı ile boşlukları doldurarak mekanik özellikleri arttırması hususu, metakaolinli karışımların maksimum kuru yoğunlukların ve serbest basınç mukamevet değerlerinin artışı ile uyumluluk göstermektedir. Ayrıca, her iki zeminde de metakaolin miktarının belirli bir oranın üzerine çıkartılmasının karışımların dayanımının arttırmada faydalı olmadığı, çünkü daha fazla katkı malzemesinin reaksiyona giremediği ve bu nedenle karışımların dayanımında artış sağlanamadığı belirlenmiştir. Bu durum optimum karışım oranının üstündeki numunelerde yapılan serbest basınç deneyinde elde edilen serbest basınç değerlerinin azalması ile paralellik gösterdiği belirlenmiştir. Bunun yanında her iki zeminde de MK miktarının artışıyla birlikte birim şekil değiştirmenin azaldığı ve bu durumun MK'nın numunelerin sertliğini arttırmasıyla bağlantılı olduğu, birim şekil değiştirmenin sonuçlarının, literatürde (Uzuner, 2014) sunulan sert zeminlerin yumuşak zeminlere kıyasla daha az deformasyona uğradığı görüşüyle uyumlu olduğu görülmüştür.

3.3. Donma Çözülme Deneyi Bulguları

Z1 ve Z2 zemini kullanılan MK katkılı karışımların donma-çözülme deneyleri için serbest basınç deneyinden elde edilen optimum MK sonuçları göz önüne alınarak deneylerin planlaması yapılmıştır. Proktor deneyi ile belirlenen maksimum kuru yoğunluk ve optimum su içeriği değerleri esas alınarak deney numuneleri hazırlanmıştır. 7 günlük kür süresini tamamlayan örneklere 3, 6, 12 döngü uygulanmıştır. Döngülerin sonunda mukavemet (serbest basınç dayanımları) kayıpları, ağırlık kaybı ve numunelere ait yenilme anındaki birim şekil değiştirme değerleri incelenmiştir. Kıyaslamalarda 7 gün kür süresi sonrası elde edilen serbest basınç mukavemeti değerleri (0 döngü) kullanılmıştır. Z1 zemini ve optimum %12 MK katkılı karışımların kıyaslanan ve döngülerden elde edilen serbest basınç mukavemeti ve birim şekil değiştirme değerleri Şekil 9 ve Tablo 2'de, serbest basınç mukavemet kaybı ve ağırlık kaybı Şekil 10 ve Tablo 3'te verilmiştir. Z2 zemini ve optimum %6 MK katkılı karışımların kıyaslanan ve döngülerden elde edilen serbest basınç mukavemeti ve birim şekil değiştirme değerleri

Şekil 11 ve Tablo 4'te, serbest basınç mukavemet kaybı ve ağırlık kaybı Şekil 12 ve Tablo 5'te verilmiştir.

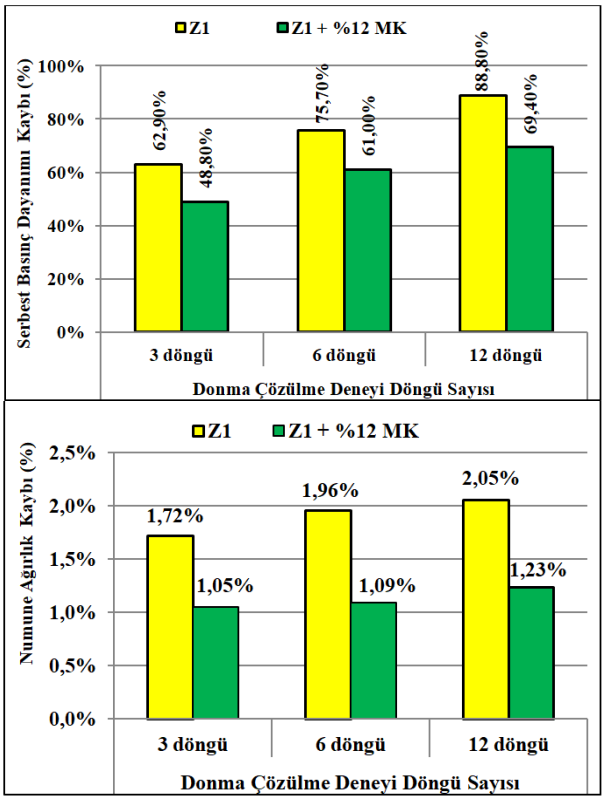


Şekil 9. Z1 zemini ile %12 MK'lı örneklere ait donma çözülme deneyi sonrası mukavemet değişikliği birim şekil değiştirme değerleri grafikleri

Tablo 2. Z1 Zemini ile %12 MK'lı örneklere ait donma çözülme deneyi sonrası mukavemet ve birim şekil değiştirme değerleri karşılaştırma tablosu

TEST NUMUNESİ	Donma Çözülme Deneyi Döngü Sayıları Sonrasına ait Değerler							
	Eksenel Gerilme qu UCS (kpa)				Birim Şekil Değ.ε_u (%)			
	0 döngü	3 döngü	6 döngü	12 döngü	0 döngü	3 döngü	6 döngü	12 döngü
Z1	10,53	3,91	2,56	1,18	4,07	7,55	8,12	8,92
Z1 + %12 MK	27,20	13,93	10,61	8,32	2,02	4,61	5,31	6,03

Z1 Zemini ile %12 MK'lı örneklere ait 3, 6 ve 12 döngü sonrası donma-çözülme deneyleri sonuçlarına ait Şekil 9 ve Tablo 2 incelendiğinde; katkısız Z1 ile hazırlanan numunelerde mukavemet değeri; 3, 6 ve 12 döngü sonrası sırasıyla 3,91; 2,56; 1,18 kPa olarak, MK ile hazırlanan numunelerde mukavemet değeri; 3, 6 ve 12 döngü sonrası sırasıyla 13,93; 10,61; 8,32 kPa olarak tespit edilmiştir. Yenilme anındaki birim şekil değiştirmeler ise; katkısız Z1 ile hazırlanan numunelerde 3, 6 ve 12 döngü sonrası %7,55; %8,12; %8,92 olarak, MK ile hazırlanan numunelerde 3, 6 ve 12 döngü sonrası %4,61; %5,31; %6,03 olarak belirlenmiştir.

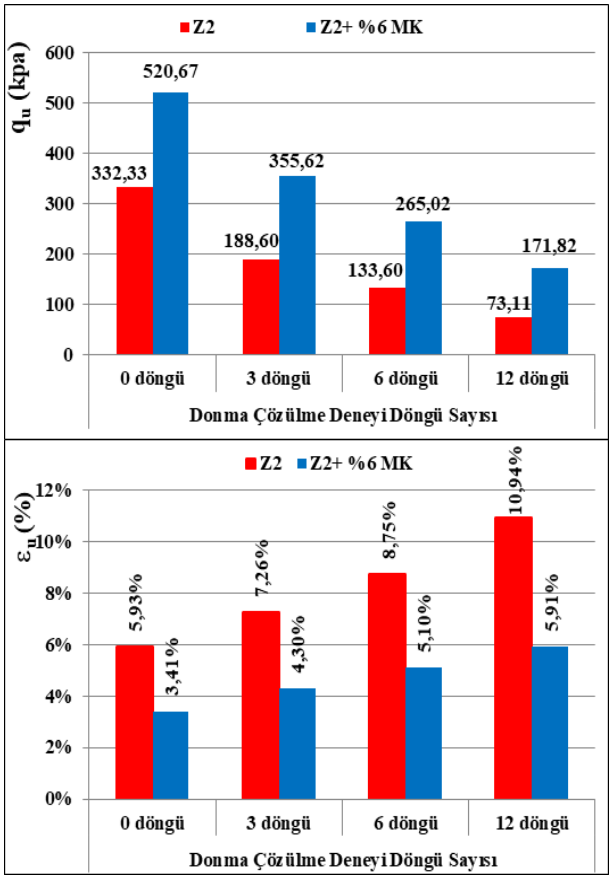


Şekil 10. Z1 zemini ile %12 MK'lı örneklere ait donma çözülme deneyi sonrası mukavemet kaybı ve ağırlık kaybı % değerleri grafikleri

Tablo 3. Z1 Zemini ile %12 MK'lı örneklere ait donma çözülme deneyi sonrası mukavemet kaybı ve ağırlık kaybı % değerleri karşılaştırma tablosu

TEST NUMUNESİ	Donma Çözülme Deneyi Döngü Sayıları Sonrasına ait Değerler					
	Serbest Basınç Dayanımı Kaybı (%)			Numune Ağırlık Kaybı (%)		
	3 döngü	6 döngü	12 döngü	3 döngü	6 döngü	12 döngü
Z1	62,90	75,70	88,80	1,72	1,96	2,05
Z1 + %12 MK	48,80	61,00	69,40	1,05	1,09	1,23

Katkısız Z1 ile hazırlanan numunelerde 0 döngü değerine göre mukavemet kaybı 3, 6 ve 12 döngü sonrası sırasıyla %62,90; %75,70; %88,80; numune ağırlık kaybının ise döngü sırasına göre %1,72; %1,16; %2,05 olarak belirlenmiştir. MK ile hazırlanan numunelerde 0 döngü değerine göre mukavemet kaybı 3, 6 ve 12 döngü sonrası sırasıyla %48,80; %61,00; %69,40 numune ağırlık kaybının ise döngü sırasına göre %1,05; %1,09; %1,23 olarak belirlenmiştir. Söz konusu sonuçlar incelendiğinde 3, 6 ve 12 döngü sonrası; katkısız Z1 ve MK'lı karışımlarda dayanım ve ağırlık kaybının meydana geldiği, ancak MK'lı karışımlardaki kayıpların daha az olduğu MK'nın karışımların donma çözülme direncini artırdığı, sonucun literatür (Li ve ark., 2023; Wang ve ark., 2023) ile örtüştüğü görülmüştür. Ayrıca yenilme anındaki birim şekil değiştirme değerlerinin arttığı, meydana gelen değişikliklerin numunelerin mukavemet kaybından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

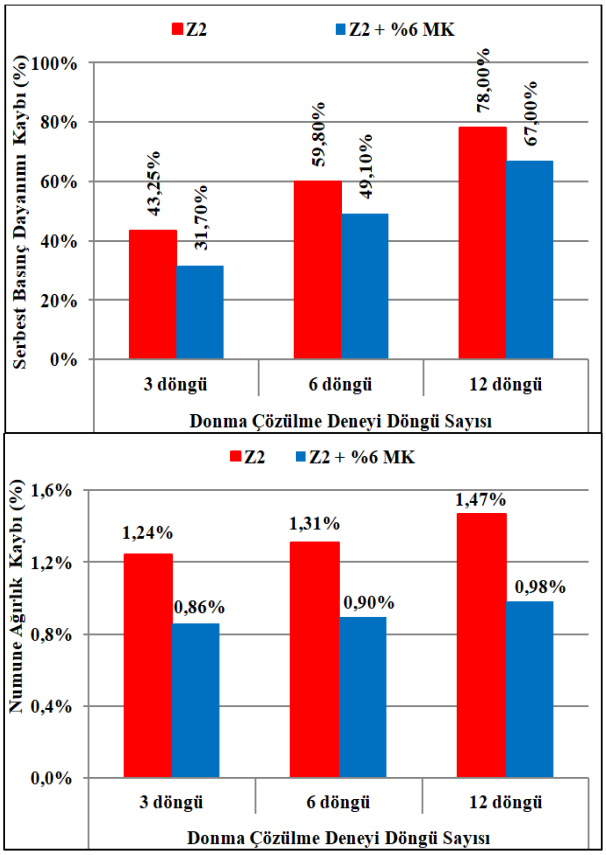


Şekil 11. Z2 zemini ile %6 MK'lı örneklere ait donma çözülme deneyi sonrası mukavemet değişikliği birim şekil değiştirme değerleri grafikleri

Tablo 4. Z2 Zemini ile %6 MK'lı örneklere ait donma çözülme deneyi sonrası mukavemet ve birim şekil değiştirme değerleri karşılaştırma tablosu

TEST NUMUNESİ	Donma Çözülme Deneyi Döngü Sayıları Sonrasına ait Değerler							
	Eksenel Gerilme q_u UCS (kpa)				Birm Şekil Değ.ε_u (%)			
	0 döngü	3 döngü	6 döngü	12 döngü	0 döngü	3 döngü	6 döngü	12 döngü
Z2	332,33	188,60	133,60	73,11	5,93	7,26	8,75	10,94
Z2 + %6 MK	520,67	355,62	265,02	171,82	3,41	4,30	5,10	5,91

Z2 Zemini ile %6 MK'lı örneklere ait 3, 6 ve 12 döngü sonrası donma-çözülme deneyleri sonuçlarına ait Şekil 11 ve Tablo 4 incelendiğinde; katkısız Z2 ile hazırlanan numunelerde mukavemet değeri; 3, 6 ve 12 döngü sonrası sırasıyla 188,60; 133,60; 73,11 kPa olarak, MK ile hazırlanan numunelerde mukavemet değeri; 3, 6 ve 12 döngü sonrası sırasıyla 355,62; 265,02; 171,82 kPa olarak tespit edilmiştir. Yenilme anındaki birim şekil değiştirmeler ise; katkısız Z2 ile hazırlanan numunelerde 3, 6 ve 12 döngü sonrası %7,26; %8,75; %10,94 olarak, MK ile hazırlanan numunelerde 3, 6 ve 12 döngü sonrası %4,30; % 5,10; %5,91 olarak belirlenmiştir.



Şekil 12. Z2 zemini ile %6 MK'lı örneklere ait donma çözülme deneyi sonrası mukavemet kaybı ve ağırlık kaybı % değerleri grafikleri

Tablo 5. Z2 Zemini ile %6 MK'lı örneklere ait donma çözülme deneyi sonrası mukavemet kaybı ve ağırlık kaybı % değerleri karşılaştırma tablosu

TEST NUMUNESİ	Donma Çözülme Deneyi Döngü Sayıları Sonrasına ait Değerler					
	Serbest Basınç Dayanımı Kaybı (%)			Numune Ağırlık Kaybı (%)		
	3 döngü	6 döngü	12 döngü	3 döngü	6 döngü	12 döngü
Z2	43,25	59,80	78,00	1,24	1,31	1,47
Z2 + %6 MK	31,70	49,10	67,00	0,86	0,90	0,98

Katkısız Z2 ile hazırlanan numunelerde 0 döngü değerine göre mukavemet kaybı 3, 6 ve 12 döngü sonrası sırasıyla %43,25; %59,80; %78,00; numune ağırlık kaybının ise döngü sırasına göre %1,24; %1,31; %1,47 olarak belirlenmiştir. MK ile hazırlanan numunelerde 0 döngü değerine göre mukavemet kaybı 3, 6 ve 12 döngü sonrası sırasıyla %31,70; %49,10; %67,00 numune ağırlık kaybının ise döngü sırasına göre %0,86; %0,90; %0,98 olarak belirlenmiştir. Söz konusu sonuçlar incelendiğinde 3, 6 ve 12 döngü sonrası; katkısız Z2 ve MK'lı karışımlarda dayanım ve ağırlık kaybının meydana geldiği, ancak MK'lı karışımlardaki kayıpların daha az olduğu MK'nın karışımların donma çözülme direncini artırdığı, sonucun literatür (Li ve ark., 2023; Wang ve ark., 2023) ile örtüştüğü görülmüştür. Ayrıca yenilme anındaki birim şekil değiştirme değerlerinin arttığı, meydana gelen değişikliklerin numunelerin mukavemet kaybından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Söz konusu Z1 ve Z2 zeminlerinin MK katkıları ile mukavemet artış oranları incelendiğinde, Z1 ve MK ile hazırlanan numunelerde 0 döngüde 2,58 kat iken; 3, 6, 12 döngü sonrası bu artışın 3,56; 4,14; 7,06

kat olduğu görülmüştür. Z2 ve MK ile hazırlanan numunelerde 0 döngüde 1,57 kat iken; 3, 6, 12 döngü sonrası bu artışın 1,89; 1,98; 2,35 kat olduğu belirlenmiştir. MK ile yapılan stabilizasyonun ve donma çözülme direncinin Z1 zemininde daha etkili olmasının, hazırlanan stabilizasyon karışımlarında Z1 zeminin Z2 zeminine göre daha kompakt bir yapı oluşturduğu, bu durumun Z1 zemini ile hazırlanan karışımlardaki MK miktarının artmasıyla maksimum kuru yoğunluklarının artışı ile uyum gösterdiği değerlendirilmiştir. Ayrıca, AASHTO (1993) rehberine göre Z1 zeminin donma hassasiyetinin "çok düşük" olması, bunun dane çapına ve dağılımına bağlı olduğu, bu durumun stabilizasyonda avantaj olarak yansıdığı düşünülmektedir. Ayrıca, MK katkısı ile hazırlanan numunelerin ağırlık kaybının, Z1 ve Z2 zeminlerinin ağırlık kaybından daha az olduğu, bunun zemin stabilizasyonu sayesinde artan dayanım vasıtasıyla numune bütünlüğünün daha iyi sağlanması ile meydana geldiği değerlendirilmiştir. İlaveten MK katkısı ile her iki zemin çeşidi ile hazırlanan karışımlarda optimum su içeriğinin azaldığı, bu durumun MK'nın daha az suya ihtiyaç duyan amorf bir morfolojiye sahip olmasından kaynaklandığı böylece, zemin karışımlarının donma sırasında suyun genleşme ve çözülme esnasında karışımın bozulma etkisini azalttığı değerlendirilmektedir. Ayrıca, MK'nın kimyasal yapısındaki $SİO_2$ ve Al_2O_3, ün donma çözülme direncini arttırmada (Li ve ark., 2023; Wang ve ark., 2023) etkili olduğu kıymetlendirilmiştir.

Ancak bu çalışmamızda, literatürde (AASHTO, 1993) Z1 zeminine "çok düşük" ve Z2 zeminine "düşük" donma hassasiyeti atfedilmesine ve oransal olarak Z1 zemininde dayanım kayıplarının fazla olmasına rağmen, Z1 zemininin MK katkılı stabilizasyonda ve donma-çözülme direnci deneylerinde daha iyi performans göstermesi, deneysel laboratuvar çalışmalarının önemini ve zeminlerin laboratuvar koşullarındaki davranışlarının araştırılarak değerlendirilmesinin gerekliliğini vurgulamaktadır.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu araştırmada kumlu ve killi yol tabanı olarak değerlendirilen iki farklı zemin türünün metakaolin ile stabilizasyonu ve yapılan stabilizasyonların donma-çözülme direncinin üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları aşağıda sunulmuştur.

1. Z1 zemini ile hazırlanan karışımlardaki standart proktor deneyi sonuçlarında, MK oranının artmasıyla, maksimum kuru yoğunluk değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Bu durumunun MK'nın filler etkisi göstererek, karışının boşluk oranın %58,4'ten %49 gerilemesi ile ilgili olabileceği değerlendirilmiştir. Z2 zemini ile hazırlanan karışımlardaki standart proktor deneyi sonuçlarında ise, MK oranının artmasıyla, maksimum kuru yoğunluk değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir.
2. Z1 ve Z2 zeminleri ile hazırlanan karışımlardaki standart proktor deneyi sonuçlarında, optimum su içeriğinin azalmasının, MK'nın daha az suya ihtiyaç duyan amorf bir morfolojiye sahip olması görüşüyle uyumlu olduğu değerlendirilmiştir.
3. Z1 ve Z2 zemini ile hazırlanan karışımlardaki serbest basınç deneyi sonuçlarında ise, 7 günlük kür sonunda en büyük mukavemet değerinin ağırlıkça sırasıyla %12 MK ve %6 MK'lı numunelerde görülmüştür. Z1 ve Z2 zeminine göre dayanım artış oranı sırasıyla 2,58 ve 1,57 kat olarak belirlenmiştir.

4. Serbest basınç deneyinde belirlenen optimum MK oranlarının farklı olmasının, zemin çeşitleri ve dane çapı dağılımı ile ilgili olduğu değerlendirilmiştir. Ayrıca, her iki zemin ile hazırlanan karışımlarda, MK miktarının artması ile birim şekil değiştirmenin, numunelerin sertliğine bağlı olarak azaldığı görülmüştür.

5. Z1 zemini ile %12 MK katkılı hazırlanan karışımlardaki donma çözülme deneyi sonuçlarında, %12 MK ile hazırlanan numunelerde 0 döngü değerine göre; mukavemet kaybı 3, 6 ve 12 döngü sonrası sırasıyla %48,80; %61,00; %69,40 olarak belirlenmiştir. Numune ağırlık kaybı ise döngü sırasına göre %1,05; %1,09; %1,23 olarak belirlenmiştir. %12 MK'lı karışımlardaki kayıpların, Z1 zeminindeki 3, 6 ve 12 döngü sonrası tespit edilen mukavemet ve ağırlık kaybında daha az olduğu görülmüştür.

6. Z2 zemini ile %6 MK katkılı hazırlanan karışımlardaki donma çözülme deneyi sonuçlarında ise, %6MK ile hazırlanan numunelerde 0 döngü değerine göre mukavemet kaybı 3, 6 ve 12 döngü sonrası sırasıyla %31,70; %49,10; %67,00 olarak belirlenmiştir. Numune ağırlık kaybının ise döngü sırasına göre %0,86; %0,90; %0,98 olarak belirlenmiştir. %6 MK'lı karışımlardaki kayıpların Z2 zeminindeki 3, 6 ve 12 döngü sonrası tespit edilen mukavemet ve ağırlık kaybında daha az olduğu görülmüştür.

7. Z1 ve Z2 zemini ile hazırlanan MK'lı karışımlardaki puzolanik aktivitenin ve donma çözülme direncinin artmasında, MK'nın bileşiminde bulunan daha kompakt bir yapı meydana gelmesini sağlayan SiO_2 ve Al_2O_3,ün etkili olduğu değerlendirilmiştir.

8. Z1 ve Z2 zemini ile hazırlanan karışımlardaki deney sonuçlarında, MK ile yapılan stabilizasyonun ve donma çözülme direncinin Z1 zemininde daha etkili olmasının, hazırlanan stabilizasyon karışımlarında Z1 zeminin Z2 zeminine göre daha kompakt bir yapı oluşturduğu, bu durumun Z1 zemini ile hazırlanan karışımlardaki MK miktarının artmasıyla maksimum kuru yoğunluklarının artışı ile uyum gösterdiği değerlendirilmiştir.

9. AASHTO (1993) rehberine göre Z1 zemininde donma hassasiyetinin "çok düşük" ve Z2 zemininde "düşük" olmasına rağmen, Z1 zemininde dayanım kayıplarının oransal olarak daha fazla olduğu, ancak Z1 zemininde MK ile yapılan stabilizasyon ve donma-çözülme direnci deneylerinde elde edilen sonuçların, zeminlerin laboratuvar şartlarındaki davranışlarının araştırılarak değerlendirilmesinin önemini vurguladığı değerlendirilmiştir.

10. Metakaolin katkısının stabilizasyon etkisinin sonra yapılacak çalışmalarda, Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi ve belirli trafik yükleri esas alınarak hazırlanmış bir yol kesitinde; karayolu üstyapı tabanı, tesviye düzlemi, yeraltı su seviyesi, donma indeksi gibi hususlar dikkate alınarak, donma-çözülme davranışının deneysel yöntemler kullanılarak araştırılmasının literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Sonuç olarak, kumlu ve killi yol tabanı olarak değerlendirilen zeminlerde MK kullanılarak yapılan stabilizasyonun, karışımların dayanımı ve donma çözülme direncini arttırdığı belirlenmiştir. MK'nın yol tabanı stabilizasyonunda kullanılmasının, yol tabanın dayanımını artıracağı ve bakım onarım maliyetlerini azaltacağı değerlendirilmiştir. Ayrıca, yapılan iyileştirmenin milli ekonomiye sağladığı faydanın yanı sıra, bakım, onarım ve yenileme çalışmalarında kullanılan malzemelerin taşınması ve

uygulanması sırasında meydana gelen CO_2 salımı başta olmak üzere çevreye verilen zararın azaltılabileceği düşünülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü'nün İÜ-BAP FDK-2023-3325 numaralı projesi tarafından desteklenmiştir. BAP Koordinasyon Birimi'ne desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

AASHTO. Interim guide for design of pavement structures. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials; 1993.

Abdulkareem SA., Abbas JM. Effect of adding metakaolin based geopolymer to improve soft clay under different conditions. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 2021; 856: 012011.

Alhakim G., Baalbaki O., Jaber L. Effects of incorporation of cement and metakaolin on the mechanical properties of poorly graded sand. Arabian Journal of Geosciences 2022; 15: 1777.

ASTM C136/C136M. Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates, West Conshohocken, PA: ASTM International; 2019.

ASTM D422-63. Standard test method for particle-size analysis of soils, West Conshohocken, PA: ASTM International; 2007.

ASTM D4318. Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils, West Conshohocken, PA: ASTM International; 2017.

ASTM D560 / D560M-16. Standard test methods for freezing and thawing compacted soil-cement mixtures, West Conshohocken, PA: ASTM International; 2016.

ASTM D698. Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort, West Conshohocken, PA: ASTM International; 2014.

ASTM D854. Standard test method for specific gravity of soils, West Conshohocken, PA: ASTM International; 2006.

ASTM 2166-06. Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soil, West Conshohocken, PA: ASTM International; 2006.

Aygörmez Y., Canpolat O., Al-Mashhadani MM., Uysal M. Elevated temperature, freezing-thawing and wetting-drying effects on polypropylene fiber reinforced metakaolin based geopolymer composites. Construction and Building Materials 2020; 235.

Ayyappan A., Palanikumar S., Kumar D., Vinoth M. Influence of geopolymers in the stabilization of clay soil. International Journal of Emerging Technologies in Engineering Research 2017; 5: 108-120.

Badogiannis E., Papadakis VG., Chaniotakis E., Tsivilis S. Exploitation of poor Greek kaolins: Strength development of metakaolin concrete and evaluation by means of k-value. Cement & Concrete Research, 2004; 34: 1035-1041.

Bağrıaçık B., Uslu FM., Yiğittekin ES., Dinçer S. Bacillus sp. ile iyileştirilmiş zeminlerin donma çözülme etkisindeki davranışı. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2021; 10(2): 704-711

Balkış AP., İlman B. Mermer tozu ile stabilize edilmiş killerin mekanik özellikleri. Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği 19. Ulusal Konferansı Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2024.

Bozyigit I., Zingil HO., Altun S. Performance of eco-friendly polymers for soil stabilization and their resistance to freeze–thaw action. Construction and Building Materials, 2023; 379: 131133.

Chakkor O. Kırmızı çamur ve metakaolin tabanlı geopolimer harçların mekanik ve durabilite özelliklerinin incelenmesi. İstanbul Aydın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul, 2021.

Dabakuyo I., Mutuku RN., Onchiri R. Effect of sugarcane molasses on the physical properties of metakaolin based geopolymer stabilized laterite soil. SSRG International Journal of Civil Engineering 2021; 8(12): 1-12.

Demir A., Sarıcı T. Bearing capacity of footing supported by geogrid encased stone columns on soft soil. Geomechanics and Engineering 2017; 12(3): 417–439.

Ding M., Zhang F., Ling X., Lin B. Effects of freeze-thaw cycles on mechanical properties of polypropylene Fiber and cement stabilized clay. Cold Regions Science and Technology 2018; 154: 155-165.

Geçkil T., Sarıcı T., Karabaş B. Siyah karbon ile stabilize edilen taban zeminin yol esnek üst yapı maliyetine etkisi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 2021a; 23: 222-235.

Geçkil T., Sarıcı T., Karabaş B. Siyah karbon stabilizasyonlu zeminin rijit kaplama kalınlığı ve maliyetine etkileri. ECJSE 2021b; 8(3): 1372–1384.

Karahan O. Metakaolin ve silis dumanı içeren harçların aşınma direncinin karşılaştırılması, bilimsel araştırma projesi. Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi, Kayseri, 2011.

Karayolları Esnek Üstyapıları Projelendirme Rehberi. Ankara: T.C. Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şubesi Müdürlüğü; 2008.

Karayolları Genel Müdürlüğü. Karayolu teknik şartnamesi (yol altyapısı, sanat yapıları, köprü ve tüneller, üst yapı ve çeşitli işler). Ankara: KGM; 2013.

Karainli F., Saygılı A. Geotekstil ile iyileştirilmiş kohezyonlu zeminlerin donma çözünme performansı. 3. Genç Geoteknik Mühendisliği Sempozyumu Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2024.

Khatib JM., Hibbert JJ. Selected engineering properties of concrete incorporating slag and metakaolin", Construction and Building Materials 2005; 19: 460-472.

Kumar KR., Gobinath R., Shyamala G. Freez thaw resistance of stabilized and fiber-reinforced soil vulnerable to landslides. Materials Today: Proceedings 2020; 27(1): 664-670.

Liang G., Zhu H., Li H., Liu T., Guo H. Comparative study on the effects of rice husk ash and silica fume on the freezing resistance of metakaolin-based geopolymer, Construction and Building Materials 2021; 293.

Li X., Zhang H., Wu D., Guo, YR., Ren K., Tan Y. Strength deterioration characteristics of lime-metakaolin improved earthen site soil under freeze-thaw cycles. Rock and Soil Mechanics 2023; 44(6): Article 2.

Nan J., Chang D., Liu J., Chen H., Lee J., Kim S. Investigation on the microstructural characteristics of lime-stabilized soil after freeze–thaw cycles,Transportation Geotechnics 2024; 44.

Nebioğulları MA. Metakaolin, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül katkısının beton hidratasyon sıcaklığına etkisi. Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Niğde, 2010.

Ok B., Bağrıaçık B. Guar gum ile iyileştirilmiş kil zeminlerin donma çözülme etkisinde mukavemet ve şişme basınçlarının araştırılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi 2022; 37(3): 589-600.

Ok B., Demir A., Sarıcı T., Ovalı M. Geosentetiklerle güçlendirilmiş karayolu temellerinin plaka yükleme deneyleri ile değerlendirilmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2021; 27(6): 718-728.

Orakoglu ME., Liu J. Effect of freeze-thaw cycles on triaxial strength properties of fiber-reinforced clayey soil. KSCE Journal of Civil Engineering 2017; 21(6): 2128-2140.

Orhan M., Özer M., Işık N. Zemin mekaniği laboratuvar deneyleri. Ankara: Gazi Kitabevi; 2013.

Reddy DS., Kowshik K., Kishor MJ., Durga RV., Kumar VP. Enhancement of soil properties by using fly ash and metakaolin. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE) 2018; 8(2).

Sarıcı T. Geosentetik ile güçlendirilmiş taş kolonların taşıma kapasitesinin analizi. İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Malatya, 2014

Sarıcı T., Ok B., Mert A., Çömez Ş. The resilient modulus of hybrid construction and demolition wastes reinforced by a geogrid. Acta Geotechnica Slovenica 2022; 2.

Saygılı A., Dayan M. Freeze-thaw behavior of lime stabilized clay reinforced with silica fume and synthetic fibers. Cold Regions Science and Technology 2019.

Siddique R, Kalus J. Influence of metakaolin on the properties of mortar and concrete: A review. Applied Clay Science 2009; 43: 392-400.

Soğancı AS., Yıldız M. Tekrarlı donma ve çözülmenin kireç ile stabilize edilmiş kil zeminlerin mukavemet ve permeabilitesine etkisi. Selçuk-Teknik Dergisi 2011; 10(3): 259-270.

Tunç A. Yol mühendisliğinde geoteknik ve uygulamaları. Ankara: Nobel Yayınevi, 2002.

Uzuner BA. Temel mühendisliğine giriş. Trabzon: Derya Kitabevi; 2016.

Uzuner BA. Temel zemin mekaniği. Trabzon: Derya Kitabevi; 2014.

Wang Q., Ge D., Cai G., Li M., Wu L., Xu H. Mechanical and microscopic properties of copper-contaminated soil solidified with calcium carbide residue, metakaolin, and desulfurization gypsum under freeze-thaw cycles. KSCE J Civ Eng 2023; 27: 455–468.

Xukun M., Pengfei W., Ping J., Haoqing X., Na L., Sijia Q., Wei W., Guo Xiong M. Frost resistance and micro mechanism of metakaolin and polypropylene fiber modified coastal cement soil. SSRN 2024; 33.

Yarbaşı N. Atık lastik parçaları ile güçlendirilmiş killi zeminlerin donma-çözülme davranışı. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2016; 22(6): 559-562.

Yarbaşı N. Doğal bir materyal olarak keçi kılı lifleriyle modifiye edilen kohezyonlu zeminlerin donma-çözülme direnci. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2020; 7(13): 157-166.

Yılmaz F. Uçucu kül ve mermer tozu katkılarının zeminin stabilizasyonuna ve donma-çözülmesine etkisinin araştırılması. APJES 2020; 8(1): 56–61.

Yılmaz I., Yıldıran M., Keskin İ. Zemin mekaniği laboratuvar deneyleri ve çözümlü problemler. Ankara: Seçkin Kitabevi; 2017.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1301-1313, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1301-1313, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Sağkalım ve Cox Regresyon Analizi: Hayvancılık Alanında Bir Uygulama

Burcu KÜLEY AĞIR[1*], Ercan EFE[2]

[1,2]Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, Kahramanmaraş, 4600, Türkiye

[1]https://orcid.org/0009-0007-0749-2836
[2]https://orcid.org/0000-0002-5131-323X
*Sorumlu yazar: b.kuley89@hotmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 24.09.2024
Kabul tarihi:30.01.2025
Online Yayınlanma: 16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Sağkalım analizi
Kaplan-Meier
Cox regresyon
Hayvancılık

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, sağkalım analiz yöntemlerinden Kaplan-Meier (K-M) ve Cox regresyon yöntemlerini teorik ve uygulamalı olarak incelemektir. Bu amaçla hayvancılık alanına ait veriler kullanılmıştır. İlk veri seti, iki farklı kümese ait yumurta tavuklarının ölüm kayıtlarını, ikinci sayısal örnek ise tedavi ve kontrol gruplarındaki farelere ait ölüm kayıtlarını içermektedir. Elde edilen sonuçlara göre, Kümes 6b'deki tavukların ortalama sağkalım süresi (22.7 hafta), Kümes 6a'ya (22.5 hafta) göre daha uzundur. Kümes 6a'daki tavukların, Kümes 6b'ye kıyasla %73.7 daha yüksek risk altında olduğu tespit edilmiştir (p=0.000). Farelerde, tedavi grubundaki tümör insidansı kontrol grubuna göre 2.193 kat daha yüksek bulunmuş ve bu durum tümör oluşum riskini %119.3 artırmıştır (p=0.011). Ayrıca, erkek farelerde olay oluşma oranı dişi farelere göre %95.3 daha düşük bulunmuştur. Bu bulgular, tedavi ve cinsiyetin olay oluşum oranı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir. Bu çalışmanın, hayvancılık alanında çalışan araştırmacılara yol gösterici olması ve bahsi geçen yöntemlerin hayvancılık alanında kullanımının yaygınlaşmasına katkıda bulunması umut edilmektedir.

Survival and Cox Regression Analysis: An Application in Animal Science

Research Article

Article History:
Received: 24.09.2024
Accepted: 30.01.2025
Published online:16.06.2025

Keywords:
Survival analysis
Kaplan-Meier
Cox regression
Animal science

ABSTRACT

The aim of this study is to examine the Kaplan-Meier (K-M) and Cox regression methods, which are survival analysis techniques, both theoretically and practically. For this purpose, data from the field of animal husbandry were used. The first dataset consists of mortality records of laying hens from two different poultry houses, while the second data set includes mortality records of rats in treatment and control groups. According to the results, the mean survival time of chickens in Coop 6b (22.7 weeks) was slightly longer than in Coop 6a (22.5 weeks). Chickens in Coop 6a faced a 73.7% higher risk compared to those in Coop 6b (p=0.000). In rats' data, the tumour incidence was 2.193 times higher in the treatment group than in the control group, indicating a 119.3% increased risk of tumour formation (p=0.011). Additionally, the event rate was 95.3% lower in male rats compared to females, highlighting the significant effects of treatment and gender on event occurrence. It is hoped that this study will guide researchers working in the field of animal husbandry and contribute to the wider application of these methods in the field.

To Cite: Küley Ağır B., Efe E. Survival and Cox Regression Analysis: An Application in Animal Science. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1301-1313.

1. Introduction

The origins of survival analysis can be traced to the 17th century when Edmund Halley created the first life table between 1687 and 1691. In the 20th century, survival analysis was used to evaluate the life expectancy of military vehicles during World War II (Bulut, 2011). The field advanced with the introduction of the Kaplan-Meier method in 1958, Cox's Proportional Hazard Model in 1972, and Miller's application of nonparametric methods in 1981 (Tuncay, 2005).

Survival analysis is a statistical method used to assess the probability of an event, such as mortality, occurring over time. While originally applied to medical outcomes, it is also used in areas like engineering, insurance, and economics, where it is often referred to as failure analysis, event-time analysis, or time-to-event analysis. The method can assess not only mortality but also events like recovery, treatment response, or task completion. Its dual objectives are to estimate the probability of an event within a specified time and to identify factors influencing that probability (Kaygısız, 2010).

The term "survival time" refers to the duration until an event of interest occurs, which can vary from unemployment duration to machine part failure or drug efficacy (İnceoğlu, 2013; Şimşek, 2013). Some data may be censored, meaning the event is not observed within the study period, often due to unrelated factors (Yetkin, 2006).

While survival analysis is primarily applied in medicine (Başar, 2013; Karal, 2014; Cao et al., 2015; Du et al., 2020; Nagy et al., 2021; Lundgreen et al., 2021), it is also used in insurance (Kılık, 2019; Hidayat et al., 2022), engineering (Thijssens and Varhagen, 2020), economics (Göktaş et al., 2012; Karasoy et al., 2015), and construction (Showkat and Singh, 2022). However, its use in agriculture and animal husbandry (Caetano et al., 2013; Grseziak et al., 2022), particularly in Turkish literature, remains limited.

This paper investigates the use of survival analysis on animal science data, providing a useful reference for scholars on this subject. It demonstrates the practical use of the K-M and Cox regression methods.

This study is of significance in that it draws attention to the potential of survival analysis methods that are seldom employed in the fields of animal husbandry and agriculture. Survival analyses afford researchers who are engaged in work with time-oriented data the opportunity not only to ascertain the probability of an event occurring, but also to analyse the factors affecting this probability. These methods, which are of paramount importance for risk management and strategic decision-making processes in the agriculture and livestock sectors, permit a more comprehensive analysis of data and more reliable results. In this context, the objective of this study is twofold: firstly, to provide a theoretical explanation of the K-M and Cox regression models of survival analysis; and secondly, to offer a practical illustration of these models using two different data set relating to animal science.

2. Material and Method

The study used mortality records from two laying hen coops of a private poultry farm and a rat data set provided by Mantel et al. (1977), available in the R software data archive. The rat data included

categorical variables for tumor development, sex, and treatment groups (drug-treated vs. control), with 300 rats observed over 104 weeks. The poultry sample comprised 5344 chickens from two coops, A and B, observed for 23 weeks. In both data sets, the first level was used as the reference category.

2.1. Laying Hen Data set

The laying hen data set, detailed in Table 1, includes information from 5344 breeder hens observed over 23 weeks in two coops. Mortality events are marked as 1, while other instances are marked as 0. Coop 6a had 2224 chickens, with 108 deaths and 2116 censored observations. Coop 6b had 3120 chickens, with 88 deaths and 3032 censored observations (Table 1).

Table 1. Number of laying chickens, event and censored data

	Number of chickens	Event (Death)	Censored data	
			Number of chickens	%
Coop 6a (Reference)	2224	108	2116	95.1
Coop 6b	3120	88	3032	97.2
Toplam	5344	196	5148	96.3

2.2. Rat Data set

Kaplan-Meier and Cox regression analyses were performed on the rat data, with the results presented below. Tumor development was tracked weekly for 300 rats, with tumor emergence coded as 1 (event) and other conditions as 0 (censored). The treatment group was coded as 1 and the control group as 0. For gender, female was coded as 0 and male as 1. Table 2 provides descriptive statistics: the control group had 200 observations with 21 tumors and 179 without, while the treatment group had 100 observations with 21 tumors and 79 without.

Table 2. Number of rats, event and censored data by treatment status

	Number of rats	Event	Censored data	
			Number of rats	%
Control group	200	21	179	89.5%
Treatment group	100	21	79	79.0%
Total	300	42	258	86.0%

2.3. Survival Analysis

Survival analysis examines the time until an event, such as death, illness, or failure, occurs. This time is referred to as “failure time”, “event occurrence time” or “survival time” (Yay et al., 2007). The term “survival time” refers to the period between the start of observation and the occurrence of death. The primary focus of survival analysis is the observed duration of survival or life expectancy, making it crucial to clearly define this variable. To measure it, a clear starting point and a consistent time scale must be established for each unit or individual, ensuring the precise moment of failure is recorded (Sertkaya et al., 2005).

2.3.1. Data types used in survival analysis

A key feature of survival analysis is the presence of censored data, which distinguishes it from other statistical methods. In survival analysis, data distribution, particularly for disease progression and mortality, is typically asymmetrical and positively skewed. Censoring occurs under three conditions: (1) the study concludes without the event occurring, (2) the individual stops being observed or is removed from the study, or (3) the event is removed from observation due to unrelated reasons (Kleinbaum and Klein, 2012). Censored data can be categorized into three types (Kleinbaum and Klein, 2012; Oralhan, 2015). Right censoring occurs when the event has not yet occurred but is unobserved, making it the most common form. Left censoring refers to cases where the event's exact time is unknown but occurred within a specific time interval.

2.4. Survival Functions

2.4.1. Survival function

The term "survival time" refers to the period between the start of observation and the occurrence of event (death, disease, incidence etc.). The variable T, representing survival time, is a random variable ranging from zero to infinity ($0 \leq T \leq \infty$). The survival data $t_1, t_2, \ldots, t_n$ are observations of the positive random variable T. The probability density function *f(t)* of T is the cumulative distribution function *F(t)*, which represents the probability of being less than or equal to a given value t.

$$F(t) = P\ (T \leq t) = \int_0^t f(u)du \quad (1)$$

The survival function is;

S(t) =1-F(t).

Hence, it has shown as:

$$S(t) = P\ (T > t) = \int_t^\infty f(u)du \quad (2)$$

2.4.2. Hazard (Risk) function

The hazard function, h(t), represents the instantaneous mortality rate, or the risk of dying within a small-time interval t+Δt. It focuses on failure and may be constant, increasing, decreasing, or following a more complex pattern (Saygı, 2007; Bulut, 2011; Kleinbaum and Klein, 2012).

$$h(t) = \lambda = \lim_{\Delta t \to 0}\left[\frac{P(t \leq T < t+\Delta t \mid T \geq t)}{\Delta t}\right] \text{ and provides } h(t) \geq 0 \text{ and } \int_t^\infty h(t)dt = \infty \quad (3)$$

The cumulative hazard function (H(t)) represents the accumulated failure rates over a given time period t. Mathematically, it is the integral of the hazard function between integration limits of 0 and t. Its formulation is as follows;

$$H(t) = \int_0^t h(x)dx \quad (4)$$

2.5. Survival analysis methods

In survival analysis, non-parametric and semi-parametric techniques are used to assess whether and how specific variables affect survival times. This study employs Kaplan-Meier method, a non-parametric approach for deriving survival curves and confidence limits, alongside the semi-parametric Cox regression method to evaluate the impact of the parameters under investigation (Göktaş et al., 2012).

2.5.1. Kaplan-Meier (K-M) method

K-M analysis is a non-parametric method used to predict time-related events and evaluate statistical significance between survival curves for different conditions. It calculates survival times in the presence of censored data. The construction of Kaplan-Meier estimations involves the establishment of time intervals according to the occurrence of events in an ascending order.

The Kaplan-Meier estimate of the survival function is presented below;

$$\hat{S}(t) = \prod_{t_i \le t} (1 - \frac{d_i}{n_i}) \quad (5)$$

In the formula (5),

$\hat{S}(t)$ = The estimated survival probability at time *t,*

t_i: The time points where events (e.g., death, failure) occur,

d_i: The number of events (e.g. deaths) occurring at time t_i,

n_i: The number of the subjects at risk just prior to time t_i. Besides, $\frac{d_i}{n_i}$ represents the probability of the event occuring at t_i and $1 - \frac{d_i}{n_i}$ is the probability of surviving (not experienced the event) at t_i (Özdemir, 1994; Türe et al., 2009).

2.5.1.1. Log-rank test

The Kaplan-Meier method provides an overview of survival functions across groups but does not assess the statistical significance of observed differences. The log-rank test evaluates these differences by testing the null hypothesis of no difference between survival functions. The log-rank test statistic follows a $\chi^2_{1,\alpha}$ distribution with 1 degree of freedom under the null hypothesis. For the two groups, significance is determined by comparing the test statistic to the chi-square critical value for 1 degree of freedom at the α level (Kleinbaum and Klein, 2012; Şimşek, 2013). The log-rank statistic is calculated by taking the square of the difference between the summed observed and expected scores for one group—for example group 2—and dividing it by the variance of that summed difference (Kleinbaum and Klein, 2012). It is formulated as follows;

$$Log-rank=\frac{\left(O_2-E_2\right)^2}{Var(O_2-E_2)} \quad (6)$$

2.5.2. Cox regression method

The Cox regression method aims to determine the effect of variables on the occurrence of an event within a defined time interval and predicts life expectancy by mathematically modeling these effects (Kaygisiz, 2010). It calculates the influence and direction of variables on survival time (Çekçeki, 2007; Ata et al., 2008).

In Cox regression, the independent variables are not required to be normally distributed and correlated. The model assumes a proportional relationship between variables, known as the proportional hazard model (Yetkin, 2006). As a semi-parametric model, the Cox regression does not assume a specific probability distribution for the survival time (Işık, 2007). For a single independent variable, the hazard function can be expressed as follows:

$$\text{h (t, X)} = h_0(t).e^{\beta x} \quad (7)$$

In the event that there are multiple independent variables, the hazard function is presented as follows;

$$\text{h (t, X)} = h_0(t)\ .\ e^{(\beta_1X_1+\beta_2X_2+\cdots+\beta_PX_P)} \text{ or } h_0(t)\ .\ e^{\sum_{i=1}^{p}\beta_iX_i} \quad (8)$$

The Cox model states that the hazard at time *t* is the product of two quantities: the baseline hazard function ($h_0(t)$) and the exponential of the linear sum of β_iX_i for *p* explanatory variables (Kleinbaum and Klein, 2012). The Cox regression model relies on four key assumptions: (i) the effects of explanatory variables on the hazard function are log-linear, (ii) there is a multiplicative relationship between the log-linear function of explanatory variables and the hazard function, (iii) the hazard ratio between any two individuals remains constant over time, and (iv) explanatory variable values are recorded at the study's start. Thus, the ratio of mortality functions for units with different explanatory variables is time-independent, though their hazard ratios are proportional (Karal, 2014).

The effects of explanatory variables are estimated through the β-coefficients, and their influence on the hazard is quantified using the hazard ratio (e^{β}). The baseline hazard function ($h_0(t)$) does not require direct estimation for the regression model, as the Cox model relies on relative hazards rather than the explicit form of $h_0(t)$. Coefficient estimates are obtained using the maximum likelihood method through the maximization of the partial likelihood function, which focuses on the order of event times rather than their exact values. The function is formulated as (Collet, 2003);

$$L(\beta)=\prod_{j=1}^{r}\frac{\exp\left(\beta' x_{(j)}\right)}{\sum_{I\in R(t_{(j)})}\exp(\beta' x_I)} \quad (9)$$

The likelihood function in Cox regression incorporates censored data and evaluates the order of event occurrences. Notably, the Cox model does not depend on a specific distribution; rather, it relies on the

order of event occurrences (Kleinbaum and Klein, 2012). Maximum likelihood estimates of β-coefficients are obtained by maximizing the log-likelihood function using the Newton-Raphson algorithm through successive iterations (Collet, 2003; Karal, 2014).

3. Results and Discussion

The K-M and Cox regression methods were applied to analyze survival data from two different data sets. Initially, these analyses were conducted on the laying hen data set, with results interpreted accordingly. Subsequently, the same analyses were applied to the rat data set.

The mean survival times are presented in Table 3. K-M estimator is a commonly used approach for analyzing survival data and comparing different groups of individuals (Grzesiak et al., 2022). K-M analysis shows that the mean survival time for Coop 6a is 22.5 weeks, while for Coop 6b it is 22.7 weeks, indicating a longer survival time in Coop 6b.

Table 3. Descriptives of survival times of coops

	Mean survival time (week)	Standard error	95% Confidence interval	
			Lower bound	Upper bound
Coop 6a	22.496	0.051	22.396	22.596
Coop 6b	22.669	0.041	22.589	22.749
Total	22.597	0.032	22.534	22.660

Figure 1 illustrates the survival function, showing that Coop 6b has a longer survival time compared to Coop 6a.

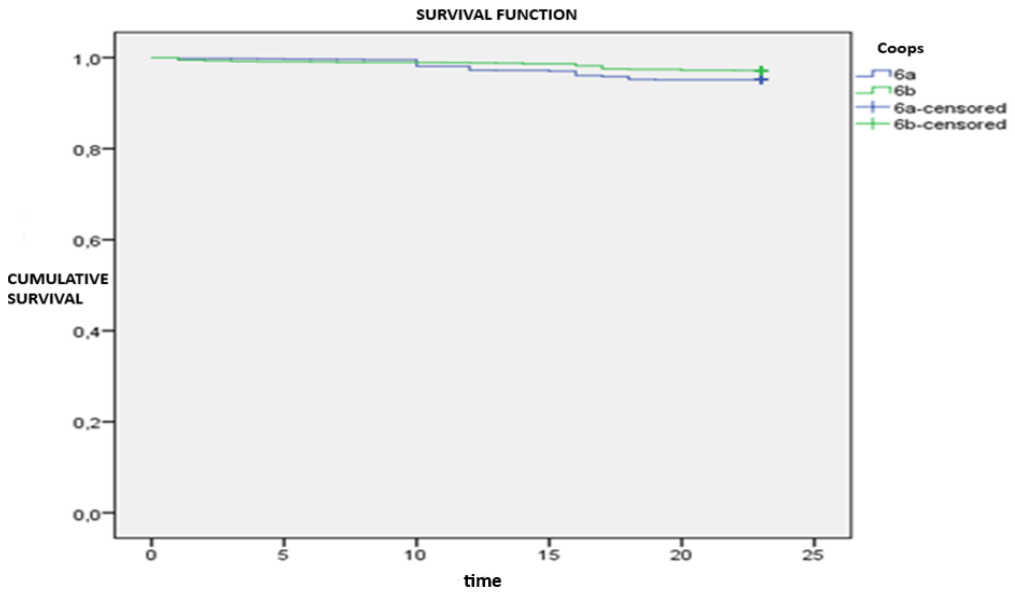


Figure 1. Survival function for both coops (K-M Curve)

Kaplan-Meier analysis tracks the likelihood of an event over time but does not assess the significance of differences between survival curves. The log-rank test, used to compare survival probabilities, is presented in Table 4. The results indicate a statistically significant difference between Coop 6a and Coop

6b ($p<0.01$). In a study conducted at two poultry farms in Kenya, Ngolo et al. (2018) found no significant difference in the survival rates of the broilers on the two farms.

Table 4. Log-rank results

	Chi-Square	P value
Log Rank (Mantel-Cox)	15.212	0.000**

**p<0.01

Cox regression analysis examines the hazard rate of an event in relation to independent variables. Applied to the laying hen data, the results are shown in Table 5. Here, the dependent variable is survival time in weeks, and the independent variable is the type of coop. The Exp(β) value, or hazard ratio, indicates the relative risk compared to the reference category. A positive β coefficient signifies a higher risk, while a negative β coefficient indicates a lower risk (Özşen, 2006; Bulut, 2011; Şimşek, 2013).
The interpretation of positive and negative estimates of the regression coefficients using the Cox model is that they intensify or reduce the effect on the risk function, respectively (Caetano et al., 2013). Table 5 shows a positive coefficient (0.552), suggesting that hens in Coop 6a have a shorter lifespan than those in Coop 6b. Specifically, the hazard ratio (Exp(β)) indicates that the event occurs 1.737 times more frequently in Coop 6a, reflecting a 73.7% higher risk for chickens in Coop 6a compared to those in Coop 6b.

Table 5. Results of Cox reggression

	β	S. error	Wald	Sd	p value	Exp(β)	95% confidence interval	
							Lower bound	Upper bound
Coop	0.552	0.144	14.770	1	0.000	1.737	1.311	2.301

-2Likelihood= 3343.53, χ^2= 15.14, p=0.000

Table 6 presents the mean tumor development times: 100.4 weeks for the control group and 98.5 weeks for the treatment group. The shorter tumor development time in the treatment group indicates an effect of the treatment and the log-rank test confirms this difference is statistically significant (p=0.018).

Table 6. Mean tumour development time by treatment status

	Mean survival time (week)	Standard error	95% Confidence interval	
			Lower bound	Upper bound
Control group	100.380	0.824	98.764	101.996
Treatment group	98.550	1.430	95.748	101.352
Total	99.780	0.729	98.351	101.210

Log-rank (Mantel Cox) χ^2 =5.549, p=0.018

Figure 2 shows that the survival time for the control group is longer compared to the treatment group.

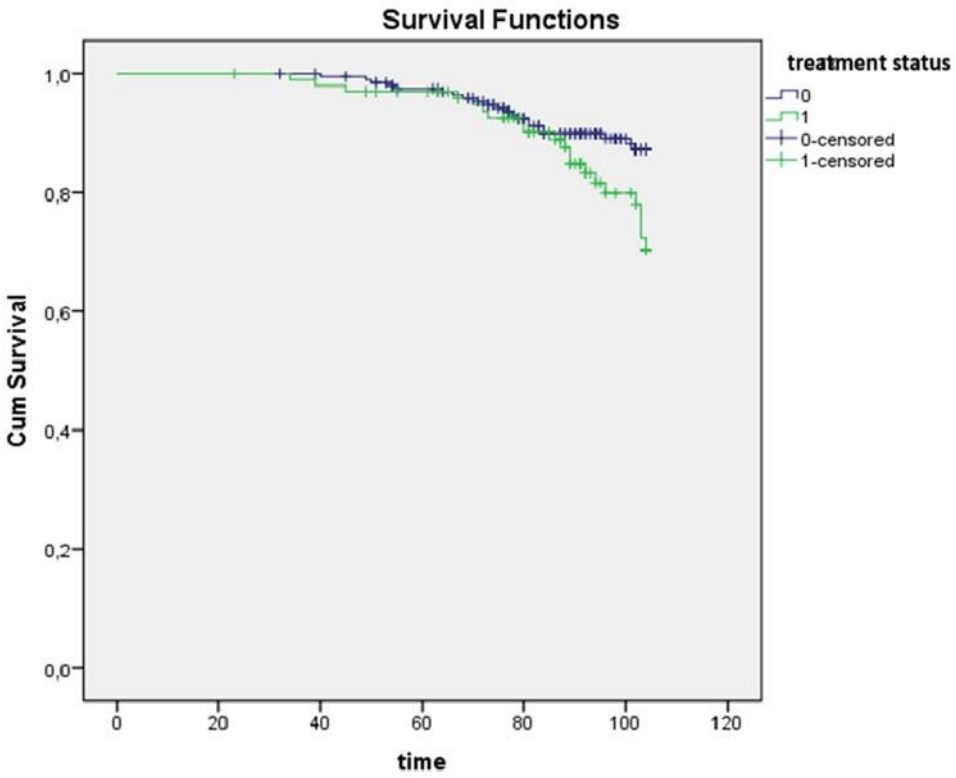


Figure 2. Survival function according to treatment status (K-M Curve)

Table 7 shows that out of 300 observations, 150 were female and 150 were male. Tumor development occurred in 40 females (110 without tumors) and 2 males (148 without tumors).

Table 7. Number of rats, event and censorship data by gender

	Number of rats	Event (Tumour)	Censored data	
			Number of rats	%
Female	150	40	110	73.3
Male	150	2	148	98.7
Total	300	42	258	86.0

Upon examination of the average tumour development time of the observations by sex, it was found that males exhibited a greater tumour development time than females (Table 8). As illustrated, the average tumour development time of males was 103.52 weeks, while the average development time of females was 96.20 weeks. The log-rank test results demonstrated that the difference was statistically significant (p=0.000).

Table 8. Mean tumour development time by gender

	Mean survival time (week)	Standart error	95% Confidence interval	
			Lower bound	Lower bound
Female	96.202	1.329	93.597	98.806
Male	103.525	0.334	102.871	104.179
Total	99.780	0.729	98.351	101.210

Log-rank (Mantel Cox) χ^2=35.907, p=0.000

Figure 3 illustrates the survival function graph of gender status. As evidenced by the Figure 3, tumour development in female rats occurred in a shorter time frame than in male rats.

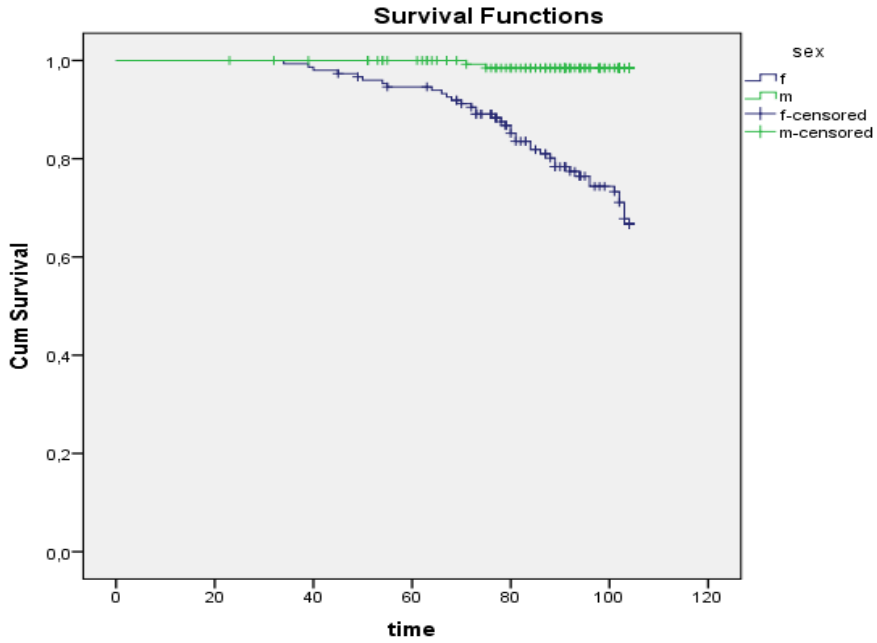


Figure 3. Survival Function by gender (K-M Curve)

The results of the Cox regression analysis are presented in Table 9. The results indicated that the incidence of tumours was 2.193 times higher in the treatment group than in the control group. This indicates that the drug elevated the risk of tumour formation by 119.3 percent ((2.193-1= 1.193) *100), i.e. 119.3 per cent) (p=0.011). A negative β value indicates that the event occurrence rate is lower in males than in females. The results indicate that the tumour occurrence rate is 95.3 per cent lower in males than in females (1 – 0.047 = 0.953, i.e. 95.3 percent reduction). These findings demonstrate that treatment and gender significantly influence the rate of occurrence of the event. The treatment group (those receiving treatment) is at a higher risk, while male rats are at a lower risk.

Table 9. Results of cox regression

	β	Standard error	Wald	p value	Exp (β)	95% confidence interval	
						Lower bound	Upper bound
Treatment	0.785	0.309	6.446	0.011	2.193	1.196	4.020
Gender	-3.063	0.725	17.865	0.000	0.047	0.011	0.193

-2LogLikelihood= -445.49, χ^2= 5.197, p= 0.023

4. Conclusion

The objective of this study was to provide a theoretical and practical guide for the utilisation of K-M and Cox regression analyses in livestock research. Despite the dearth of studies in the extant literature, the deployment of survival analyses in livestock data holds considerable promise, particularly in research that requires long-term observation.

The K-M analysis demonstrated the influence of the observation period on survival probabilities, while the Cox regression analysis facilitated the investigation of the factors contributing to these probabilities. The results of the analyses provided crucial insights into the identification and management of risk factors in the livestock sector. It is anticipated that the methodologies employed will inform the decision-making processes of both researchers and sector professionals.

One of the principal constraints of this study is the restricted scope of the data sets employed. The incorporation of larger and more heterogeneous data sets for survival analyses would enhance the generalisability of the findings.

Acknowledgements: This article is summarised from the first author's Master's thesis entitled 'Survival and an Application of Cox Regression Analysis in Livestock Production'.

This study is dedicated to Prof. Dr. Ercan EFE and Prof. Dr. Lale EFE, esteemed academicians who died in the Kahramanmaraş earthquake in 2023. Both professors made substantial contributions to their respective academic fields and inspired numerous researchers with their expertise and experience. They are renowned for their research expertise and academic excellence, this article aimed to perpetuate their scientific legacy and honour their memory.

Conflict of Interest Statement: The authors declare that they have no conflict of interest.

Authors' Contribution Declaration

Authors declare that they have contributed equally to the article.

References

Ata N., Karasoy D., Sözer MT. Orantısız hazarlar için parametrik ve yarı parametrik yaşam modelleri. İstatistikçiler Dergisi 2008; 1: 125-134.

Başar E. Yaşam sürdürme analizinde Cox-Aalen modeli. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2013; 17(1): 88-94.

Bulut V. Türkiye'de işsizlik süresini etkileyen faktörlerin yaşam çözümlemesi ile incelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2011.

Caetano SL., Rosa GJM., Savegnago RP., Ramos SB., Bezerra LAF., Lobo RB., de Paz CCP., Munari DP. Characterization of the variable cow's age at last calving as a measurement of longevity by using the Kaplan–Meier estimator and the Cox model. Animal 2013; 7(4): 540-546.

Cao N., Zhao A., Zhao G., Wang X., Han B., Lin R., Zhao Y., Yang J. Survival analyis of 272 patients with pancreatic cancer undergoing combined treatment. Integrative Cancer Therapies 2015; 14(2): 133-139.

Collett D. Texts in statistical science modelling survival data in medical research. Chapman and Hall/Crc 2003; ISBN: 1-58488-325-1.

Çekçeki ÖG. Orantılı hazard modelinin zamana bağlı değişkenlerle genişletilmesi ve çocuk suçluluğu üzerine bir uygulama. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2007.

Du M., Haag DG., Lynch JW., Mittinty MN. Comparison of the tree-based machine learning algorithms to cox regression in predicting the survival of oral and pharyngeal cancers: Analyses based on seer database. Cancers 2020; 12(10): 2802.

Grzesiak W., Adamczyk K., Zaborski D., Wójcik J. Estimation of dairy cow survival in the first three lactations for different culling reasons using the Kaplan–Meier Method. Animals 2022; 12(15): 1942.

Göktaş A., İşçi Ö., Atmaca SP., Çankaya MN. Zaman skalasında Box-Cox Regresyon yöntemi. Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 2012; 27(1): 57-70.

Hidayat Y., Subartini B., Khairunnisa N., Sambas A., Purwandari T. An estimated analysis of willingness to wait time to pay rice agricultural insurance premiums using cox's proportional hazards model. Mathematics 2022; 10(21): 3935.

Işık A. Cox regresyon modeli ile finansal başarısızlığın belirlenmesi üzerine bir uygulama. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2007.

İnceoğlu F. Sağkalım analiz yöntemleri ve karaciğer nakli verileri ile bir uygulama. İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü. Malatya, Yüksek Lisans Tezi, Malatya, 2013.

Karal Y. Cox regresyon modelinde kayıp veri analiz yöntemleri. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Samsun, 2014.

Karasoy D., Ata Tutkun N., Bulut V. Türkiye'deki işsizlik süresini etkileyen faktörler. Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi 2015; 11(26): 57-76.

Kardiyen F., Kaygısız G. Cox oransal hazard regresyon modeli ve trafik verilerine uygulanması. İstatistik Araştırma Dergisi 2011; 8(1): 43-58.

Kaygısız G. Cox oransal hazard regresyon modeli ve trafik verilerine uygulanması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2011.

Kleinbaum DG., Klein M. Survival analysis: A Self-Learning Text. 3rd Edition, Springer, New York, 2012.

Klein JP., Moeschberger ML. Survival analysis techniques for censored and truncated data. Springer, 1997.

Kılık Ş. Devlet destekli bireysel emeklilik sisteminin giriş- çıkış sürecinin Cox-regresyon analizi ile incelenmesi. Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri Ana Bilim Dalı, İstatistik Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2019.

Lundgreen CS., Larson DR., Atkinson EJ., Devick KL., Lewallen DG., Berry DJ., Kremers HM., Crowson CS. Adjusted survival curves ımprove understanding of multivariable cox model results. The Journal of Arthroplasty 2021; 36(10): 3367-3371.

Mantel N., Bohidar NR., Ciminera JL. Mantel-Haenszel analyses of litter-matched time to response data, with modifications for recovery of interlitter information. Cancer Research 1977; 37: 3863-3868.

Nagy Á., Munkácsy G., Győrffy B. Pancancer survival analysis of cancer hallmark genes. Sci Rep 2021; 11: 6047.

Ngolo N., Muhua G., Okuto E. Survival analysis of broilers in two poultry farms in Kaloleni Sub County. International Journal of Statistics and Applied Mathematics 2018; 3(5): 28-32.

Oralhan B. Trafik kazalarının yaşam analiziyle (survival analysis) incelenmesi: Kayseri Örneği. Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora tezi, Sivas, 2015.

Özdemir AA. Hayatta kalabilme analizi yöntemleri. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 1994.

Özşen D. Evlilik süresini etkileyen faktörlerin cox regresyon ile analizi. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2006.

Saygı H. Su ürünleri araştırmalarında yaşam modelleri ve kullanılan istatistiksel yöntemler. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, İzmir, 2007.

Sertkaya D., Ata N., Sözer MT. Yaşam çözümlemesinde zamana bağlı açıklayıcı değişkenli Cox regresyon modeli. Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Mecmuası 2005; 58: 153-158.

Sertkaya D. Lojistik ve Cox regresyon modellerinin incelenmesi ve karşılaştırılması. İstatistik Araştırma Dergisi 2004; 3(3): 31-42.

Showkat B., Singh D. Perceiving moisture damage of asphalt mixes containing RAP using survival analysis based on Kaplan-Meier estimator and Cox proportional hazards model. Construction and Building Materials 2022; 320: 126249.

Şimşek G. Bireysel emeklilik süresini etkileyen faktörlerin yaşam çözümlemesi ile incelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2013.

Türe M., Tokatli F., Kurt I. Using Kaplan-Meier analysis together with decision tree methods (cart, chaid, quest, c4.5and id3) in determining recurrence-free survival of breast cancer patients. Expert Systems with Applications 2009; 36: 2017-2026.

Yay M., Çoker E., Uysal Ö. Yaşam analizinde cox regresyon modeli ve artıkların incelenmesi. Cerrahpaşa Tıp Dergisi 2007; 38: 139-145.

Yetkin BB. Cox regresyon analizi ve bir uygulaması. Mimar Sinan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2006.

Thijssens OWM., Verhagen WJC. Application of extended Cox regression model to time-on-wing data of aircraft repairables. Reliability Engineering & System Safety 2020; 204: 107136.

Tuncay A. Sağkalım analizinde parametre tahmini, test istatistikleri ve bir uygulama. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Samsun, 2005.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1314-1332, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1314-1332, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Al7075-B_4C Kompozitlerin Tribolojik Özelliklerinin ve Mikroyapısının İncelenmesi

Aleyna TAŞKIN[1], Elif IŞIK[2], Mahmut Can ŞENEL[3*]

[1]Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 55020, Samsun
[2]Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 58010, Sivas
[3]Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 55020, Samsun

[1]https://orcid.org/0000-0002-8308-9957
[2]https://orcid.org/0000-0001-8289-9512
[3]https://orcid.org/0000-0001-7897-1366
*Sorumlu yazar: mahmutcan.senel@omu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 26.11.2024
Kabul tarihi:23.02.2025
Online Yayınlanma: 16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Al7075
B_4C
Toz metalürjisi
Sıcak presleme
Aşınma

ÖZ

Bu çalışmada; Al7075 matrisli B_4C takviyeli kompozitler toz metalürjisi ve sıcak presleme yöntemleri ile üretilmiştir. Al7075 matrise ağırlıkça %1, 3, 6, 9, 12, 15 ve 30 oranlarında B_4C ilave edilmiştir. Üretilen kompozitlerin deneysel yoğunluğu, Vickers sertliği, aşınma oranı ve sürtünme katsayısı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek deneysel yoğunluk (2,63 g/cm^3), Vickers sertliği (226 HV) ile en düşük aşınma oranı ((0,000091 mm^3/(Nm))), kütle kaybı (0,0012 g) ve sürtünme katsayısı (0,4) Al7075-30B_4C kompozitte elde edilmiştir. Al7075 alaşımına kıyasla bu kompozitte yoğunluk ve sertlik değeri sırasıyla %1,54 ve %76,6 oranında artmıştır. Bu artış kompozitin tribolojik özelliklerinin gelişmesine katkı sağlamıştır. Ayrıca yapılan mikroyapı analizleri ile bu kompozitte mikroyapının daha yoğun olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda Al7075 alaşımına belirli katkı oranında (ağırlıkça %30) B_4C ilave edildiğinde kompozitin mikroyapısının ve tribolojik özelliklerinin iyileştiği tespit edilmiştir.

Investigation of Tribological Properties and Microstructure of Al7075-B_4C Composites

Research Article

Article History:
Received: 26.11.2024
Accepted: 23.02.2025
Published online: 16.06.2025

Keywords:
Al7075
B_4C
Powder metallurgy
Hot pressıng
Wear

ABSTRACT

In this study, B_4C reinforced Al7075 matrix composites were produced by the powder metallurgy and hot-pressing methods. B_4C was added to the Al7075 matrix at the rates of 1, 3, 6, 9, 12, 15 and 30wt.%. The experimental density, Vickers hardness, wear rate and friction coefficient of the produced composites were determined. According to the results obtained, the highest experimental density (2.63 g/cm^3), Vickers hardness (226 HV) and the lowest wear rate ((0.000091 mm^3/(Nm))), mass loss (0.0012 g) and friction coefficient (0.4) were obtained in Al7075-30B_4C composite. Compared to Al7075 alloy, the density and hardness values of this composite increased by 1.54% and 76.6%, respectively. This increase contributed to the improvement of the tribological properties of the composite. In addition, the microstructural analyses showed that the microstructure was denser in this composite. As a result of the study, it was determined that when B_4C was added to Al7075 alloy at a certain reinforcement ratio (30wt.%), the microstructure and tribological properties of the composite were improved.

To Cite: Taşkın A., Işık E., Şenel MC. Al7075-B_4C Kompozitlerin Tribolojik Özelliklerinin ve Mikroyapısının İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1314-1332.

1. Giriş

Kompozit malzemeler; üstün özellikler elde etmek amacıyla en az iki malzemenin birbiri içerisinde çözünmeyecek şekilde bir araya getirilmesi ile meydana gelmektedir. Matris ve takviye elemanından oluşan kompozit malzemeler; yüksek mukavemet ve gelişmiş tribolojik özellikleri nedeniyle birçok alanda kullanılmaktadır. Kompozit malzemeler arasından alüminyum matrisli kompozitlere olan talep gün geçtikçe artmaktadır. Bunun sebebi; alüminyum esaslı kompozitlerin yüksek mukavemet, yüksek korozyon direnci, yüksek aşınma direnci ve düşük yoğunluğa sahip olmasıdır (Al Njjar ve ark., 2024). Alüminyum alaşımları arasında saf alüminyumla kıyaslandığında en yüksek dayanıma, korozyon direncine, aşınma direncine 7xxx serisi alaşımlardan olan Al7075 sahiptir. Al7075 alaşımı; düşük ağırlık/mukavemet oranı, düşük yoğunluk, yüksek korozyon ve sürünme direnci ile havacılık ve savunma sanayi başta olmak üzere birçok alanda tercih edilmektedir (Singh ve Sethuraman, 2024). Bu nedenle Al7075 alaşımı, kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin mekanik ve tribolojik özelliklerini iyileştirmek ve malzeme ömrünü uzatmak amacıyla bir takım takviye elemanları kullanılmaktadır. Al7075 matrisli kompozitlerde takviye elemanı olarak; bor karbür (B_4C), silisyum nitrür (Si_3N_4), silisyum karbür (SiC), zirkonyum oksit (ZrO_2) gibi mukavemet artırıcı seramik malzemeler tercih edilmektedir (Sadhu ve ark., 2023).

B_4C; mükemmel mekanik ve tribolojik özelliklerinden dolayı zırhlar, kesici takımlar ve yüksek aşınma direnci gerektiren malzemelerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Cheng ve ark., 2017). Bor karbür, seramik malzemeler arasında elmas ve kübik bor nitrürden sonra bilinen en sert malzeme olup Mohs sertlik skalasında 9 ile 10 arasında bulunmaktadır (Görmez, 2024; Pul, 2024). Yüksek sertliği, düşük yoğunluğu ve mükemmel tribolojik özellikleri ile kompozitlerin kalitesini geliştirmek için ideal bir takviye elemanıdır (Zhao ve ark., 2016). Özellikle metal matrisli kompozitlerde, mekanik ve tribolojik özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır (Hynes ve ark., 2020).

Al matrisli kompozitlerin üretiminde karıştırmalı döküm, sıvı infiltrasyon, eklemeli imalat, toz metalürjisi vb. birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasından toz metalürjisi yönteminin diğer üretim yöntemlerine göre çeşitli avantajları bulunmaktadır. Düşük enerji tüketimi, düşük üretim sıcaklığı ve çeşitli malzemelerin kullanılabilirliği bu avantajlara örnek olarak verilebilmektedir. Toz metalürjisi yönteminde matris ve takviye tozları belirli oranlarda karıştırılarak presleme işlemi ile şekillendirilmektedir. Ardından sıkıştırılan tozlara ısıl işlem uygulanarak mukavemet kazandırılmaktadır. Sonrasında ikincil işlemler uygulanarak üretim tamamlanmaktadır (Akgümüş ve ark., 2024).

Literatürde Al matrisli B_4C takviyeli kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelendiği birçok çalışma bulunmaktadır. Baradeswaran ve Perumal tarafından yapılan çalışmada, karıştırma döküm yöntemi kullanılarak Al7075-B_4C kompozitleri üretilmiştir. Kompozitlerde katkı oranının artmasıyla kompozitlerin sertlik, çekme ve basma dayanımının arttığı belirlenmiştir. En yüksek Brinel

sertliği (200 BHN), çekme dayanımı (300 MPa) ve basma dayanımı (330 MPa) Al7075-20B_4C kompozitte elde edilmiştir. En iyi tribolojik özellikler ise Al7075-10B_4C kompozitte tespit edilmiştir. Bu kompozitte aşınma oranının Al7075 alaşımının %11'i kadar olduğu ifade edilmiştir (Baradeswaran ve Perumal, 2013). Raksha ve ark., karıştırmalı döküm yöntemini kullanarak Al2011 matrise farklı oranlarda (%2, 4 ve 6) B_4C ilave ederek Al2011-B_4C kompozitleri üretmişlerdir. En iyi mekanik özellikler %6 bor karbür katkı oranında elde edilmiştir. Sertlik, çekme dayanımı ve basma dayanımında Al2011 alaşımına kıyasla sırasıyla %50, %34,6 ve %32,3 oranlarında artış meydana gelmiştir. Sonuç olarak bor karbür katkı oranının Al2011 matrisli kompozitin mekanik ve tribolojik özelliklerini iyileştirdiği belirtilmiştir (Raksha ve ark., 2023). Gök ve ark. yaptıkları çalışmada toz metalürjisi ile üretilen Al esaslı Al_2O_3 (alümina), SiC (silisyum karbür), B_4C ve MgO (magnezyum oksit) takviyeli kompozitleri üretmişlerdir. Elde ettikleri kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde sinterleme parametrelerinin etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda sinterleme süresi ve sıcaklığının artması ile kompozitlerin yoğunluğunun arttığı ve yapıdaki gözenek oranının azaldığı belirlenmiştir. SiC ve B_4C'nin üstün mukavemet ve sertlik özelliklerinden dolayı yüksek aşınma direnci gerektiren uygulamalarda kullanımının uygun olduğunu vurgulamışlardır (Gök ve ark., 2024). Doğan ve Mutlu tarafından yapılan çalışmada toz metalürjisi yöntemi kullanılarak Al2024 matrise ağırlıkça %7, %10, %15 ve %20 oranlarında B_4C takviye edilerek kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretim sırasında üç farklı (550ºC, 575ºC ve 595ºC) sinterleme sıcaklığı kullanılmış ve üretilen kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiştir. En yüksek eğme dayanımı (85,09 MPa) Al2024-10B_4C kompozitte 595ºC sinterleme sıcaklığında elde edilmiştir. En yüksek sertlik değeri (71,73 HB) ise Al2024-20B_4C kompozitte 595ºC sinterleme sıcaklığında tespit edilmiştir. Bor karbürün kompozitin mekanik özelliklerini iyileştirdiği ancak %10 katkı oranı üzerinde eklenmesi durumunda yapıda gözenek oluşumuna sebep olarak eğme dayanımının azalmasına neden olduğu belirtilmiştir (Doğan ve Mutlu, 2023). Srinivas ve ark. Al6061 matrise ağırlıkça %2, %4 ve %6 oranlarında B_4C ve SiC ilave etmişlerdir. Toz metalürjisi ile ürettikleri kompozitlerin mekanik ve tribolojik özellikleri üzerinde katkı oranı ve sinterleme sıcaklığının etkisini incelemişlerdir. En yüksek sertlik değeri ve aşınma direnci Al6061-6SiC-2B_4C kompozitte elde edilmiştir. Kompozitlere uygulanan farklı sinterleme sıcaklıkları (800ºC, 825ºC ve 850ºC) sonucunda en iyi özellikler 850ºC sinterleme sıcaklığında belirlenmiştir (Srinivas ve ark., 2024). Kantheti ve ark. yaptıkları çalışmada Al7075 matrisli grafit (Gr, ağırlıkça %4, 5 ve 6) ve bor karbür (ağırlıkça %4, 5 ve 6) takviyeli kompozitleri üretmişlerdir. Üretim yöntemi olarak karıştırmalı döküm yöntemini tercih etmişlerdir. Yürütülen testler sonucunda en yüksek sertlik, darbe dayanımı, çekme dayanımı ve akma dayanımı Al7075-6Gr-4B_4C kompozitte elde edilmiştir. Bu kompozitte Al7075 alaşımına kıyasla sertlik, darbe dayanımı, çekme dayanımı ve akma dayanımı sırasıyla %18, %110, %88,24 ve %85,31 oranlarında artış göstermiştir. Farklı yükler (20, 40, 60, 80 ve 100 N) altında uygulanan aşınma test sonuçlarına göre en düşük aşınma oranı Al7075-5Gr-5B_4C kompozitte belirlenmiştir. Sonuçlar, belirli bir katkı oranına kadar grafit ve bor karbürün Al7075 matrisli kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerini geliştirdiğini göstermektedir (Kantheti ve ark., 2024).

Ramesh ve ark. yaptıkları çalışmada zirkonyum diborür (ZrB_2) ve B_4C takviyeli Al2014 matrisli kompozitleri üretmişlerdir. Al2014 matrise ağırlıkça %5, 10, 15 ZrB_2 ve %5 B_4C takviye ederek katkı oranının kompozitin mekanik ve tribolojik özelliklerine olan etkisini incelemişlerdir. Al2014-15ZrB_2-5B_4C kompozitin sertlik ve çekme dayanımında Al2014 alaşımına kıyasla %31,86 ve %44,1 oranında artış belirlenmiştir. Aşınma testleri sonucunda en yüksek aşınma direnci aynı kompozitte elde edilmiştir (Ramesh ve ark., 2024).

Literatür çalışmaları incelendiğinde farklı yöntemlerle üretilen Al matrisli B_4C takviyeli kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelendiği birçok çalışma bulunmaktadır. Ancak toz metalürjisi ve indüksiyon altında sıcak presleme yöntemleri ile üretilen Al7075 matrisli B_4C takviyeli kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelendiği herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Geleneksel sinterleme işlemleri yüksek enerji maliyetine neden olurken, alternatif sinterleme yöntemleri bu sorunu çözmek için geliştirilmiştir. İndüksiyonla sıcak presleme kısa sürede ve tane büyümesi olmaksızın istenilen sinterleme sıcaklıklarına ulaşmayı sağlamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada toz metalürjisi ve indüksiyonla sıcak presleme yöntemleri ile Al7075-B_4C kompozitleri üretilerek bor karbür katkı oranının kompozitin mekanik ve tribolojik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada matris malzemesi olarak Al7075 alaşımı, takviye elemanı olarak ise B_4C tozu kullanılmıştır. Al7075 alaşım tozu ve B_4C tozu, Nanografi (Türkiye) firmasından satın alınmıştır. Al7075 alaşımı, yüksek dayanım, yüksek elektrik iletkenliği, düşük hafiflik gibi özelliklerinden dolayı tercih edilmiştir (Kumar ve ark., 2024). Çinko elementinin yoğun olduğu Al7075 alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir (Ahmad ve ark., 2024). Al7075 alaşım tozu ~10 µm tane boyutuna, 2,81 g/cm^3 yoğunluğa ve 221 MPa çekme dayanımına sahiptir. B_4C tozu ise yüksek sertlik, yüksek darbe dayanımı ve yüksek aşınma direnci gibi özelliklerinden dolayı takviye malzemesi olarak seçilmiştir (Karakoç ve ark., 2024). B_4C tozu; ~44 µm tane boyutuna, 2,52 g/cm^3 yoğunluğa, 155-162 MPa çekme dayanımına sahiptir. Al7075 ve B_4C'ye ait genel özellikler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Al7075 alaşımının kimyasal bileşimi (% ağırlıkça) (Ahmad ve ark., 2024)

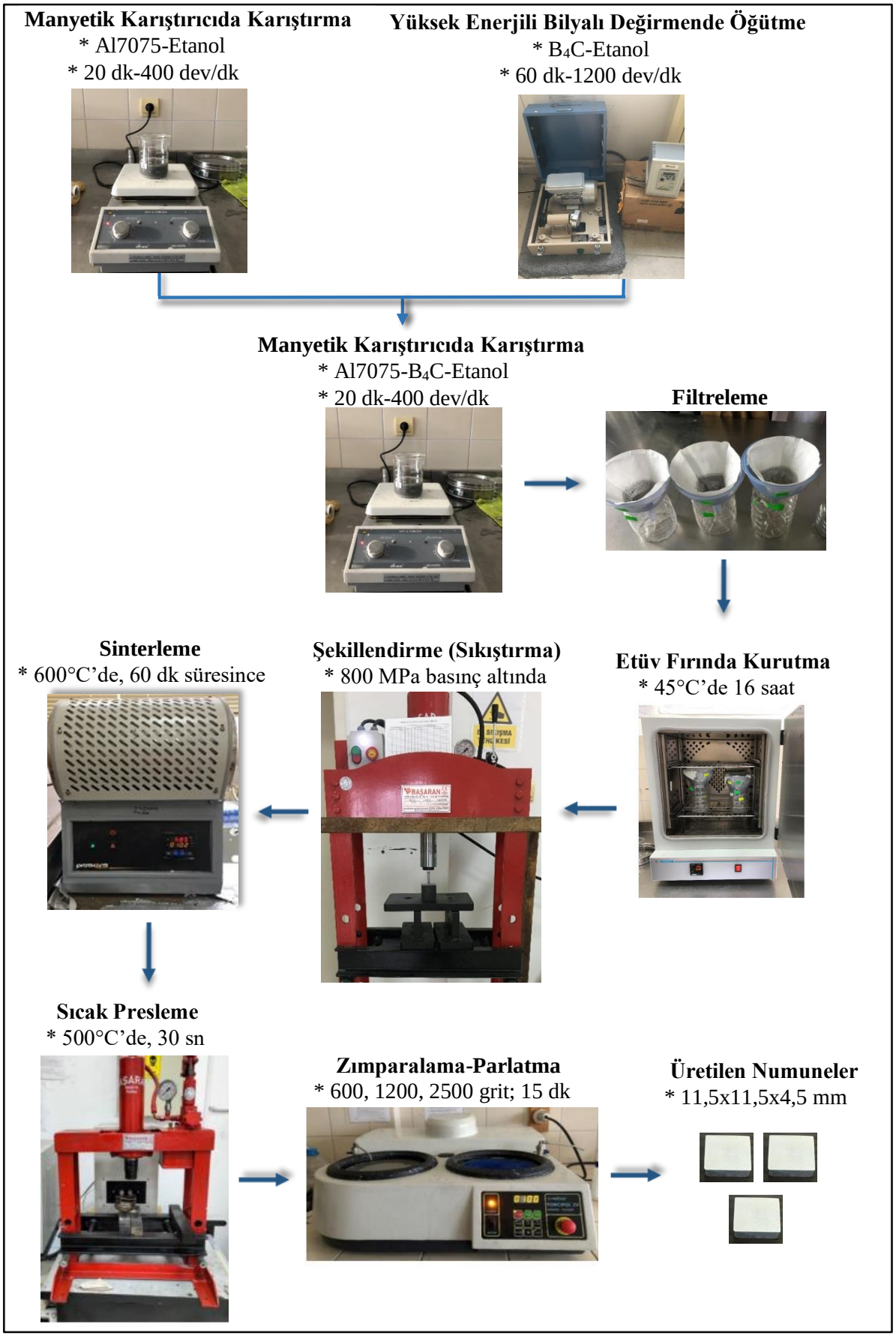
Zn	Cu	Mg	Si	Mn	Fe	Cr	Ti	Diğer	Al
5,10-6,10	1,20-2	2,10-2,90	0,40	0,30	0,50	0,18-0,28	0,20	0,15	Kalan

Tablo 2. Al7075 ve B_4C'ye ait genel özellikler

Malzeme	Yoğunluk (g/cm^3)	Sertlik (HV)	Çekme Dayanımı (MPa)	Ergime Sıcaklığı (°C)	Elastisite Modülü (GPa)
Al7075	2,81	68	221	635	71,7
B_4C	2,52	2700-3500	155-162	2400	290-450

2.2. Metot

Toz metalürjisi ve sıcak presleme yöntemleri kullanılarak üretilen Al7075 matrisli B_4C takviyeli kompozit malzemelerin üretim aşamaları Şekil 1'de verilmiştir. İlk olarak Al7075 alaşım tozu etanol ile birlikte ısıtıcılı manyetik karıştırıcıda 20 dk süresince 400 dev/dk hızda karıştırılmıştır. B_4C takviye malzemesi ise etanol içerisinde yüksek enerjili bilyeli değirmende 60 dk süresince 1200 dev/dk hızda öğütülmüştür. Sonrasında iki karışım birleştirilerek homojen bir kıvam elde etmek amacıyla manyetik karıştırıcıda 20 dk süresince 400 dev/dk hızda karıştırılmıştır. Ardından karışımdan etanolün uzaklaştırılması amacıyla filtreleme işlemi yapılmıştır. Karışım içerisinde kalan nemi uzaklaştırmak için etüv fırın kullanılarak sürekli vakum altında 45°C'de 16 saat süresince kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kurutulan toz karışım 800 MPa basınç altında hidrolik pres makinesinde şekillendirilmiştir. Elde edilen ham numunelerin mukavemet kazanması amacıyla 600°C'de 60 dk süresince sinterleme ve 500°C'de 30 sn süresince indüksiyon altında sıcak presleme işlemi uygulanmıştır (Gaylan ve ark., 2023; Şenel ve Demir, 2023). Ardından numune yüzeylerinin pürüzsüz olması için 600, 1200, 2500 gritlik su zımparaları kullanılarak 15 dk boyunca zımparalama işlemi yapılmıştır. Son olarak numune yüzeyleri elmas solüsyon ile elmas çuha kullanılarak 15 dk boyunca parlatılmıştır. Bu üretim aşamaları sonucunda elde edilen numunelerin tribolojik özellikleri ve mikroyapısı incelenmiştir.



Şekil 1. Al7075-B_4C kompozit numunelerin üretim aşamaları

Çalışma kapsamında Al7075 ve B_4C tozlarının tane boyutlarını doğrulamak amacıyla Malvern marka Mastersizer 3000 model tane boyut ölçüm cihazı kullanılmıştır. Tozların mikroyapılarını, kompozitlerin kırık yüzey görüntülerini ve aşınmış yüzeyleri incelemek için SEM (taramalı elektron mikroskobu) analizi gerçekleştirilmiştir. Bunun için Jeol marka JSM-7001F model SEM cihazı kullanılmıştır. Ardından, numunelerin faz analizi Rigaku marka Smartlab model X-ışını kırınım cihazı (XRD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Üretilen kompozitlerin deneysel yoğunlukları (ρ_D) Eşitlik 1'de verilen Arşimet presibi ile belirlenmiştir. Eşitlikte yer alan m_A numunelerin sudaki asılı kütlesini, m_D numunelerin suya doymuş kütlesini ve m_K kuru kütlelerini temsil etmektedir. ρ_{su} ise suyun yoğunluğunu ifade etmekte olup 1 g/cm^3 alınarak hesaplama yapılmıştır.

$$\rho_D = [m_K/(m_D - m_A)]\rho_{su} \quad (1)$$

Numunelerin teorik yoğunluğu (ρ_K) Eşitlik 2 kullanılarak belirlenmiştir. Eşitlikte yer alan ρ_M ve $\%M$ matris malzemesi olan Al7075 alaşımının teorik yoğunluğunu ve ağırlıkça katkı oranını ifade etmektedir. ρ_{TK} ve $\%TK$ ise takviye elemanı olan B_4C'nin teorik yoğunluğunu ve ağırlıkça katkı oranını temsil etmektedir.

$$\rho_K = (\%M \times \rho_M) + (\%TK \times \rho_{TK}) \quad (2)$$

Numunelerin gözeneklilik oranı (%G) ise Eşitlik 3 ile hesaplanmıştır. Gözeneklilik oranı kompozitlerin mekanik özelliklerini doğrudan etkileyen bir parametredir. Bu parametre yapı içerisindeki boşluk miktarını temsil etmektedir (Karakoç, 2020). Gözeneklilik oranı yüksek olan malzemenin dayanımı düşük olmaktadır. Bu nedenle gözeneklilik oranının yüksek olması kompozit malzemenin dayanımı açısından istenmeyen bir durumdur.

$$\%G = \left(1 - \left(\rho_D / \rho_K\right)\right) \times 100 \quad (3)$$

Üretilen kompozitlerin sertlik değerleri (HV) ASTM E384 standardı esas alınıp mikro Vickers sertlik ölçme cihazı (HV1000B) kullanılarak belirlenmiştir (Altunbaş, 2023). Numune yüzeyine 1,961 N'luk yük (P) 15 s boyunca uygulanmıştır. Numune yüzeyindeki kare tabanlı piramitin ortalama köşegen uzunluğu (d) ölçülerek Eşitlik 4 ile kompozitin sertlik değeri tespit edilmiştir. Her numuneden 7 ölçüm alınarak ortalama Vickers sertliği değeri hesaplanmıştır (Bai ve ark., 2019; Şenel ve ark., 2024).

$$HV = \frac{1{,}8544 \times P}{d^2} \quad (4)$$

Kompozit malzemelerin tribolojik özellikleri (aşınma oranı, kütle kaybı ve sürtünme katsayısı) Şekil 2'de gösterilen GUNT marka TM260 model pin-on disk aşınma test cihazı ile ASTM G99-05 standardı esas alınarak belirlenmiştir (Arık, 2019). Aşınma testleri 200 dev/dk hızda, 1000 m kayma mesafesinde

ve 5-10 N yükleme altında gerçekleştirilmiştir. Böylelikle aşınma yükünün kompozit malzeme üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Şekil 2. Aşınma test cihazı görüntüsü

İlk olarak numunelerin test sırasında ne kadar aşınmaya maruz kaldığını ifade eden aşınma oranı (W) belirlenmiştir (Eşitlik 5). Herhangi bir malzemenin aşınma oranının düşük olması, aşınmaya karşı direncinin yüksek olduğunu ve bu malzemenin aşındırıcı ortamlarda kullanılabileceğini göstermektedir.

$$W = \Delta V/(F \times L) \tag{5}$$

Eşitlikte ΔV aşınma hacmini, F uygulanan yükü ve L kayma mesafesini temsil etmektedir. Aşınma hacmi (ΔV) ise Eşitlik 6 ile hesaplanmaktadır. Eşitlikte yer alan m_i ve m_s sırasıyla aşınma öncesi ve aşınma sonrası numune kütlesini temsil etmektedir. ρ_D ise deneysel yoğunluğu ifade etmektedir (Kumar ve ark., 2024).

$$\Delta V = (m_i - m_s)/\rho_D \tag{6}$$

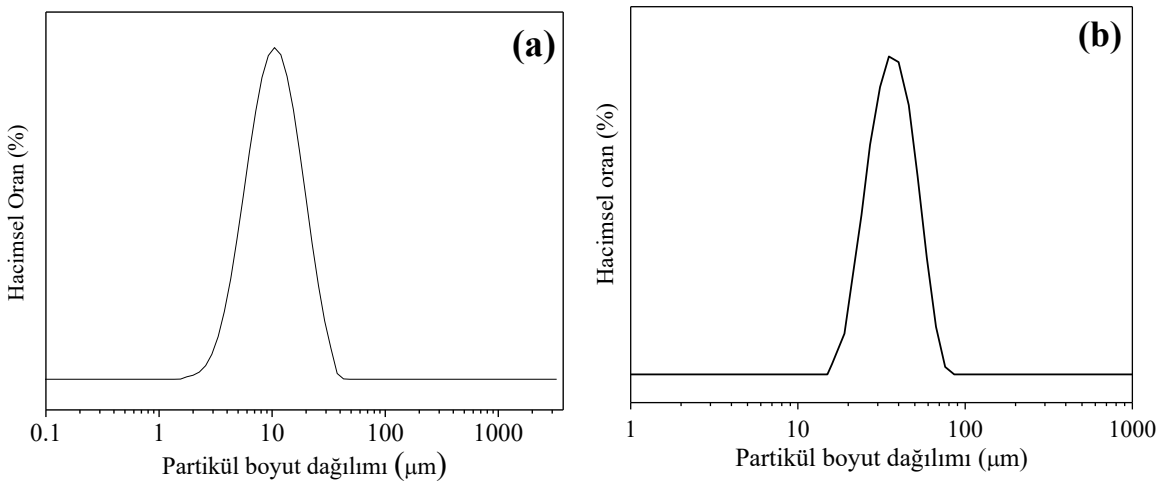
Kayma mesafesi (L) ise test sırasında alınan yolu belirtmekte ve Eşitlik 7 ile hesaplanmaktadır. Eşitlikte r kullanılan aşındırıcı diskin yarıçapı (20 mm), n diskin dönme hızı (200 dev/dk) ve t test süresidir (40 dk) (Şenel ve ark., 2024).

$$L = 2\pi \times r \times n \times t \tag{7}$$

3. Bulgular ve Tartışma

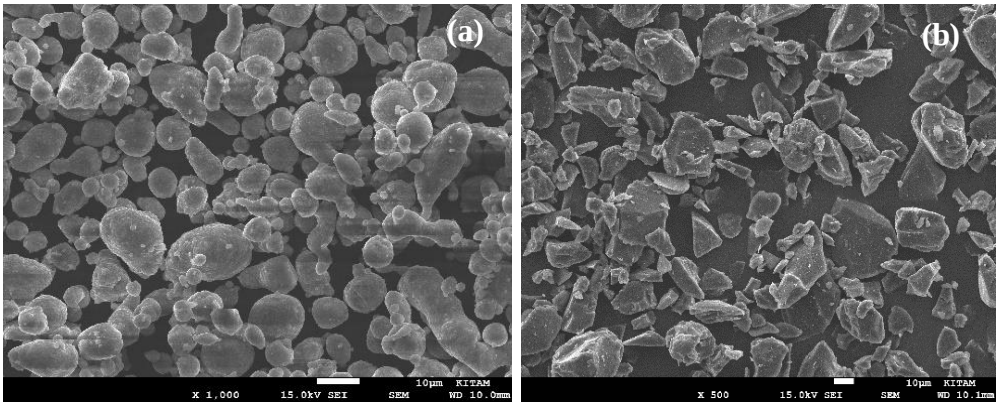
3.1. Tozların Karakterizasyonu

Çalışma kapsamında Al7075 ve B_4C tozlarının partikül boyut dağılımı Şekil 3'te verilmiştir. Tane boyutu ölçüm analizine göre Al7075 alaşım partiküllerinin d50=~10 µm ortalama tane boyutunda olduğu belirlenirken; B_4C partiküllerinin ise d50=~44 µm ortalama tane boyutunda olduğu tespit edilmiştir.



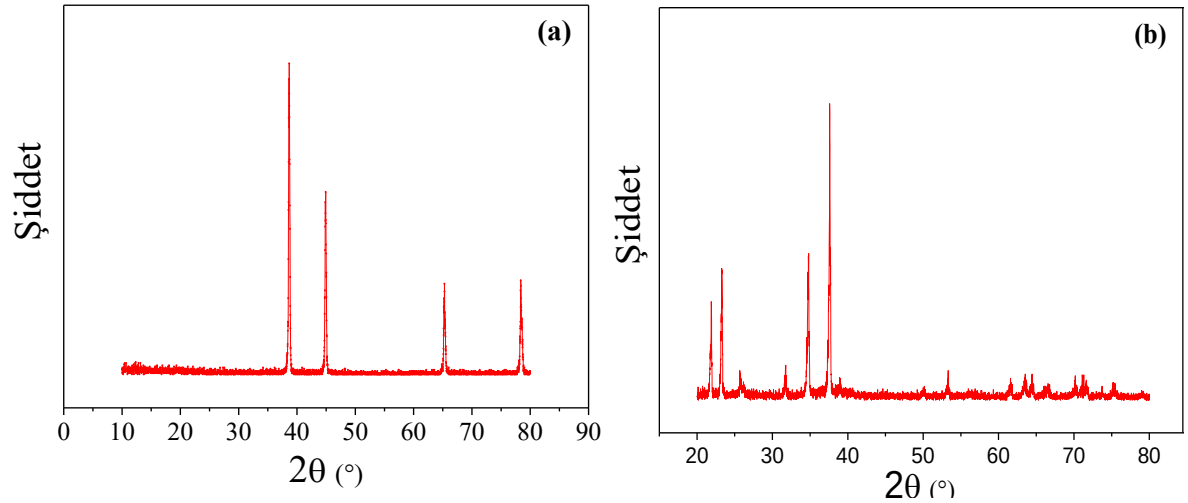
Şekil 3. Al7075 (a) ve B_4C (b) tozlarına ait tane boyutu dağılımı

Matris ve takviye malzemesi olarak kullanılan tozların mikroyapıları, üretilen kompozitlerin özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle Al7075 ve B_4C tozlarının mikroyapılarını incelemek amacıyla gerçekleştirilen SEM analizi sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde; Al7075 alaşım tozunun küresel bir yapıda olduğu görülmektedir. Bu küresel yapısı sayesinde Al7075 tozu üretim sırasında homojenliği artırmaktadır. B_4C tozunun ise keskin kenarlı bir yapıya sahip olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4. Al7075 (a) ve B_4C (b) tozlarına ait SEM görüntüleri

Şekil 5'te Al7075 alaşımı ve B_4C tozlarının XRD ile gerçekleştirilen faz analizleri verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde; Al7075 alaşımına ait karakteristik kırınım açılarının yaklaşık olarak 2θ = ~38°, 45°, 66° ve 78° olduğu belirlenmiştir. Bu açılar, Al7075 alaşımının temel kristal yapısını temsil etmektedir. Takviye elemanı olan bor karbür tozunun faz analizine bakıldığında ise kırınım açılarının yaklaşık olarak 2θ = ~22°, 23°, 26°, 32°, 35°, 38°, 39°, 50°, 54°, 62°, 64°, 67°, 72°, 74°, 75° ve 78° olduğu tespit edilmiştir. Bu geniş aralık kullanılan takviye elemanının faz çeşitliliğini göstermektedir. Yapılan XRD analizleri, üretilen kompozit malzemelerin kristal yapısının ve fazlarının belirlenmesi açısından önemlidir. Kompozitin genel özelliklerini iyileştirebilmek için matris malzemesi ve takviye elemanının faz yapılarının doğru bir şekilde belirlenebilmesi kritik bir işlemdir.



Şekil 5. Al7075 alaşım (a) ve B_4C (b) tozlarına ait XRD örgü desenleri

3.2. Yoğunluk ve Sertlik Sonuçları

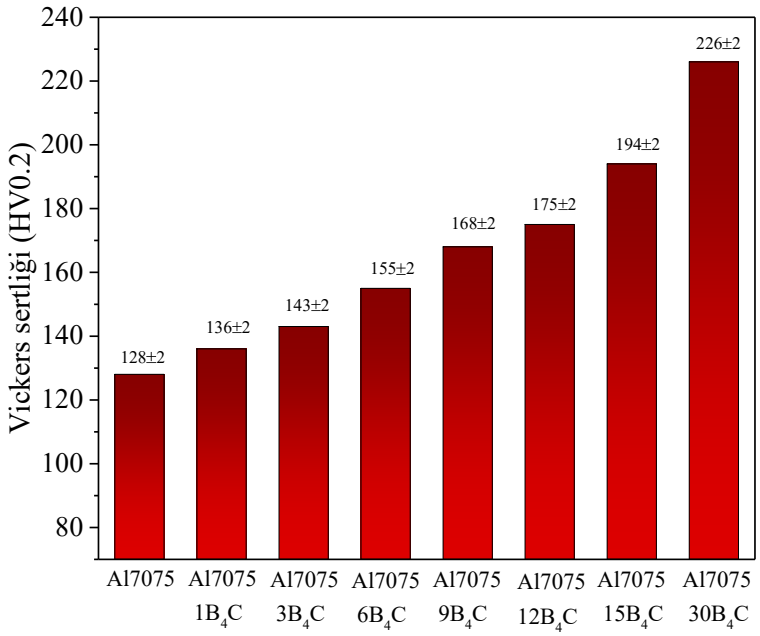
Al7075 alaşımı ve Al7075-B_4C kompozitlerin deneysel yoğunluk ve gözeneklilik oranı değerleri Tablo 3'te verilmiştir. En yüksek yoğunluk (2,63 g/cm^3) ve en düşük gözeneklilik oranı (%0,5) %30 B_4C katkı oranında elde edilmiştir. Çalışmada ağırlıkça %30'dan daha fazla B_4C takviyesi yapılmamıştır. Bunun sebebi, minimum takviye oranı ile yüksek mekanik ve tribolojik özelliklere sahip kompozit malzeme üretebilmektir. Ayrıca takviye oranının %30'u geçmesi durumunda bor karbür partikülleri yapı içerisinde homojen dağılmayabilmektedir. Bu durum da üretilen malzemenin özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle Al7075 matrise ilave edilebilecek maksimum bor karbür katkı oranı %30'dur (Lee ve ark., 2021; Şenel ve ark., 2022).

Tablo 3 incelendiğinde; bor karbür katkı oranının artmasıyla kompozitin yoğunluk değerinin arttığı ve gözeneklilik oranının azaldığı görülmektedir. Bu durum bor karbür katkısının, kompozitin genel özellikleri üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır (Çelik ve Seçilmiş, 2017). Bor karbür, yüksek yoğunluğa sahip bir malzeme olduğundan dolayı katkı oranının artmasıyla kompozit yapının yoğunluğunu artırmıştır. Ayrıca sıcak presleme işlemi sırasında sıcaklık ve basıncın aynı anda uygulanması ile yapı içerisindeki taneler birbirlerine yaklaşarak taneler arası boşlukların kapanmasına yol açmıştır. Böylece kompozitin gözeneklilik oranı, hem bor karbür katkı oranının artırılması hem de sıcak presleme işleminin uygulanması ile azalmıştır.

Tablo 3. Al7075 alaşımı ve Al7075-B_4C kompozitlerin deneysel yoğunluk ve gözeneklilik oranı değerleri

Malzeme	Deneysel Yoğunluk (g/cm^3)	Gözeneklilik Oranı (%)
Al7075	2,59	9,7
Al7075-1B_4C	2,6	7,4
Al7075-3B_4C	2,61	6,6
Al7075-6B_4C	2,61	6
Al7075-9B_4C	2,62	5,1
Al7075-12B_4C	2,62	4,5
Al7075-15B_4C	2,63	3,6
Al7075-30B_4C	2,63	0,5

Şekil 6'da Al7075 ve Al7075-B_4C kompozitlerin katkı oranına bağlı olarak Vickers sertlik değerleri verilmiştir. En yüksek sertlik değeri (226 HV) Al7075-30B_4C kompozitte elde edilmiştir. Bu kompozitte sertlik değeri Al7075 alaşımının sertlik değerine kıyasla (128 HV) %76,6 oranında artmıştır. Şekil 6 incelendiğinde bor karbür katkı oranının artmasıyla kompozitlerin sertlik değerlerinde artış meydana geldiği görülmektedir (Topcu ve ark., 2009). Bu durum yüksek sertliğe sahip olan bor karbür partiküllerinin kompozitin sertliğini doğrudan etkilediğini göstermektedir. Bu sert partiküller yapı içerisinde dislokasyon hareketine engel olarak kompozitin dayanımını artırmıştır. Dislokasyon hareketinin kısıtlanması malzemenin plastik deformasyona karşı direncini artırmaktadır. Böylelikle malzemenin dayanımında artış meydana gelmektedir.



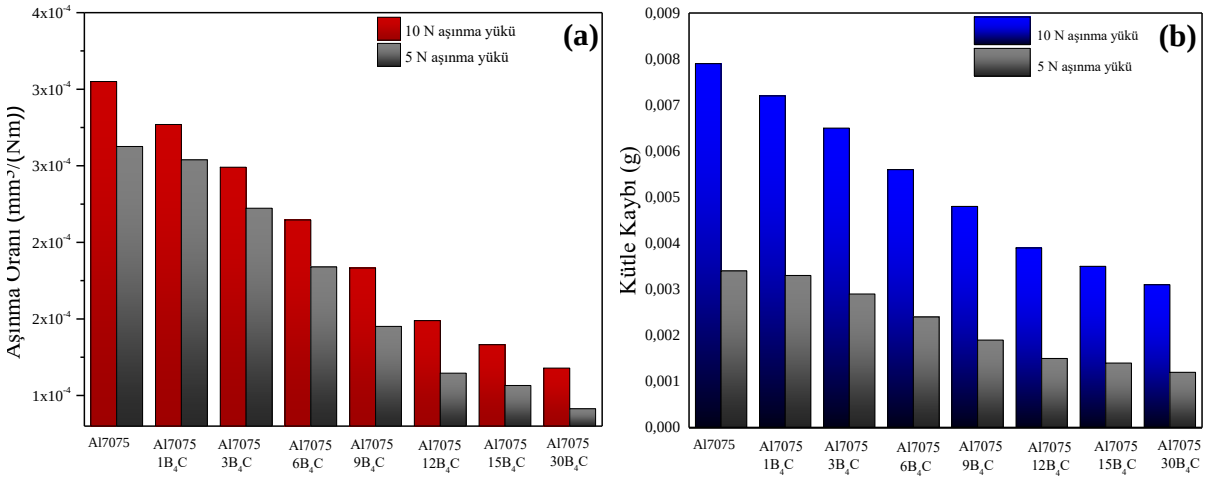
Şekil 6. Al7075 alaşımı ve Al7075-B_4C kompozitlerin Vickers sertlik değerleri

3.3. Tribolojik Test Sonuçları

Üretilen Al7075 alaşımı ve Al7075-B_4C kompozitlerin aşınma oranı ve kütle kaybı değerleri Şekil 7'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde uygulanan yükün artmasıyla aşınma oranı ve kütle kaybı artmıştır. Çünkü yükün artması ile numune ve aşındırıcı disk arasındaki temas alanı genişlemekte ve daha fazla aşınma meydana gelmektedir. En yüksek aşınma oranı (0,00031 (mm^3/(Nm)) ve kütle kaybı (0,0079 g) Al7075 alaşımında 10 N yüklemede belirlenmiştir. En düşük aşınma oranı (0,000091 (mm^3/(Nm)) ve kütle kaybı (0,0012 g) ise Al7075-30B_4C kompozitte 5 N yüklemede elde edilmiştir. Takviye elemanının yüksek sertlik özelliğinden dolayı katkı oranının artmasıyla kompozitin aşınma oranı ve kütle kaybı azalmıştır. Bundan dolayı bor karbürün Al7075 matrisli kompozitin tribolojik özelliklerini iyileştirdiği belirlenmiştir (Baradeswaran ve Perumal, 2013). Kompozitler arasında en yüksek sertlik değeri %30 B_4C katkısında elde edilmiştir. Bu nedenle en düşük aşınma oranı da Al7075-30B_4C kompozitte tespit edilmiştir. Bu durum Archard eşitliği ile açıklanabilmektedir (Eşitlik 8). Eşitlikte yer alan F aşınma sırasında uygulanan yükü, L kayma mesafesini ve H sertliği ifade etmektedir. Archard

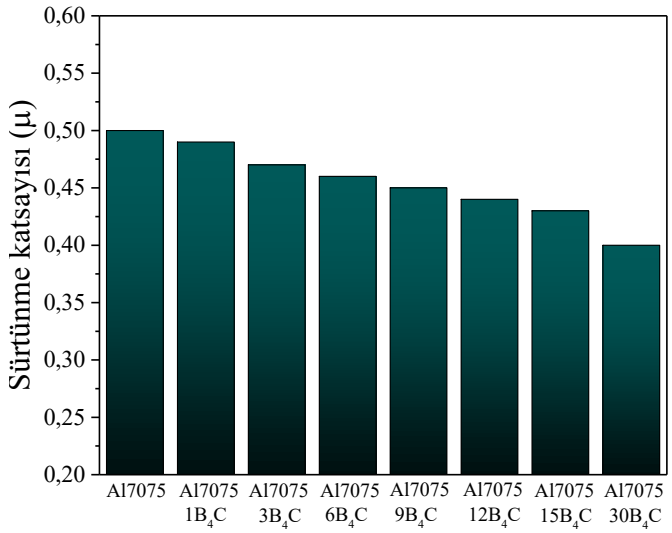
eşitliğine göre sertlik ve aşınma oranı ters orantılıdır. Başka bir ifadeyle sertliği yüksek olan bir malzemenin aşınma oranı daha düşüktür (Valizade ve Farhat, 2024).

$$\Delta V = F \times \mu \times \frac{L}{H} \tag{8}$$



Şekil 7. Al7075 ve Al7075-B_4C kompozitlerin (a) aşınma oranı ve (b) kütle kaybı değerleri

Al7075 alaşımı ve Al7075-B_4C kompozitlere ait sürtünme katsayıları Şekil 8'de verilmiştir. En yüksek sürtünme katsayısı (0,5) aşındırıcı disk (paslanmaz çelik) ile Al7075 alaşımı arasında belirlenmiştir. Bu durum aşınmanın Al7075 alaşımında daha fazla olduğunu doğrulamaktadır. En düşük sürtünme katsayısı (0,4) ise Al7075-30B_4C kompozitte elde edilmiştir. Bunun sebebi takviye partiküllerinin kompozitin aşınma direncini iyileştirmesi ve buna bağlı olarak kompozit ile aşındırıcı disk arasında sürtünmenin azalmasıdır.

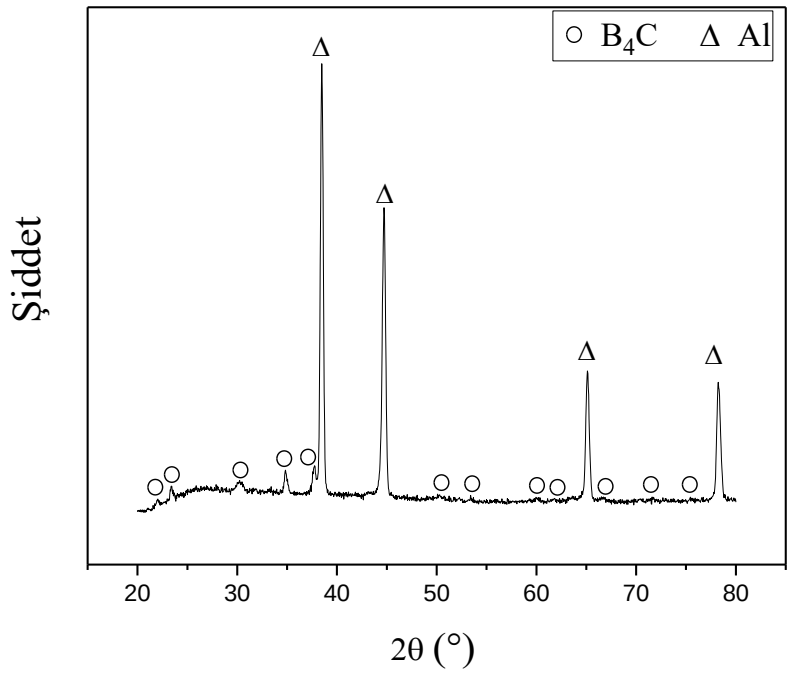


Şekil 8. Al7075 alaşımı ve Al7075-B_4C kompozitlerin sürtünme katsayısı değerleri

3.4. Kompozitlerin Karakterizasyonu

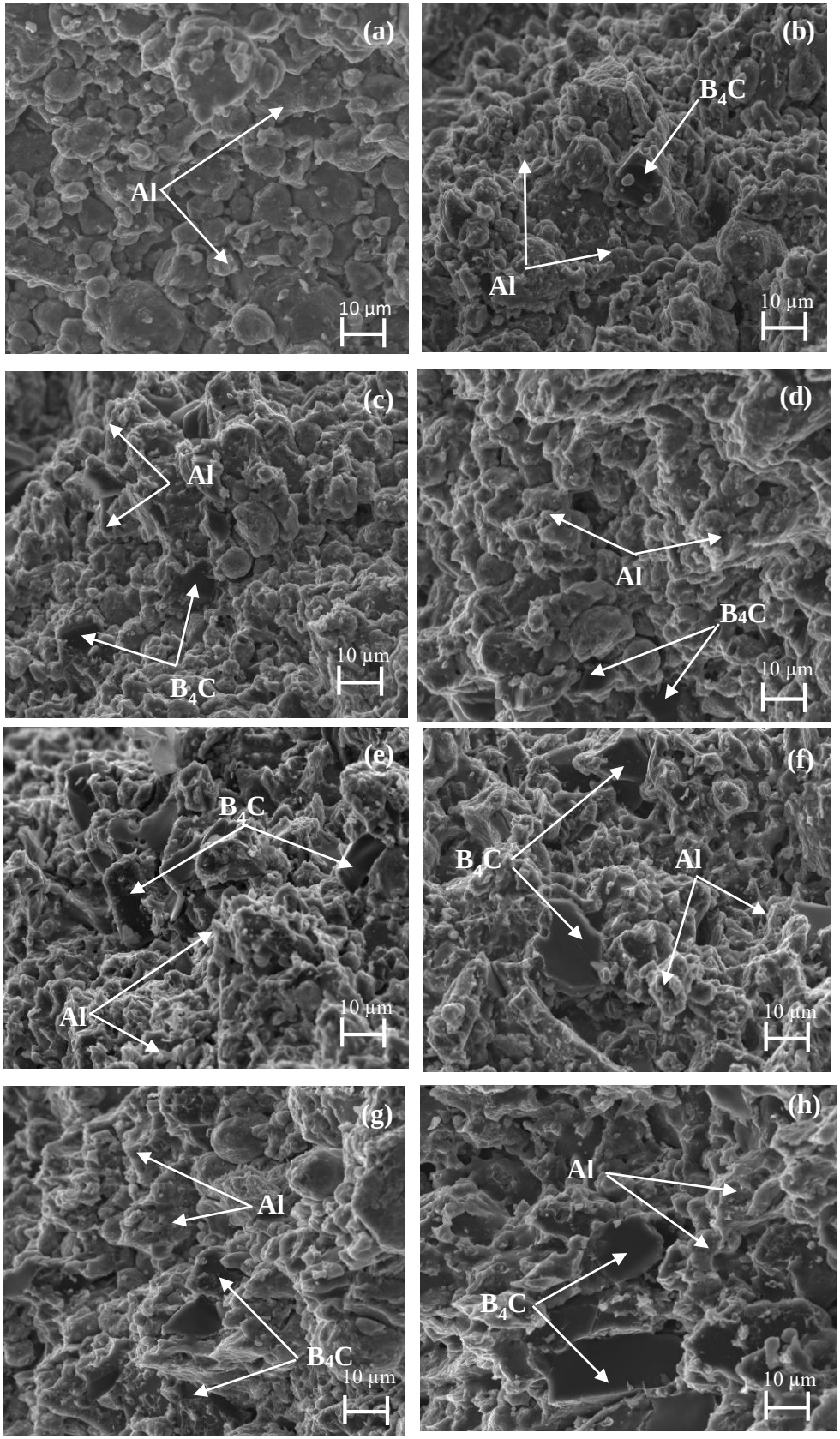
Al7075-30B_4C kompozitin X-ışını kırınım analiz sonuçları Şekil 9'da verilmiştir. Bu analiz ile kompozit içerisindeki fazlar belirlenmiştir. Şekilde alüminyum fazı "Δ" sembolüyle, bor karbür fazı "○" sembolü

ile ifade edilmiştir. XRD analizi incelendiğinde tüm fazların yalnızca alüminyum ve bor karbüre ait olduğu görülmektedir. Bu durum kompozit içerisinde Al_4C_3 gibi istenmeyen ikincil fazların oluşmadığı anlamına gelmektedir. İkincil fazlar sert ve kırılgan yapılarından dolayı malzemenin yapısal bütünlüğünü bozarak mekanik ve tribolojik özelliklerini olumsuz etkileyebilmektedir. Ancak yapılan çalışmada doğru üretim parametreleri seçilerek ikincil faz oluşumu önlenmiştir.



Şekil 9. Al7075-30B_4C kompozite ait XRD grafiği

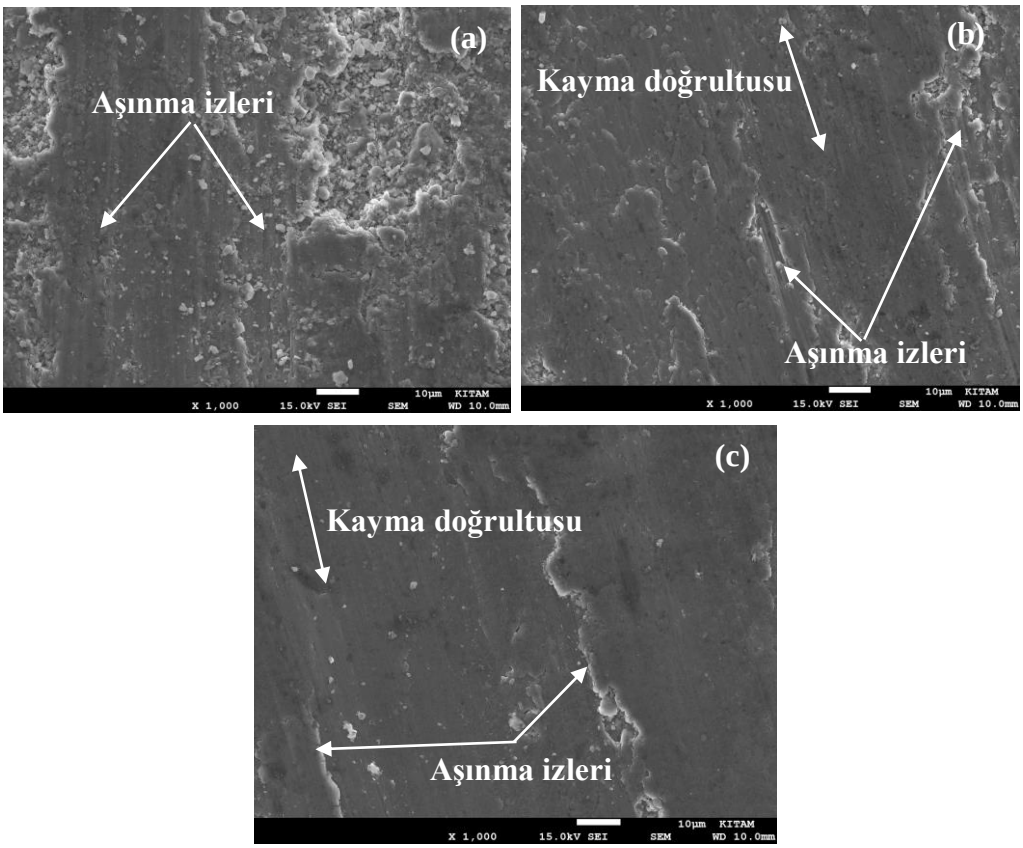
Al7075 alaşımı, Al7075-B_4C kompozitlere ait SEM görüntüleri Şekil 10'da verilmiştir. Şekil incelendiğinde; bor karbür partiküllerinin matris yapı içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Katkı oranının artmasıyla mikroyapıdaki gözenekliliğin azaldığı ve daha yoğun bir yapı oluştuğu gözlemlenmiştir. Mikroyapı yoğunluğu kompozit malzemenin mekanik ve tribolojik özelliklerinin gelişmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle en iyi mekanik ve tribolojik özellikler %30 B_4C katkısında elde edilmiştir. Ayrıca sıcak presleme işleminin etkisi ile taneler arasında boyun oluşumu tespit edilmiştir. Böylelikle taneler birbirine daha iyi bağlanmış ve kompozitin dayanımında artış meydana gelmiştir.



Şekil 10. Al7075 alaşımına (a), Al7075-1B_4C (b), Al7075-3B_4C (c), Al7075-6B_4C (d), Al7075-9B_4C (e), Al7075-12B_4C (f), Al7075-15B_4C (g) ve Al7075-30B_4C (h) kompozitlere ait SEM görüntüleri

3.5. Aşınmış Yüzey Görüntüleri

Al7075 alaşımı ve Al7075-B_4C kompozitlere ait aşınma yüzeyi SEM görüntüleri Şekil 11'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde; aşınma sırasında abrasif aşınma mekanizmasının etkili olduğu görülmektedir. Abrasif aşınma mekanizması, aşındırıcı malzemenin sert partiküller veya pürüzlü yüzey ile yumuşak yüzeyi çizerek malzeme kaldırması ile meydana gelmektedir (Pul, 2025). Yumuşak yüzeyden malzeme kaldırılması ile oluk, çukur veya çizikler oluşmaktadır. Kompozitlere ait SEM görüntülerinde de oluk ve çizikler gözlemlenmiştir. Bu nedenle aşınma olayının abrasif aşınma mekanizması ile gerçekleştiği ifade edilebilmektedir. Ayrıca Al7075 alaşımına ait yüzey görüntüsünde aşınma izlerinin daha derin olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebi; aşındırıcı diskin Al7075 alaşımına ait yumuşak yüzeyden, bor karbür takviyeli kompozitlere göre daha fazla malzeme kaldırmasıdır. Bu sebeple Al7075 alaşımında plastik deformasyon izleri daha belirgindir. Ancak bor karbür takviyesi ile malzemenin sertliği artmış ve aşınmaya karşı daha fazla direnç kazanmıştır. Bundan dolayı en zayıf aşınma izleri Al7075-30B_4C kompozitte elde edilmiştir. SEM görüntüleri mekanik ve tribolojik test sonuçlarını doğrulamaktadır.



Şekil 11. Al7075 alaşımına (a), Al7075-15B_4C (b) ve Al7075-30B_4C (c) kompozitlere ait aşınmış yüzey SEM görüntüleri

4. Sonuçlar

Yürütülen bu çalışmada Al7075 matrisli B_4C takviyeli (%1, 3, 6, 9, 12, 15 ve 30 katkı oranlarında) kompozitler toz metalürjisi ve sıcak presleme yöntemleri kullanılarak üretilmiştir. Üretilen

kompozitlerin mikroyapısı, mekanik ve tribolojik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Al7075-B_4C kompozitlere uygulanan testler sonucunda en yüksek yoğunluk (2,63 g/cm^3) Al7075-30B_4C kompozitte belirlenmiştir. Bu kompozitte yoğunluk değeri Al7075 alaşımına kıyasla %1,54 oranında artmıştır. Al7075-3B_4C, Al7075-9B_4C ve Al7075-12B_4C kompozitlerde Al7075 alaşımına kıyasla yoğunluk değeri sırasıyla %0,77, %1,16 ve %1,16 oranında artmıştır. En yüksek artış %30 B_4C katkı oranında elde edilmiştir. Bu durum, bor karbür partiküllerinin yoğun yapısından ve taneler arasındaki gözenekliliği azaltan sıcak presleme işleminin etkisinden kaynaklanmaktadır.
- Al7075-B_4C kompozitleri arasında en yüksek sertlik değeri (226 HV) %30 B_4C katkı oranında tespit edilmiştir. Al7075 alaşımına kıyasla %30 B_4C katkı oranında sertlik değerlerinde %76,6 oranında artış meydana gelmiştir. Al7075-3B_4C, Al7075-9B_4C ve Al7075-12B_4C kompozitlerde Al7075 alaşımına kıyasla sertlik değeri sırasıyla %11,71, %31,25 ve %36,71 oranında artmıştır. En yüksek artış %30 B_4C katkı oranında elde edilmiştir. Sertlikteki bu artış, yüksek sertliğe sahip olan B_4C partiküllerinin dislokasyon hareketlerini kısıtlaması ve kompozitin plastik deformasyona karşı direncini artırmasından dolayıdır.
- Üretilen kompozitler arasında en düşük aşınma oranı (0,000091 mm^3/(Nm)), en düşük kütle kaybı (0,0012 g) ve en düşük sürtünme katsayısı (0,4) Al7075-30B_4C kompozitte tespit edilmiştir. Takviye elemanının yüksek sertliğinin kompozitin aşınmaya karşı direncini artırdığı belirlenmiştir. Bu sert partiküller aşınmaya karşı etkili bir bariyer oluşturarak malzeme yüzeyinin deformasyonunu azaltmıştır.
- SEM görüntüleri incelendiğinde ise katkı oranının artırılmasından dolayı taneler arasındaki boşluğun azaldığı ve tanelerin birbirlerine daha iyi bağlandığı görülmektedir. Böylelikle kompozitin mekanik ve tribolojik özelliklerinin iyileştiği doğrulanmıştır.
- Bor karbür katkı oranındaki artış, Al7075 matrisli kompozitlerin hem mekanik hem de tribolojik özelliklerini iyileştirmiştir. Ancak, %30'un üzerindeki katkı oranlarında homojenliğin azalarak kompozitin özellikleri olumsuz etkilenebilmektedir. Bu nedenle, optimum katkı oranı %30 olarak belirlenmiştir.

Sonuç olarak Al7075 matrise ağırlıkça %30B_4C katkısı kompozitin mekanik ve tribolojik özelliklerini önemli ölçüde geliştirmektedir. Gelişmiş özelliklere sahip olan Al7075-B_4C kompozitlerinin yüksek dayanım ve yüksek aşınma direnci gerektiren uygulamalar için ideal bir malzeme olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.

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

Ahmad S., Tian Y., Wahab A., Kumar R., Iqbal F., Dangi S., Alansari A., Prakash C., Kit C. Experimental studies on mechanical properties of Al-7075/TiO_2 metal matrix composite and its tribological behaviour. Journal of Materials Research and Technology 2024; 8539–8552.

Akgümüş GD., Bayraktar C., Hoşkun M. A review on processing, mechanical and wear properties of Al matrix composites reinforced with Al_2O_3, SiC, B_4C and MgO by powder metallurgy method. Journal of Materials Research and Technology 2024; 1132–1150.

Al Njjar A., Mazloum K., Sata A. Optimization of powder metallurgy parameters for improving the major properties of AA7075/SiC composites for aerospace applications. Journal of Materials Engineering and Performance 2024; 1-14.

Altuntaş, O. Taguchi based gray relational analysis of production parameters of Al7075/B_4C/GNP's hybrid composites. Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology 2023;11(3): 850-856.

Arık H. Al-Si_3N_4 toz metal kompozit malzeme üretimi ve aşınma davranışının araştırılması. Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology 2019; 7(4): 776-787.

Bai S., Perevoshchikova N., Sha Y., Wu X. The effects of selective laser melting process parameters on relative density of the AlSi10Mg parts and suitable procedures of the archimedes method. Applied Sciences 2019; 9(3).

Baradeswaran AEPA., Perumal AE. Influence of B_4C on the tribological and mechanical properties of Al 7075–B_4C composites. Composites Part B: Engineering 2013; 54: 146-152.

Cheng C., Reddy KM., Hirata A., Fujita T., Chen M. Structure and mechanical properties of boron-rich boron carbides. Journal of the European Ceramic Society 2017; 37(15): 4514–4523.

Çelik YH., Seçilmiş K. Investigation of wear behaviours of Al matrix composites reinforced with different B_4C rate produced by powder metallurgy method. Advanced Powder Technology 2017; 28(9): 2218-2224.

Doğan H., Mutlu Y. Production of B_4C reinforced composite materials and investigation of their bending strength. Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences 2023; 9(2): 323-330.

Gaylan Y., Avar B., Panigrahi M., Aygün B., Karabulut A. Effect of the B_4C content on microstructure, microhardness, corrosion, and neutron shielding properties of Al–B_4C composites. Ceramics International 2023; 49(3): 5479-5488.

Gök DA., Bayraktar C., Hoşkun M. A review on processing, mechanical and wear properties of Al matrix composites reinforced with Al_2O_3, SiC, B_4C and MgO by powder metallurgy method. Journal of Materials Research and Technology 2024.

Görmez AE. The production of B_4C reinforced metal matrix composite from waste AZ91 magnesium

alloy using the ball milling method. Journal of New Results in Science 2024; 13(1): 36–46.

Hynes NRJ., Raja S., Tharmaraj R., Pruncu CI., Dispinar D. Mechanical and tribological characteristics of boron carbide reinforcement of AA6061 matrix composite. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering 2020; 42(4): 1–11.

Kantheti PR., Meena KL., Chekuri RBR. Experimental investigation on mechanical and tribological behavior features of gr/B_4C reinforced AA7075 alloy matrix using induction stir casting. Cogent Engineering 2024; 11(1).

Karakoç H., Bilgin M., Karabulut, Ş. Study on the friction drilling behaviors and tribological properties of aluminum matrix composites. Materials Today Communications 2024; 38.

Karakoç H. Toz metal Al7075/B_4C/Si_3N_4 kompozit malzemelerin üretimi ve aşınma özelliklerinin incelenmesi. Politeknik Dergisi 2020; 23(4): 1141-1151.

Kumar JP., Smart DSR., Manova S., Akinwande AA., Kumar MS. Mechanical and tribological assessment of AA7075 reinforced Si_3N_4/TaC/Ti hybrid metal matrix composites processed through stir casting process. Advances in Materials and Processing Technologies 2024; 10(3): 2331–2353.

Lee D., Kim J., Park B., Jo I., Lee SK., Kim Y., Lee SB., Cho S. Mechanical and thermal neutron absorbing properties of B_4C/aluminum alloy composites fabricated by stir casting and hot rolling process. Metals 2021; 11(3): 413.

Pul M. Analysis of the effect of boron carbide amount on mechanical, thermal, and electrical properties of copper based boron carbide added composites. Journal of Materials Engineering and Performance 2024; 1-13.

Pul M. Magnezya takviyeli 7075 alüminyum alaşımı matrisli kompozitlerde üretim parametrelerinin abrasif aşınma davranışına etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi 2025; 27(79): 1-10.

Raksha MS., Adaveesh B., Nagaral M., Boppana SB., Anjinappa C., Khan MS., Wahab MOA., Islam S., Bhardwaj V., Palavalasa RK., Khan MA., Razak A. Impact of boron carbide particles and weight percentage on the mechanical and wear characterization of Al2011 alloy metal composites. ACS Omega 2023; 8(26): 23763–23771.

Ramesh BR., Rajendran C., Saiyathibrahim A., Rajkumar V. Influence of B_4C and ZrB_2 reinforcements on microstructural, mechanical and wear behaviour of AA 2014 aluminium matrix hybrid composites. Defence Technology 2024; 40: 242-254.

Sadhu KK., Mandal N., Sahoo RR. SiC/graphene reinforced aluminum metal matrix composites prepared by powder metallurgy: A review. Journal of Manufacturing Processes 2023; 10–43.

Srinivas J., Kumar SB., Sekar SD., Sekar S., Jeevamalar J., Saravanan R., Anbuchezhiyan G. Effect of varying temperature on sintering SiC/B_4C reinforced Al6061 alloy composites using vacuum sintering method. Materials Today: Proceedings 2024.

Şenel, MC., Demir M. Effect of induction heat treatment process and graphene/B_4C amount on the

tribological and mechanical properties of Al6061 hybrid composites. The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society 2023; 75(7): 2554-2568.

Şenel MC., Kanca Y., Gürbüz M. Reciprocating sliding wear properties of sintered Al-B_4C composites. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials 2022; 29(6): 1261-1269.

Şenel MC., Taşkın A., Demir M., Gürbüz M. The effect of induction heat treatment on mechanical and tribological properties of Si_3N_4 and graphene reinforced Al6061 matrix composites. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 2024; 39(3): 1567–1581.

Singh NK., Sethuraman B. Development and characterization of aluminium AA7075 hybrid composite foams (AHCFs) using SiC and TiB_2 reinforcement. International Journal of Metalcasting 2024; 18(1): 212–227.

Topcu I., Gulsoy HO., Kadioglu N., Gulluoglu AN. Processing and mechanical properties of B_4C reinforced Al matrix composites. Journal of Alloys and Compounds 2009; 482(1-2): 516-521.

Valizade N., Farhat Z. A review on abrasive wear of aluminum composites: mechanisms and influencing factors. Journal of Composites Science 2024; 8(4).

Zhao Q., Yu L., Xi L., Ren L. Microstructure and dry-sliding wear behavior of B_4C ceramic particulate reinforced Al 5083 matrix composite. Metals 2016; 6(227): 1.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1333-1352, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1333-1352, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Farmasötik Ürünlerde Empagliflozin Tayini İçin Yeşil bir HPLC Yönteminin Geliştirilmesi ve Validasyonu

İbrahim BULDUK[1], Erten AKBEL[2*], Serdar GÜNGÖR[3], Süleyman GÖKÇE[4]

[1]Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 03200, Afyonkarahisar
[2]Uşak Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, 64200, Uşak
[3]Uşak Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, 64200, Uşak
[4]Uşak Üniversitesi, Bilimsel Analiz ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi, 64200, Uşak

[1]https://orcid.org/0000-0001-6172-7738
[2]https://orcid.org/0000-0002-6954-3658
[3]https://orcid.org/0000-0003-2062-2424
[4]https://orcid.org/0000-0001-9744-0245
*Sorumlu yazar: erten.akbel@usak.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 31.01.2025
Kabul tarihi:16.03.2025
Online Yayınlanma:16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Yeşil analitik metod
Empagliflozin
Kromatografik metod

ÖZ

Bu çalışmada, empagliflozinin farmasötik ürünlerdeki miktar tayini için iki farklı kromatografik yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan ilki mobil fazda organik modifier olarak asetonitril kullanılan klasik yöntem, ikincisi ise mobil fazda organik modifier olarak etanol kullanılan yeşil yöntemdir. Klasik yöntemde Extend C18 kolon (250 x 4,6 mm, 5 µm) kullanılmış ve sıcaklık 30°C'de sabit tutulmuştur. Mobil faz olarak formik asit çözeltisi (ultra saf suda %0,1) ve asetonitril (55/45, v/v) kullanılmış ve izokratik elüsyon uygulanmıştır. Mobil faz akış hızı 1,0 mL dk^{-1} ve enjeksiyon hacmi 10 µL dir. Dedeksiyon UV dedektör kullanılarak 223 nm de gerçekleştirilmiştir. Yeşil yöntemde organik modifier olarak etanol kullanılmıştır. Her iki kromatografik yöntem koşulları aynı olmasına rağmen, tek fark organik modifierdir. Her iki kromatografik yöntem de seçicilik, doğrusallık, doğruluk, kesinlik, saptama ve miktar belirleme limiti ve sağlamlık gibi çeşitli parametreler açısından İlaçlar için Teknik Gereksinimlerin Uyumlaştırılmasına İlişkin Uluslararası Konsey (ICH) kılavuzlarına göre valide edilmiştir. Kromatografik yöntemlerin 5-30 mg mL^{-1} gliklazid konsantrasyon aralığında korelasyon katsayıları 0.999'dan büyüktür. Geliştirilen kromatografik yöntemler farmasötik formülasyonlara uygulanmıştır. Elde edilen sonuçların ortalamalar açısından karşılaştırmaları Student (t) testi, standart sapmalar açısından karşılaştırmaları ise Fischer (F) testi kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntemler arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Her iki yöntemin çevresel etkisi AGREE ve GAPI yazılımları kullanılarak değerlendirilmiş ve sürdürülebilirlikleri teyit edilmiştir. Bu valide edilmiş metotlar, tablet formülasyonlarında Empagliflozinin kantitatif analizi için güvenilir ve çevre dostu yaklaşımlar sunarak farmasötik analizlerde daha güvenli ve sürdürülebilir laboratuvar uygulamalarını desteklemektedir. Farmasötik ürünlerdeki Empagliflozinin kantitatif analizi için yeni yaklaşım, şu anda kullanılan yöntemlere ekonomik ve ekolojik açıdan sorumlu bir alternatif olarak görülebilir.

Development and Validation of A Green HPLC Method for Determination of Empagliflozin in Pharmaceutical Products

Research Article

ABSTRACT

Article History:
Received: 31.01.2025
Accepted: 16.03.2025
Published online:16.06.2025

Keywords:
Green analytical method
Empagliflozin
Chromatographic method

In this study, two different chromatographic methods were developed for the quantification of empagliflozin in pharmaceutical products. The first was the classical method using acetonitrile as an organic modifier in the mobile phase, and the second was the green method using ethanol as an organic modifier in the mobile phase. In the classical method, an Extend C18 column (250 x 4.6 mm, 5 µm) was used and the temperature was kept constant at 30 °C. The mobile phase was the formic acid solution (0.1% in ultrapure water) and acetonitrile (55/45, v/v), and isocratic elution was applied. The flow rate of the mobile phase was 1.0 mL min^{-1} and the injection volume was 10 µL. Detection was performed using a UV detector at 223 nm. In the green method, ethanol was used as an organic modifier. The only difference between these methods was the organic modifier. All other conditions of the methods were identical. Both chromatographic methods were validated according to ICH guidelines for various parameters such as selectivity, linearity, accuracy, precision, limit of detection and quantification, and robustness. The coefficients of determination of the chromatographic methods were greater than 0.9990 in the concentration range of 5-30 mg mL^{-1} glyclazide. The developed chromatographic methods were applied to pharmaceutical formulations. Comparisons of the results obtained in terms of means were made using the Student (t) test and in terms of standard deviations using the Fischer (F) test. The methods used did not differ much from one another. The environmental impact of both methods was evaluated using AGREE and GAPI software, confirming their sustainability. These validated methods provide reliable and environmentally friendly approaches for the quantitative analysis of Empagliflozin in tablet formulations, supporting safer and more sustainable laboratory practices in pharmaceutical analysis. For the quantitative analysis of Empagliflozin in pharmaceutical products, the new approach can be viewed as an affordable and ecologically responsible alternative to the methods now in use.

To Cite: Bulduk İ., Akbel E., Güngör S., Gökçe S. Development and Validation of A Green HPLC Method for Determination of Empagliflozin in Pharmaceutical Products. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1333-1352.

1.Introduction

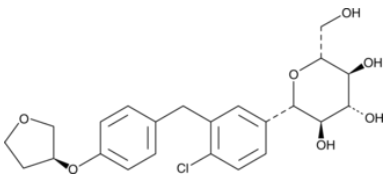
High-performance liquid chromatography (HPLC) is the most commonly used technique for drug analysis. It is extensively applied in the quality control of pharmaceuticals, stability testing of products, identification of drug degradation products, characterization of drug impurities, and analysis of biological samples. HPLC methods using reverse phase mode, typically involving a hydrophobic stationary phase and a polar mobile phase, are being developed in pharmaceutical labs. The Ultraviolet (UV)/Visible (VIS) detector mode is commonly employed in quality control laboratories. Consequently, while creating a pharmaceutical analysis method, the compatibility of the mobile phase with the detector is a crucial consideration. HPLC mobile phases generally consist of a mixture of water (with additives to adjust pH and ionic strength) and organic solvents like acetonitrile or methanol (Snyder, 2009). These solvents possess distinct chromatographic properties, making them preferred choices for HPLC analysis. They are available in the high purity necessary for HPLC applications and are miscible with water in any ratio. Their aqueous solutions exhibit low viscosity and a low UV cut-off wavelength. Additionally, they have minimal chemical reactivity with HPLC instruments, columns, and many types of samples (Snyder, 2009; Welch et al., 2010). Despite their excellent chromatographic properties, acetonitrile and methanol present certain health and

environmental concerns. Acetonitrile is a volatile, flammable, and toxic substance. While methanol is biodegradable and less toxic than acetonitrile, it is still classified as a hazardous solvent due to its toxicity and the significant challenges associated with waste disposal (ICH, 2005; Sheldon, 2012). Unfortunately, the amount of waste generated during HPLC analysis is significant. In a typical HPLC system, around 1-1.5 liters of waste are produced per day, amounting to approximately 500 liters per year (Welch et al., 2010). While this volume may seem small compared to the waste produced by large industrial manufacturers, this number is even higher in research laboratories where hundreds of liquid chromatographs are used in pharmaceutical companies. As a result, large amounts of toxic waste are generated daily. With technological advancements, the use of HPLC is becoming increasingly widespread, leading to a corresponding rise in waste production. These wastes, which contain significant amounts of acetonitrile and methanol, must be treated as chemical waste. This not only increases the environmental waste disposal burden in laboratories but also incurs high disposal costs. As a result, analytical chemists are searching for innovative ways to replace polluting analytical techniques with more ecologically friendly ones. The development of environmentally friendly HPLC methods has garnered significant attention from analytical chemists, who are actively seeking new alternatives to replace pollutive analytical techniques with cleaner options. Eliminating the use of hazardous chemicals has become essential in creating methods that are both environmentally and operator-friendly, without compromising analytical performance (Tobiszewski, 2010). All stages of the HPLC analysis process—ranging from sample preparation to separation and final determination—hold the potential for being made more environmentally and operator-friendly (Keith, 2007; Gałuszka, 2012; Tobiszewski, 2015; Tobiszewski, 2016).

In HPLC, a mixture of organic solvents and water-based additives form mobile phases to adjust pH and ionic strength. Acetonitrile and methanol are two common organic solvents used in HPLC. Unfortunately, both solvents are classified as hazardous due to their toxic effects and the significant importance of safe waste disposal. Because of this, they should be used as little as possible (Sheldon, 2012). Since developing an HPLC method without organic solvents is challenging, acetonitrile and methanol should be replaced with less hazardous alternatives to make the method more environmentally friendly and reduce its adverse effects on operator health (Capello, 2007). Ethanol is an environmentally friendly organic solvent (Płotka et al., 2013). Compared to acetonitrile and methanol, ethanol is less harmful. Its low vapor pressure reduces evaporation and minimizes the amount inhaled by operators. Additionally, ethanol is widely accessible and more affordable than other organic solvents, making it a practical choice for laboratories with limited resources, particularly in developing countries (Welch et al., 2010). Furthermore, ethanol's disposal costs are lower due to its eco-friendly waste properties, which is a significant advantage in regions where chemical waste disposal is costly. In chromatography, ethanol exhibits properties similar to those of acetonitrile and methanol (Miyabe et al., 1999). Column-filling materials and adsorption mechanisms are quite similar. It has similar separation mechanisms when using different solvents. When ethanol is used instead of

acetonitrile or methanol, chromatographic separation of a mixture containing basic and neutral compounds yields similar peak results (Ribeiro et al., 2002). According to organic solvent classifications, ethanol belongs to the same selectivity group as methanol (Shen et al., 2015). However, using ethanol in HPLC has two primary disadvantages (Mohamed, 2015). The first is that ethanol has a higher UV cut-off (210 nm) compared to methanol and acetonitrile. This can increase background noise and significantly shift the baseline, reducing sensitivity in gradient elution systems (Snyder, 2009). However, ethanol's high UV cut-off value may not pose an issue if the target compounds have strong UV chromophores. The second disadvantage is related to the viscosity of ethanol/water mixtures, which is higher at room temperature compared to methanol/water and acetonitrile/water mixtures. Increased viscosity leads to higher column pressure, limiting the use of ethanol in conventional chromatography systems (Shaaban and Górecki, 2015). Column temperature plays a crucial role in selectivity, yield, and mobile phase viscosity. Raising the column temperature lowers the mobile phase viscosity, thereby reducing column pressure. Empagliflozin, a new-generation oral antidiabetic drug, promotes renal glucose excretion and is used for treating type 2 diabetes and heart failure (Wittich and Beckman, 2020). The physicochemical properties of empagliflozin are detailed in Table 1 (https://go.drugbank.com/drugs/DB09038).

Table 1. The physicochemical properties of empagliflozin

Property	Value
Name	(2S,3R,4R,5S,6R)-2-[4-chloro-3-[[4-[(3S)-oxolan-3-yl]oxyphenyl]methyl]phenyl]-6-(hydroxymethyl)oxane-3,4,5-triol
Formula	$C_{23}H_{27}ClO_7$
Structure	
Molecular weight	450.90
Melting point	151-153 ^{0}C
Log P	1.79
pKa (Strongest Acidic)	12.57
pKa (Strongest Basic)	-3.00
Solubility	Soluble in methanol, ethanol, dimethyl sulfoxide, and dimethylformamide. Insoluble water.

Several analytical techniques for measuring empagliflozin (EPG) in biological matrices and pharmaceutical products have been documented in the literature. These include spectrophotometric methods (Padmaja and Veerabhadram, 2015; Ayoub, 2016; Ayoub, 2017; Elnadi et al., 2022), spectrofluorometric methods (Abdel-Ghany et al., 2018), high-performance thin-layer chromatography (HPTLC) (Thakor et al., 2019; Abbas et al., 2021; Patel et al., 2022), high-performance liquid

chromatography (HPLC) (Abdel-Ghany et al., 2017; Abdel-Ghany et al., 2018; Badragheh et al., 2018; Hassib et al., 2019; Mabrouk et al., 2020; Manoel et al., 2020; Pandya and Shah, 2020; Sharif et al., 2020; Moussa et al., 2021; El-Kafrawy et al., 2022; Gollu and Gummadi, 2022; Marie et al., 2022), and liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) (Ayoub and Mowaka, 2017; Dias et al., 2019; Shah et al., 2019a; Shah et al., 2019b; Van der Aart-van et al., 2020; Burin et al., 2021). However, many of these methods are highly complex and demand costly equipment, specialized chemicals, and toxic organic solvents. The sample preparation process is often intricate, involving lengthy run times and gradient elution. Therefore, the current study aimed to develop and validate an environmentally and analyst-friendly liquid chromatography method in which ethanol is used as a mobile phase organic solvent for EPG quantification in pharmaceutical products by a simple extraction procedure.

2.Materials and Methods

2.1. Instruments

An Agilent 1260 series HPLC system (Wilmington, DE, USA) was used in the analysis equipped with a degasser, quaternary pump, autoinjector, ultraviolet detector, and a column oven set to 30°C. ChemStation software was utilized for system control and data analysis. An Extend C18 column (5 µm, 250 × 4.6 mm; Agilent, USA) was used for chromatographic separation. A Mettler Toledo pH meter with a glass electrode was employed for pH measurements. Millipore Milli-Q water purification system was used to obtain ultrapure water with a conductivity of less than 0.05 µS cm^{-1} (Milford, MA, USA).

2.2. Reagents

Empagliflozin (EPG) United States Pharmacopeia (USP) Reference Standard, ethanol (≥99.9%), acetonitrile (≥99.9%), and trifluoroacetic acid (≥99.0%) were procured from Sigma-Aldrich Chemie GmbH (Istanbul, Turkey). All other chemicals used were of analytical reagent grade. EPG tablets (Jardiance, 10 mg) were obtained from a local pharmacy in Afyonkarahisar, Türkiye.

2.3. EPG standard solutions

25 mg of the EPG reference standard was precisely weighed and transferred to a volumetric flask with a volume of 50 mL. After adding 30 mL of ethanol to the EPG standard, the solution was subjected to ultrasonic treatment until it became completely clear. Once it reached room temperature (25°C), its volume was adjusted to 50 mL using ethanol. This prepared stock solution was then further diluted with methanol to create working standard solutions at concentrations of 5, 10, 15, 20, 25, and 30 µg mL^{-1}.

2.4. EPG sample solution

Ten tablets containing EPG were precisely weighed and crushed in a clean and dry mortar to a fine powder. A 25 mg amount of EPG powder was transferred into a 50 mL volumetric flask, followed by the addition of 30 mL of methanol. The solution was then agitated on a rotary shaker for 20 minutes to achieve complete dissolution. The volume was then adjusted with ultra-pure water. The resulting mixture was sonicated for 10 minutes and subsequently filtered through a 0.45 mm membrane filter. The sample solution was diluted with methanol from the prepared stock solution to achieve a concentration of 20 μg mL^{-1}.

2.5. Determination of λ_{max} for EPG

Standard solutions of EPG in methanol, with concentrations ranging from 5 to 30 μg mL^{-1}, were analyzed using a UV spectrophotometer (Shimadzu UV-1800). The scanning was performed over a wavelength range of 200 to 400 nm. The overlapping spectra of the standard solutions are presented in Figure 1.

2.6.Method validation

Chromatographic methods were validated following the guidelines provided by the International Conference on Harmonization (2005) and the Center for Drug Evaluation and Research (CDER, 1994). Several validation parameters, including specificity, linearity, accuracy, precision, limit of detection (LOD), limit of quantification (LOQ), and robustness, were examined. Based on these parameters, a concentration range of 5 to 30 μg/mL was chosen for the validation process. Initially, the selectivity of the chromatographic methods was evaluated by injecting standard, sample, and mobile phase solutions into the chromatographic system. Chromatograms were analyzed to identify any interference peaks in the region corresponding to EPG peak. The linearity of the methods was determined by injecting six standard solutions within the 5 to 30 μg/mL range into the HPLC system. A calibration curve was constructed by plotting the peak area against EPG concentration, with three replicates performed on three different days. The regression equation, slope, and intercept were calculated using linear regression analysis. Linearity was further assessed by evaluating the absolute mean recovery, relative standard deviation (RSD), and the coefficient of determination (R^2) of the calibration curve. To check the system suitability, an EPG standard solution (20 μg/mL) was injected six times, and values for peak area, retention time (t_R), tailing factor (T_n), and theoretical plate number (N) were recorded. The relative standard deviation (RSD%) for both peak areas and retention times was calculated based on these six injections. The accuracy of the method was tested by adding different amounts of EPG standard to the sample solution. The sample solution (20 mg/mL) was spiked with EPG at concentrations of 80%, 100%, and 120% of the expected content. These solutions were injected into the chromatographic system, and the recovery percentages of the added standard amounts were calculated. Triplicate tests were conducted for each concentration level to ensure

reliability. The precision of the chromatographic methods was evaluated through intra-day and inter-day reproducibility. Intra-day precision was determined by calculating the RSD% of the peak areas from three injections of the standard solution (20 μg/mL) on the same day. For inter-day precision, the standard solution was injected three times daily over three consecutive days under the same experimental conditions, and the RSD% of the resulting peak areas was determined to ensure consistent results over time. LOD was calculated using a specific formula 1.

$$LOD=3.3\sigma/S \quad (1)$$

LOD was determined based on the standard deviation of the calibration curve in the developed chromatographic methods. Similarly, LOQ was calculated using the same approach, relying on the standard deviation of the calibration curve based on formula 2. In these calculations, σ represents the standard deviation of the intercept of the calibration curve, and S denotes the slope of the calibration curve.

$$LOQ=10\sigma/S \quad (2)$$

LOQ was determined with the standard deviation of the calibration curve in the same methods. In these formulas, σ represents the standard deviation of the intercept of the calibration curve, while S denotes the slope of the calibration curve. To evaluate the robustness of the chromatographic methods, intentional minor changes were made to the method conditions, and their impact on system suitability parameters was examined.

The flow rate of the mobile phase: (±0.1 mL min^{-1}),
Organic solvent content in the mobile phase: (±2%),
Column temperature: (±5 °C)
pH value of the mobile phase: (±0,05)

For each of these modifications, a standard solution with a concentration of 20 μg mL^{-1} was injected in triplicate into the system, first under normal conditions and then under the altered conditions, to evaluate the impact on the chromatographic system's performance.

2.7. Evaluation of the greenness of methods

The greenness of both chromatographic methods was assessed using the AGREE-Analytical GREEnness metric software. AGREE is a metric system designed to evaluate the greenness of analytical procedures. It is a user-friendly and easily implementable program that incorporates 12 key principles for greenness assessment. The software allows for flexible weight assignment, provides an easy-to-interpret color pictogram output that highlights strengths and weaknesses, and is simple to use. The greenness score, displayed at the center of the colored pictogram, represents the weighted average

of the benchmark scores. This score ranges from 0.0 (lowest score) to 1.0 (perfect score). The graph visually represents the overall score, benchmark scores, and the associated benchmark weights (Płotka-Wasylka, 2018; Pena-Pereira et al., 2020).

3. Results and Discussion

3.1. Analytical method development and optimization

All conditions were optimized to develop and validate an efficient chromatographic method for the quantification of EPG in pharmaceutical preparations.

Firstly, to determine the wavelength at which empagliflozin can absorb UV radiation maximum, standard solutions in the range of 5-30 µg mL^{-1} were scanned against ultra-pure water in the 200-400 nm wavelength range in a spectrophotometer. Upon examining the spectra, it was observed that EPG absorbs UV rays maximally at a wavelength of 223 nm. Additionally, baseline noise was minimal at this wavelength. It was also found that there was no interference from drug additives or filler materials at this wavelength in pharmaceuticals. The overlapping spectrum of the standard solutions is shown in Figure 1.

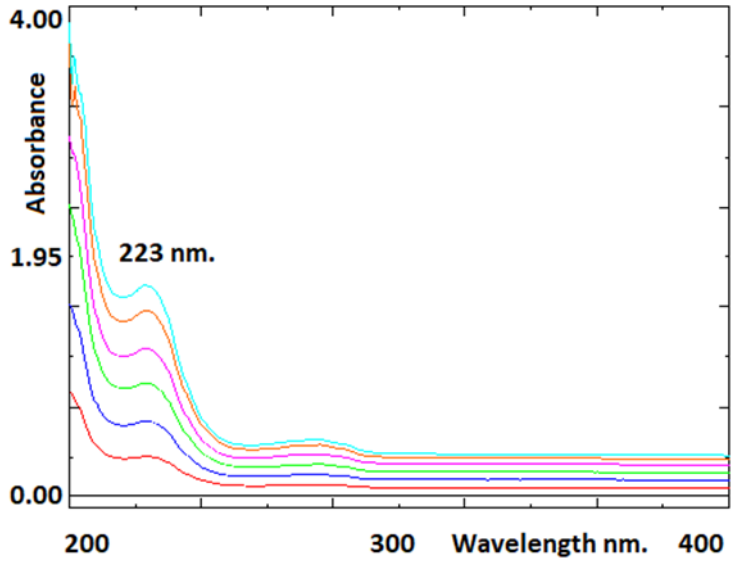


Figure 1. Overlapping spectra of EPG standard solutions in the concentration range of 5-30 µg mL^{-1}.

The chromatographic conditions were optimized to achieve good peak parameters, including an ideal peak shape, a low tailing factor, a short retention time, and a high theoretical plate number. Various ratios of water/methanol, water/acetonitrile, and methanol/acetonitrile mixtures were tested as mobile phases. Initially, acetonitrile and ultrapure water were used as mobile phases in a volume ratio of 20/80 (v/v), but this resulted in a very long analysis time. The water component of the mobile phase was then acidified with formic acid. Good peak parameters were achieved when a solution of formic acid (0.1% in water) and acetonitrile (55/45, v/v) was used as the mobile phase. C18 columns of

different lengths were tested and good peak parameters were obtained using an Agilent C18 (250 mm x 4.6 mm, 5 µm) column. Chromatographic analyses were performed at 30 °C, which proved to be cost-effective and offered many advantages, such as high column efficiency, low column pressure, and favorable chromatographic peak shape. The injection volume was set to 10 µL, as a high tailing factor was observed when the injection volume was 20 µL.

3.2. The conditions of the developed chromatographic method

Two different chromatographic methods have been developed for the quantitative analysis of EPG: the first method and the green method. Below are the detailed conditions for each method:

First Method: An Agilent C18 column (250 x 4.6 mm, 5 µm) was used, with the temperature maintained at 30 °C. The mobile phase consisted of a formic acid solution (0.1% in water) and acetonitrile (55/45, v/v), with isocratic elution applied. The flow rate of the mobile phase was set to 1.0 mL min^{-1}, and the injection volume was 10 µL. Detection was performed using a UV detector at a wavelength of 223 nm.

Green Method: An Agilent C18 column (250 x 4.6 mm, 5 µm) was used, with the temperature maintained at 30 °C. The mobile phase consisted of a formic acid solution (0.1% in water) and ethanol (55/45, v/v), with isocratic elution applied. The flow rate of the mobile phase was set to 1.0 mL min^{-1}, and the injection volume was 10 µL. Detection was performed using a UV detector at a wavelength of 223 nm.

3.3. Results of validation studies

Standard, sample, and mobile phase solutions were injected into the chromatographic system to evaluate the selectivity of the chromatographic methods. The three chromatograms were compared, and the presence of any interfering peak(s) around the analyte peak was examined. No peak interfering with EPG retention time was observed in either method (Figures 2, 3). Three replicate standard solutions (5, 10, 15, 20, 25, and 30 µg mL^{-1}) were prepared by diluting the stock standard solution (500 µg mL^{-1}) with ethanol. These standard solutions were injected into the chromatographic system, and the peak areas and retention times of the analyte in the chromatograms were recorded. Average peak areas were calculated for each concentration level. A calibration graph was constructed by plotting the peak area values against the concentration of the standard solution. The linearity of the chromatographic methods was evaluated through regression analysis. The regression equation, slope, and intercept were calculated using linear regression analysis based on the least squares method. The linearity of the method was assessed using the absolute mean recovery, RSD, and R^2 of the resulting calibration curve. The results are presented in Table 2.

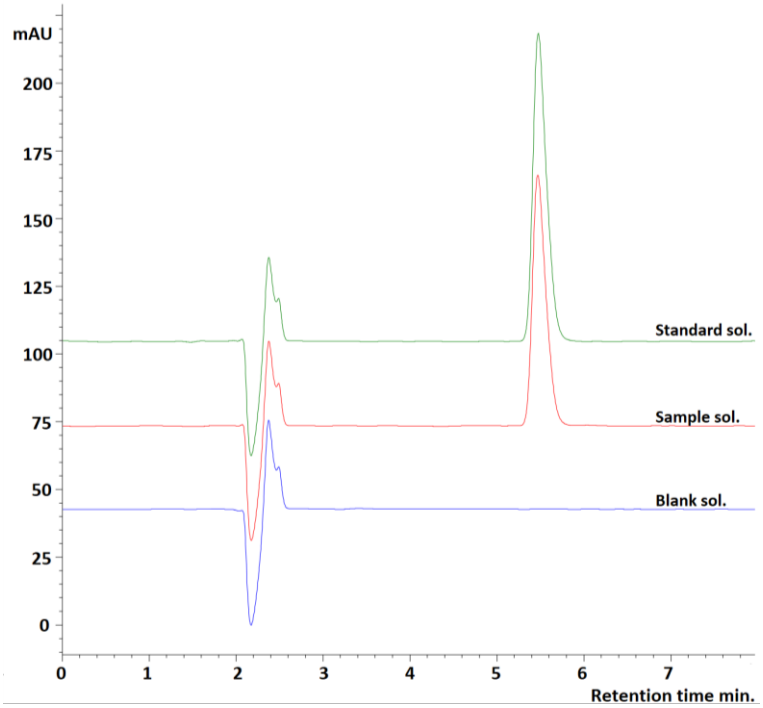


Figure 2. Chromatograms of classical method (Standard solution with a concentration of 25 µg mL^{-1}, Sample solution with a concentration of 20 µg mL^{-1}, Blank solution)

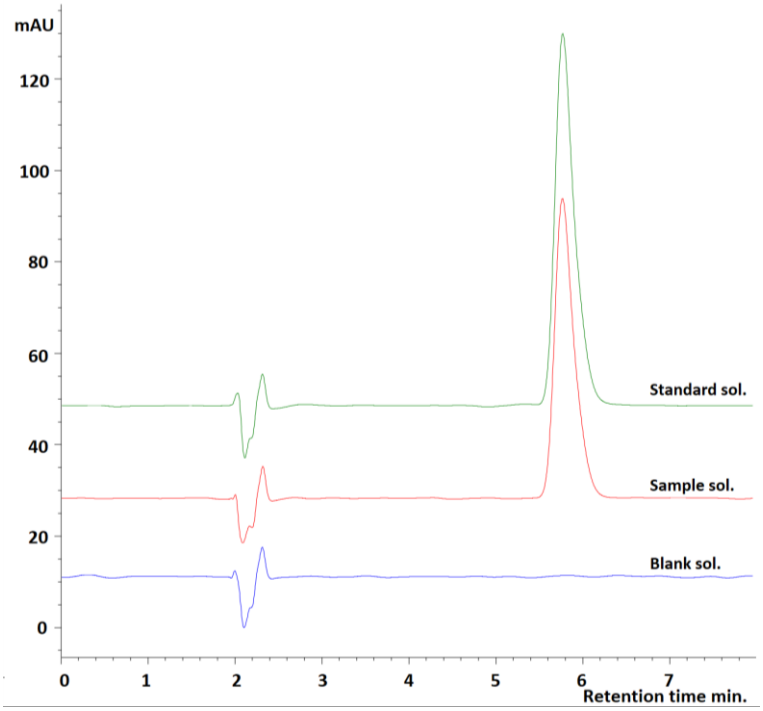


Figure 3. Chromatograms of green method (Standard solution with a concentration of 25 µg mL^{-1}, Sample solution with a concentration of 20 µg mL^{-1}, Blank solution)

Table 2. Regression data of chromatographic methods

Parameter	First method	Green method
Concentration range [μg mL^{-1}] [n = 6]	5–30	5–30
The slope of the regression equation	49.739	50.992
The intercept of the regression equation	4.9985	10.7050
Correlation coefficient	0.9999	0.9998
Retention time [min.]	5.470	5.727
LOD [μg mL^{-1}]	0.50	0.60
LOQ [μg mL^{-1}]	1.40	1.90
Recovery % [n = 3]	99.25–100.33	99.31–100.22

The accuracy of the chromatographic methods was assessed by spiking three different amounts of EPG standard into the sample solution. The standard was added to the sample solution (20 mg mL^{-1}) at concentrations corresponding to 80%, 100%, and 120% of the EPG content. The prepared solutions were then injected into the chromatographic system, and the percentage recovery of the added standard was calculated. Each concentration was tested in triplicate. The recovery percentages ranged from 99.66% to 99.83% for the classical method and from 99.49% to 99.72% for the green method. The highest relative standard deviation values were 0.309 for the first method and 0.466 for the green method. The results of the recovery study are presented in Table 3.

Table 3. Accuracy data of chromatographic methods

Method	Spiked level %	Amount added (μg mL^{-1})	Average recovery (%)	SD	RSD (%)
First method	80	16	99.66	0.247	0.309
	100	20	99.73	0.175	0.175
	120	24	99.83	0.147	0.176
Green method	80	16	99.49	0.373	0.466
	100	20	99.63	0.236	0.236
	120	24	99.72	0.153	0.184

Intraday precision was assessed by calculating RSDs of both the retention times and peak areas of empagliflozin from three injections of the standard solution (20 μg mL^{-1}) conducted on the same day. In both chromatographic methods, the RSD values for peak areas and retention times were found to be under 1.00%. The intraday precision results are provided in Table 4. For interday precision, the same standard solution was injected three times daily over three consecutive days. The RSDs for both the retention times and peak areas of the resulting peaks were calculated and analyzed. In both methods,

the RSD values for these parameters remained below 1.00%. The interday precision results are outlined in Table 5. These findings confirm that the methods satisfy the necessary validation criteria.

Table 4. Intraday precision results of chromatographic methods

	First method			Green method		
Sample No	**Retention time min.**	**Peak Area**	**Assay %**	**Retention time min.**	**Peak Area**	**Assay %**
1	5.470	1002.53	99.97	5.758	1037.36	100.04
2	5.467	1003.02	100.02	5.764	1036.40	99.95
3	5.473	1002.86	100.01	5.767	1036.93	100.00
Mean	5.470	1002.80	100.00	5.763	1036.90	100.00
S.D.	0.003	0.2499	0.025	0.005	0.4785	0.046
R.S.D. %	0.055	0.0249	0.025	0.080	0.0461	0.046

Table 5. Interday precision results of chromatographic methods

		First method			Green method		
Day	**Injection No**	**Retention time min.**	**Peak Area**	**Assay %**	**Retention time min.**	**Peak Area**	**Assay %**
First	1	5.470	1002.53	99.82	5.758	1037.36	99.98
	2	5.467	1003.02	99.87	5.764	1036.40	99.89
	3	5.473	1002.86	99.86	5.767	1036.93	99.94
Second	4	5.471	1003.81	99.95	5.708	1037.31	99.98
	5	5.468	1004.32	100.00	5.713	1037.92	100.03
	6	5.466	1004.17	99.99	5.709	1037.24	99.97
Third	7	5.473	1005.22	100.09	5.710	1038.47	100.09
	8	5.470	1006.41	100.21	5.708	1037.57	100.00
	9	5.469	1006.33	100.20	5.709	1038,83	100.12
Mean		5.366	5.470	1004.30	100.00	5.727	1037.56
SD		0.003	0.002	1.4371	0.143	0,027	0.7517
RSD %		0.056	0.037	0.1431	0.143	0,471	0.0724

To evaluate the system's suitability, key parameters were determined using a standard solution at a concentration of 20 µg mL^{-1}. The results, summarized in Table 6, showed that the EPG peak displayed excellent symmetry and minimal variability in both peak areas and retention times. Additionally, the correlation coefficient of the calibration curve was greater than 0.9990, indicating that the method is highly reliable for analyzing samples, from simple to complex matrices.

Table 6. The results of system suitability tests for chromatographic methods (n=6)

System suitability parameter	First method	Green method
Symmetry factor	0.6524	0.7490
Peak Purity Index	1.02	1.04
Tailing factor	1.3707	1.3907
Teoric plate count (N)	5855	4252
RSD % for peak areas	0.0249	0.0461
RSD % for retention times	0.055	0.080

The robustness study data indicate that the chromatographic methods used for analyzing empagliflozin are stable and reliable under variations in critical method parameters. Specifically, small changes in column temperature, flow rate, organic solvent content, and the pH value of the mobile phase do not significantly impact the linearity, recovery, or accuracy of the methods. As detailed in Table 7, the average recovery across all robustness tests ranged from 99.68% to 100.42%, which demonstrates that the methods consistently yield results close to the true value. Furthermore, the RSD % for these recovery results was less than 1.00%.

Table 7. The results of robustness tests

Method	Parameters	Values	Recovery %	RSD %
First method	The flow rate of the mobile phase	0.90 mL min^{-1}	100.42	0.21
		1.10 mL min^{-1}	99.76	0.14
	Column temperature	25 ^{0}C	99.95	0.16
		35 ^{0}C	100.10	0.26
	Acetonitrile content of the mobile phase	43 %	99.92	0.78
		47 %	100.38	0.52
	The pH of the mobile phase	1.95	100.33	0.60
		2.05	99.83	0.52
Green method	The flow rate of the mobile phase	0.90 mL min^{-1}	100.32	0.23
		1.10 mL min^{-1}	99.81	0.16
	Column temperature	25 ^{0}C	99.98	0.18
		35 ^{0}C	99.87	0.30
	The ethanol content of the mobile phase	43 %	99.96	0.81
		47 %	100.40	0.56
	The pH of the mobile phase	1.95	100.26	0.62
		2.05	99.68	0.52

3.4. Application of chromatographic methods to pharmaceutical formulations and comparison of results

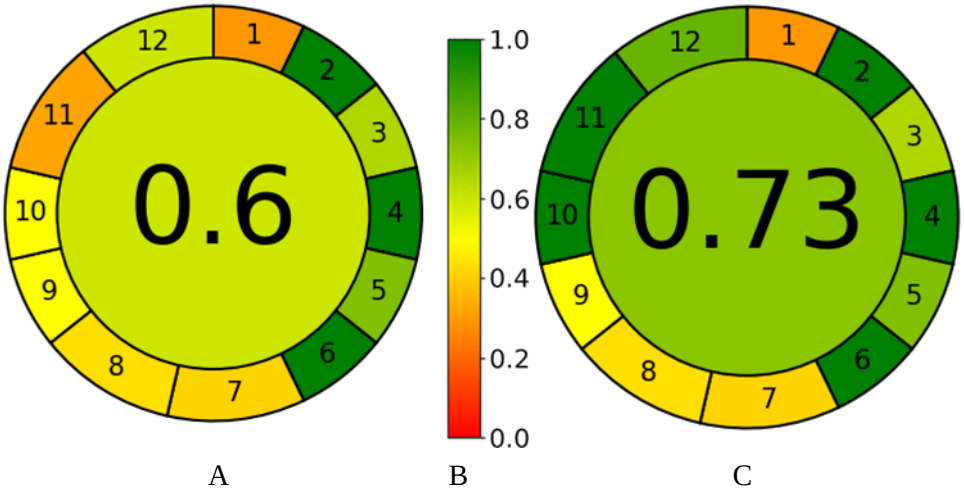
Six tablets of Jardiance, each containing 10 mg of EPG, were analyzed using both chromatographic methods. The results are shown in Table 8. To compare the mean values from both methods, Student's t-test was applied, and the standard deviations were compared using Fischer's F-test. Analyzing the data reveals no significant differences between the two methods in terms of accuracy and precision. This conclusion is further supported by the fact that the calculated t and F values, based on a 95% confidence interval and six repetitions, were lower than the corresponding critical values found in standard reference tables.

Table 8 Statistical evaluation of analysis results of EPG tablets (Jardiance, 10 mg)

Sample	**First method**		**Green method**	
	mg/tablet	**%**	**mg/tablet**	**%**
1	9.924	99.14	10.086	100.83
2	9.874	98.64	9.978	99.75
3	10.054	100.44	10.044	100.41
4	10.126	101.16	9.992	99.89
5	9.978	99.68	10.003	100.00
6	10.106	100.96	9.914	99.11
Average	10.010	100.00	10.003	100.00
SD	0.1015	1.0141	0.0587	0.5870
RSD %	1.0141	1.0141	0.5870	0.5870
t_{value} / t_{table}	0.1352/2.5706			
F_{value} / F_{table}	2.9891/5.0503			

3.5. Evaluation of the Greenness of chromatographic methods

The greenness assessment pictograms for the chromatographic methods are displayed in Figure 4. The classical method achieved a greenness score of 0.60, while the green method scored higher at 0.73. In the pictogram for the classical method (Figure 4A), poor performance was observed for principles 1 and 11 of green analytical chemistry, while excellent performance was noted for principles 2, 4, and 6. The color scale corresponding to the pictogram references is shown in Figure 4B. On the other hand, the pictogram for the green method (Figure 4C) indicated poor performance for principles 1, 7, and 8, but excellent performance for principles 2, 4, 6, 10, and 11. Based on this evaluation, it is concluded that the green method is likely to be more environmentally friendly compared to the classical method.



Basic principles of green analytical chemistry (GAC)

1. Direct analytical techniques.
2. Minimum sample size and number of samples.
3. In-situ measurements.
4. Integration of analytical procedures.
5. Automated and miniaturized methods.
6. Derivatization.
7. High-volume waste generation.
8. Multi-analyte
9. Energy use.
10. Reagents from renewable resources.
11. Toxic reagents.
12. Operator safety.

Figure 4. A: AGREE pictogram of the classical method, **B**: color scale for reference, **C**: AGREE pictogram of the green method

Figure 5 illustrates a comparison of two green analytical chemistry pictograms labeled A (74) and B (79), which appear to represent GAPI (Green Analytical Procedure Index) assessments for two solvents: a classic and a green method for determining EPG. Both pictograms share a common structure, featuring pentagon shapes surrounding a central red hexagon, all within a green circular outline. Visually, the main difference between the two is the presence of an additional two yellow segments in pictogram A compared to pictogram B. The numerical values (74 and 79) likely correspond to greenness scores, with the ethanol (B) achieving a higher score, indicating it may be marginally more sustainable or environmentally friendly according to GAPI standards. These pictograms offer a straightforward visual representation for comparing the relative environmental impact of the two analytical methods. They allow for a quick assessment of the methods' compliance with green analytical chemistry principles, highlighting differences in sustainability and eco-friendliness at a glance.

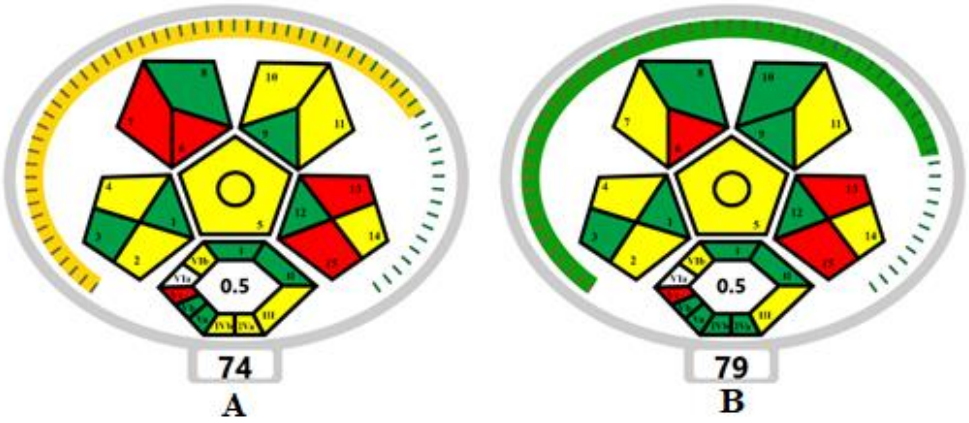


Figure 5. A. GAPI pictogram of the classical method, **B**: GAPI pictogram of the green method

This investigation aimed to assess the chromatographic behavior of active pharmaceutical ingredients using a mobile phase that is both environmentally friendly and operator-safe. Utilizing ethanol in the mobile phase has offered a novel approach to environmentally conscious analysis, diverging from traditional chromatographic solvents. The greenness of the methodology was assessed comprehensively, encompassing the entire process from sample preparation to detection. In the developed method, no toxic solvents were required for extraction, significantly enhancing its environmental profile. Sample preparation was streamlined, employing only ultrapure water, which is a more sustainable alternative to commonly used solvents like acetonitrile. The chromatographic analysis was conducted with ethanol, reinforcing the method's commitment to operator safety and environmental responsibility. Importantly, the waste generated from this analysis was non-toxic, highlighting a crucial advantage of the proposed methodology. Throughout the study, EPG was analyzed with a high degree of sensitivity, repeatability, accuracy, linearity, and robustness. LOD and LOQ for the developed HPLC method were notably low, further attesting to its efficacy. Additionally, the system suitability parameters confirmed that the chromatographic performance was satisfactory and met all verification requirements. This research underscores the significance of greening initiatives in HPLC, particularly given its widespread use in the pharmaceutical industry, which helps mitigate toxicity at each stage of analysis. The results demonstrate that environmentally friendly mobile phases, based on ethanol and water, can be effectively utilized in pharmaceutical analyses. Such advancements are likely to inspire analysts to adopt more sustainable practices in their laboratories. Comparative analysis with previously published methods indicated that the LOD and LOQ values, along with improved greenness metrics, exceeded those reported in the literature. The findings affirm that this green approach to pharmaceutical analysis for EPG was executed without compromising chromatographic quality, effectively minimizing the hazardous effects associated with traditional analytical methodologies.

4.Conclusions

The development of environmentally friendly methods to prevent pollution, reduce energy consumption, and enhance waste management has become increasingly vital for humanity's future. In this regard, a green HPLC method has been established for the quantification of EGP in pharmaceutical products, designed to be environmentally friendly and safe for operators while ensuring high chromatographic performance. This newly developed green HPLC method meets all verification criteria outlined by ICH guidelines, demonstrating linearity, accuracy, sensitivity, robustness, and repeatability. Safe and cost-effective organic solvents, such as ethanol, were employed in both the sample preparation and detection stages of the method. Furthermore, the foliage profile score of this method surpasses that of previously published chromatographic methods. Thus, this developed method can be considered an environmentally friendly and economical alternative to existing methods, ensuring the safety of analysts and the environment in the quantitative analysis of EPG in pharmaceutical products.

Conflict of Interest Statement

The authors have no conflicts of interest to declare.

Authors' Contributions

The authors contributed equally to this study.

References

Abbas NS., Derayea SM., Omar MA., Saleh GA. Innovative TLC-densitometric method with fluorescent detection for simultaneous determination of ternary anti-diabetic mixture in pharmaceutical formulations and human plasma. Microchem. J. 2021; 165: 106131–106143.

Abdel-Ghany MF., Abdel-Aziz O., Ayad MF., Tadros MM. New LC–UV methods for the pharmaceutical analysis of novel anti-diabetic combinations. Acta Chromatogr 2017; 29: 448–452.

Abdel-Ghany MF., Ayad MF., Tadros MM. Liquid chromatographic and spectrofluorimetric assays of empagliflozin: Applied to degradation kinetic study and content uniformity testing. Luminescence 2018; 33: 919–932.

Ayoub BM. Development and validation of simple spectrophotometric and chemometric methods for simultaneous determination of empagliflozin and metformin: Applied to recently approved pharmaceutical formulation. Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc 2016; 168: 118-122.

Ayoub BM. Green pharmaceutical analysis of drugs coformulated with highly different concentrations using spiking and manipulation of their ratio spectra. JAOAC Int. 2017; 100(4): 985-991.

Ayoub BM., Mowaka S. LC–MS/MS determination of empagliflozin and metformin. J. Chromatogr. Sci. 2017; 55: 742–747.

Badragheh S., Zeeb M., Olyai MRTB. Silica-coated magnetic iron oxide functionalized with hydrophobic polymeric ionic liquid: A promising nanoscale sorbent for the simultaneous extraction of antidiabetic drugs from human plasma prior to their quantitation by HPLC. RSC Adv. 2018; 8: 30550–30561.

Burin SL., Lourenço RL., Doneda M., Müller EI., Paula FR., Adams AIH. Development of an HPLC-UV method to assay empagliflozin tablets and ıdentification of the major photoproduct by quadrupole time-of-flight mass spectrometry. J. Chromatogr. Sci. 2021; 59: 526–535.

Capello C., Fischer U., Hungerbühler K. What is a green solvent? A comprehensive framework for the environmental assessment of solvents. Green Chem. 2007 9: 927–934.

Center for Drug Evaluation and Research (CDER). Reviewer Guidance: Validation of Chromatographic Methods;1994.

Dias BCL., Fachi MM., de Campos ML., Degaut FLD., Peccinini RG., Pontarolo R. A new HPLC–MS/MS method for the simultaneous quantification of SGLT2 inhibitors and metformin in plasma and its application to a pharmacokinetic study in healthy volunteers. Biomed. Chromatogr. 2019; 33: e4663.

El-Kafrawy DS., El-Shoubashy OH., Issa AE., Beltagy YA. Green chromatographic methods for simultaneous micro determination of empagliflozin, linagliptin with metformin and its pharmacopoeial impurities in pure form and triple combination tablets: A comparative study. Sust. Chem. Pharm. 2022; 25: 100560–100572.

Elnadi S., Abdalsabour S., Abdalghany MF., Trabik YA. Stability indicating RP-HPLC and spectrophotometric methods for determination of gliflozins in their mixture with metformin. J. Iranian Chem. Soc. 2022; 19: 1723–1735.

Gałuszka A., Migaszewski ZM., Konieczka P., Namieśnik J. Analytical eco-scale for assessing the greenness of analytical procedures. TrAC Trends Anal. Chem. 2012; 37: 61–72.

Gollu G., Gummadi S. A rapid LC-PDA method for the simultaneous quantification of metformin, empagliflozin, and linagliptin in the pharmaceutical dosage form. Ann. Pharm. Françaises 2022; 80: 48–58.

Görög S. The changing face of pharmaceutical analysis. TrAC Trends Anal. Chem. 2007; 26: 12–17.

Hassib ST., Taha EA., Elkady EF., Barakat GH. Validated liquid chromatographic method for the determination of (canagliflozin, dapagliflozin or empagliflozin) and metformin in the presence of (1-cyanoguanidine). J. Chromatogr. Sci. 2019; 57: 697–707.

https://go.drugbank.com/drugs/DB09038

ICH Harmonised Tripartite Guideline Impurities: Guideline for residual solvents Q3C (R5). Curr. Step 2005; 4: 509.

Keith LH., Gron LU., Young JL. Green analytical methodologies. Chem. Rev. 2007; 107: 2695–2708.

Mabrouk MM., Soliman SM., El-Agizy HM., Mansour FR. Ultrasound-assisted dispersive liquid–liquid microextraction for determination of three gliflozins in human plasma by HPLC/DAD. J. Chromatogr. B 2020; 1136: 121932.

Manoel JW., Primieri GB., Bueno LM., Wingert NR., Volpato NM., Garcia CV., Steppe M. The application of quality by design in the development of the liquid chromatography method to determine empagliflozin in the presence of its organic impurities. RSC Adv. 2020; 10: 7313–7320.

Marie AA., Salim MM., Kamal AH., Hammad SF., Elkhoudary MM. Analytical quality by design based on design space in reversed-phase-high performance liquid chromatography analysis for simultaneous estimation of metformin, linagliptin, and empagliflozin. R. Soc. Open Sci. 2022; 9: 220215–220228.

Miyabe K., Takeuchi S., Tezuka Y. Adsorption characteristics in reversed-phase liquid chromatography using ethanol/water mixed solvent. Adsorption 1999; 5: 15–24.

Mohamed HM. Green, environment-friendly, analytical tools give insights in pharmaceuticals and cosmetics analysis. TrAC Trends Anal. Chem. 2015; 66: 176–192.

Moussa BA., Mahrouse MA., Fawzy MG. Application of experimental design in HPLC method optimization and robustness for the simultaneous determination of canagliflozin, empagliflozin, linagliptin, and metformin in the tablet. Biomed. Chromatogr. 2021; 35: e5155–e5166.

Padmaja N., Veerabhadram G. Development and validation of analytical method for Simultaneous estimation of Empagliflozin and Linagliptin in bulk drugs and combined dosage forms using UV-visible spectroscopy. Pharm Lett. 2015; 7(12): 306-312.

Pandya PA., Shah PA., Shrivastav PS. Separation of achiral anti-diabetic drugs using sub/supercritical fluid chromatography with a polysaccharide stationary phase: Thermodynamic considerations and molecular docking study. J. Pharm. Biomed. Anal. 2020; 189: 113452–113464.

Patel IM., Chhalotiya UK., Jani HD., Kansara D., Shah DA. Densitometric simultaneous estimation of the combination of empagliflozin, linagliptin and metformin hydrochloride used in the treatment of type 2 diabetes mellitus. J. Planar Chromatogr. 2022; 33: 109–118.

Pena-Pereira F., Wojnowski W., Tobiszewski M. AGREE—Analytical greenness metric approachv and software. Anal Chem. 2020; 92: 10076–82.

Płotka J., Tobiszewski M., Sulej AM., Kupska M., Górecki T., Namieśnik J. Green chromatography. J. Chromatogr. A 2013; 1307: 1–20.

Płotka-Wasylka J. A new tool for the evaluation of the analytical procedure: Green analytical procedure index. Talanta 2018; 181: 204–209.

Ribeiro RL., Bottoli CB., Collins KE., Collins CH. Reevaluation of ethanol as organic modifier for use in HPLS-RP mobile phases. J. Braz. Chem. Soc. 2004; 15: 300–306.

Shaaban H., Górecki T. Current trends in green liquid chromatography for the analysis of pharmaceutically active compounds in the environmental water compartments. Talanta 2015; 132: 739–752.

Shah PA., Shrivastav PS., George A. Mixed-mode solid phase extraction combined with LC-MS/MS for determination of empagliflozin and linagliptin in human plasma. Microchem. J. 2019a; 145: 523–531.

Shah PA., Shrivastav PS., Sharma V., Yadav MS. Challenges in simultaneous extraction and chromatographic separation of metformin and three SGLT-2 inhibitors in human plasma using LC–MS/MS. J. Pharm. Biomed. Anal. 2019b; 175: 112790–112799.

Sharif S., Bashir R., Adnan A., Mansoor S., Ahmad I., Ch AR., Tahir MS. Stability indicating, pH and pKa dependent HPLC–DAD method for the simultaneous determination of weakly ıonizable empagliflozin, dapagliflozin, and canagliflozin in pharmaceutical formulations. Chromatographia 2020; 83: 1453–1465

Sheldon RA. Fundamentals of green chemistry: Efficiency in reaction design. Chem. Soc. Rev. 2012; 41: 1437–1451.

Shen Y., Chen B., van Beek TA. Alternative solvents can make preparative liquid chromatography greener. Green Chem. 2015; 17: 4073–4081.

Snyder LR., Kirkland JJ., Dolan JW. Introduction to modern liquid chromatography; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, USA: 2009; ISBN 978-0-470-50818-3.

Thakor NS., Amrutkar SV., Chaudhari PD. Simultaneous estimation of empagliflozin and metformin by high-performance thin-layer chromatography using quality-by-design approach. J. Planar Chromatogr. 2019; 32: 295–307.

Tobiszewski M., Mechlińska A., Namieśnik J. Green analytical chemistry—Theory and practice. Chem. Soc. Rev. 2010; 39: 2869–2878.

Tobiszewski M., Marć M., Gałuszka A., Namieśnik J. Green chemistry metrics with special reference to green analytical chemistry. Molecules 2015; 20: 10928–10946.

Tobiszewski M. Metrics for green analytical chemistry. Anal. Methods 2016; 8: 2993–2999.

Validation of analytical procedures: text and methodology Q2(R1)-ICH harmonized tripartite guideline. International Conference on Harmonization of Technical Requirements for Registration of Pharmaceuticals for Human Use; 2005

Van der Aart-van AB., Wessels AMA., Heerspink HJ., Touw DJ. Simple, fast and robust LC-MS/MS method for the simultaneous quantification of canagliflozin, dapagliflozin and empagliflozin in human plasma and urine. J. Chromatogr. B 2020; 1152: 122257.

Welch CJ., Wu N., Biba M., Hartman R., Brkovic T., Gong X., Helmy R., Schafer W., Cuff J., Pirzada Z. Greening analytical chromatography. TrAC Trends Anal. Chem. 2010; 29: 667–680.

Wittich CM., Beckman TJ. Mayo clinic ınternal medicine board review, 12th ed.; Oxford University Press: Oxford, UK 2020; 168–225.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1353-1369, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1353-1369, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Performance Evaluation of WireGuard and IPSec Protocols in Various Network Configurations

Tuğçe DEMİRDELEN[1*], Sefa KIRMIZI[2]

[1]Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Adana, Türkiye
[2]ULAK Haberleşme A.Ş. System Engineering, Ankara, Türkiye
[2]Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Adana, Türkiye

[1]https://orcid.org/0000-0002-1602-7262
[2]https://orcid.org/0009-0009-4510-507X
*Corresponding author: tdemirdelen@atu.edu.tr

Research Article

Article History:
Received: 18.03.2025
Accepted: 20.05.2025
Published online: 16.06.2025

Keywords:
VPN
WireGuard
IPSec
Throughput
CPU utilization
SD-WAN
Network performance
Information systems

ABSTRACT

This study aims to evaluate the performance of WireGuard and IPSec Virtual Private Network (VPN) protocols under various network configurations to determine their efficiency, reliability, and resource utilization in different scenarios. The configurations examined include Round Robin, IEEE 802.3ad bonding, single interface/single tunnel, dual interfaces/dual tunnels, and single interface/dual tunnels. Key performance metrics such as throughput and Central Processing Unit (CPU) utilization were analyzed to understand the impact of these protocols on network performance. The experimental results demonstrate that WireGuard outperforms IPSec in terms of throughput and CPU efficiency, showcasing lower overhead and improved speed, making it a more suitable option for high-performance and resource-constrained environments.Results indicate that WireGuard consistently delivers higher throughput and lower CPU utilization across these configurations, particularly excelling in multi-interface and load-balanced setups, thus making it a preferable choice for performance-critical environments..

WireGuard ve IPSec Protokollerinin Çeşitli Ağ Konfigürasyonlarında Performans Değerlendirmesi

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 18.03.2025
Kabul tarihi:20.05.2025
Online Yayınlanma: 16.06.2025

***Anahtar** Kelimeler:*
VPN
WireGuard
IPSec
Veri aktarım hızı
CPU kullanımı
SD-WAN
Ağ performansı
Bilgi sistemleri

ÖZ

Bu çalışma, farklı ağ konfigürasyonları altında WireGuard ve IPSec Sanal Özel Ağ (VPN) protokollerinin performansını değerlendirerek, verimliliklerini, güvenilirliklerini ve kaynak kullanımını belirlemeyi amaçlamaktadır. İncelenen konfigürasyonlar arasında Round Robin, IEEE 802.3ad bağlantı birleştirme, tek arayüz/tek tünel, çift arayüz/çift tünel ve tek arayüz/çift tünel bulunmaktadır. Bu protokollerin ağ performansı üzerindeki etkisini anlamak için veri aktarım hızı (throughput), CPU kullanımı gibi temel performans metrikleri analiz edilmiştir. Deneysel sonuçlar, WireGuard'ın veri aktarım hızı ve CPU verimliliği açısından IPSec'ten daha iyi performans gösterdiğini, daha düşük ek yük ve daha yüksek hız sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu da onu yüksek performans gerektiren ve kaynakların sınırlı olduğu ortamlar için daha uygun bir seçenek haline getirmektedir. Sonuçlar ayrıca, incelenen farklı ağ konfigürasyonlarının performansa olan etkisini özetlemekte olup,

WireGuard'ın özellikle çoklu arayüz ve yük dengeleme yöntemlerinde IPSec'e göre tutarlı şekilde daha yüksek veri aktarım hızına ve daha düşük CPU kullanımına sahip olduğunu göstermektedir.

To Cite: Demirdelen T., Kırmızı S. Performance Evaluation of WireGuard and IPSec Protocols in Various Network Configurations. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1353-1369.

1. Introduction

The growing demand for high-performance and secure communication in modern networking environments has made Virtual Private Network (VPN) solutions essential components of network security architectures. VPN tunnels play a fundamental role in information systems, providing secure data transmission and ensuring network reliability. Among various VPN protocols, WireGuard and IPSec have emerged as prominent solutions, each offering distinct advantages in terms of performance, security, and resource utilization. WireGuard is a relatively new and lightweight VPN protocol recognized for its streamlined design, robust cryptography, and superior performance compared to traditional solutions such as IPSec and OpenVPN. Conversely, IPSec continues to be widely adopted due to its robustness and compatibility with enterprise environments.

This paper provides a comprehensive evaluation of WireGuard and IPSec performance under different network bonding and tunneling configurations, particularly focusing on Software-Defined Wide Area Network (SD-WAN) deployments. VPN performance is critical to SD-WAN effectiveness, making protocol evaluation essential**.**

Previous comparative studies have highlighted the performance characteristics of WireGuard and IPSec. Donenfeld (2017) and Mackey et al. (2020) have emphasized WireGuard's ability to deliver lower latency and reduced CPU consumption, especially under high-load scenarios. Dowling and Paterson (2018) and Yang et al. (2019) have demonstrated that WireGuard's kernel-level integration significantly reduces overhead and improves packet processing compared to user-space implementations such as those examined by Narayan et al. (2009).

Although WireGuard is increasingly popular, IPSec remains a dominant protocol in enterprise environments due to its mature security framework, compatibility with existing infrastructure, and extensive support for diverse encryption and authentication methods. However, IPSec's complexity, stemming from multiple encapsulation layers and complex key exchanges, increases computational overhead and can negatively affect performance, as indicated by studies including Abbas et al. (2023) and Shen et al. (2023).

Network bonding techniques significantly impact VPN efficiency. Different bonding methods, such as Round Robin, IEEE 802.3ad (Link Aggregation Control Protocol - LACP), and adaptive load balancing, can affect bandwidth distribution, latency, and failover efficiency (Gentile et al., 2024; Sharma et al., 2024). Additionally, the Maximum Transmission Unit (MTU) configuration notably influences VPN throughput. Incorrect MTU settings can cause fragmentation, increased latency, and reduced efficiency (Vilanova, 2021; Balachandran et al., 2024).

Moreover, WireGuard's stateless architecture and use of ChaCha20 encryption contribute to its superior performance in cloud environments compared to IPSec, which typically uses AES encryption (Gentile et al., 2022). Nonetheless, IPSec's robustness against cyber threats makes it suitable for mission-critical applications, despite performance drawbacks (Gordeychik and Kolegov, 2018).

Further research into VPN optimization indicates that protocol overhead significantly affects efficiency. Pries et al. (2008) concluded that WireGuard's minimalistic design reduces handshake latency and session establishment times compared to IPSec. Mansouri et al. (2020) also explored hybrid VPN deployments, showing that combining WireGuard and IPSec can enhance security while maintaining high performance.

Real-world case studies highlight that VPN protocol choice significantly influences network stability and efficiency. Organizations using WireGuard in SD-WAN environments experienced reduced operational costs and better scalability compared to traditional IPSec deployments (Shen et al., 2023). Similarly, Ostroukh et al. (2024) identified performance bottlenecks in encrypted traffic, providing recommendations on MTU optimization and bonding strategies.

This paper makes a unique contribution by comparing WireGuard and IPSec under various bonding and tunneling configurations and provides practical deployment guidance for SD-WAN scenarios**.** By analyzing throughput and CPU utilization, this research offers practical insights into optimal VPN deployment strategies. The results assist network engineers, system administrators, and IT decision-makers in selecting the most efficient VPN protocol for specific use cases, balancing security, performance, and resource efficiency.

2. Material and Methods

2.1. Mathematical Model

A mathematical model for this study can be formulated to describe the relationships between throughput (T), CPU utilization (C), packet-per-second (PPS), and MTU (M) under different VPN protocols and bonding configurations. Below is a structured approach to modeling these interactions.

2.1.1. Throughput Model

The throughput T (Mbps) depends on MTU, packets per second (PPS), bonding factor, and protocol efficiency, as expressed in Equation (1):

$$T = \frac{\eta \cdot P \cdot M \cdot B}{E} \quad (1)$$

Equation 1 shows the relationship where P represents the Packets Per Second (PPS), M is the MTU in bytes, B is the bonding configuration factor, and E is the encryption overhead factor, which varies based on the protocol used (WireGuard or IPSec). The bonding factor B changes depending on the strategy, with a single interface having B=1, round-robin bonding B=1.5, IEEE 802.3ad (LACP) B=1.8 due to

load balancing improvements, and a dual interface/dual tunnel setup B=2. The overhead introduced by encryption and packet handling, denoted as O, is given by:

$$O = E \cdot (1 - \eta) \cdot P \quad (2)$$

where E is the encryption overhead factor, which is higher for IPSec due to additional encapsulation layers like ESP and IKE negotiations, making EIPSec>EWireGuard.

2.1.2. CPU Utilization Model

CPU utilization (%) C is primarily affected by encryption overhead O, the number of active interfaces N, and the protocol efficiency η:

$$C = \frac{P \times E \times N}{\eta} \quad (3)$$

As shown in Equation 2, Since WireGuard operates in kernel space while IPSec partially operates in user space, their efficiency factors differ. WireGuard has an efficiency range of η=0.85−0.95, while IPSec, due to its more complex encryption and multiple encapsulation layers, has a lower efficiency of η=0.65−0.80. Consequently, IPSec requires more CPU resources to achieve the same throughput compared to WireGuard.

2.1.3. Packet Processing Model (PPS)

The packet-per-second rate is defined by:

$$P = \frac{T \cdot \gamma}{M} \quad (4)$$

Equation 3 indicates that Since VPN protocols process packets at different rates due to encapsulation overhead, an encapsulation efficiency factor γ is introduced, where:

where VPN protocols handle packets at different rates due to encapsulation overhead. The encapsulation efficiency factor γ\gammaγ varies between protocols, with WireGuard achieving γ=0.9 due to its lightweight design, while IPSec, burdened by additional ESP headers and rekeying processes, has a lower efficiency of γ=0.75.

2.2. Performance Analysis

Each test utilized iPerf3, a widely recognized network performance measurement tool, to assess throughput and CPU utilization. Tests were conducted with both single-session and 20 parallel TCP sessions using iPerf3. Each run lasted 30 seconds to ensure stability and reproducibility. CPU utilization was monitored in real time using htop throughout each test session. All VPN tunnels were created with default encryption and authentication settings, without manual tuning.

Table 1. Assumed protocol parameters for WireGuard and IPSec

Variable	Description	Units / Values
T	Throughput	Mbps
P	Packets per second	PPS
M	Maximum Transmission Unit	Bytes
B	Bonding configuration factor	1 (Single), 1.5 (RR), 1.8 (802.3ad), dual interface/dual tunnel B=2
E	Encryption overhead factor	High (IPSec), Low (WireGuard)
O	Overhead introduced by encryption	—
C	CPU utilization	Percentage (%)
η (eta)	Protocol efficiency	0.65–0.80 (IPSec), 0.85–0.95 (WireGuard)
γ (gamma)	Encapsulation efficiency (only in PPS model)	0.75 (IPSec), 0.90 (WireGuard)
N	Number of active interfaces	1 or 2

2.2.1. Test Setup and Environment

All experiments were conducted using standardized hardware platforms to eliminate variability in results due to hardware differences. The testbed consisted of:

Table 2. System requirements

Component	Specification
Processor	Multi-core high-performance server-grade CPUs
Memory	16 GB RAM or higher
Network Interfaces	Gigabit Ethernet
Operating System	Debian-based Linux distribution, optimized for VPN performance
VPN Implementations	WireGuard (kernel-based) and IPSec (Libreswan/StrongSwan implementations)

All VPN configurations were implemented with default encryption and authentication settings, ensuring that results reflect real-world deployments with minimal tuning.

2.2.2. Test Methodology

Each test scenario was executed under the following MTU value:

- 1500 bytes (default Ethernet frame size)

MTU values was adjusted 1500 bytes, and their effects on throughput, CPU load, and packet-per-second (PPS) rates were recorded. The VPN tunnels were established between two endpoints configured under various bonding and tunnel setups, including:

- Single Interface / Single Tunnel
- Dual Interfaces / Dual Tunnels

- Single Interface / Dual Tunnels
- IEEE 802.3ad Bonding (LACP)
- Round Robin Bonding

For each scenario, the following performance metrics were recorded:

Throughput (Mbps) – Measured using iPerf3 in TCP mode with multiple parallel streams

CPU Utilization (%) – Captured using system monitoring tools to evaluate processing overhead

Packets Per Second (PPS) – Analyzed to understand packet transmission efficiency

Transmission Rates – Evaluated in terms of sustained vs. peak throughput

Each test was repeated multiple times to ensure statistical validity, with results averaged to mitigate outliers.

2.2.3. Data Collection and Analysis

Performance data was logged in real-time and exported for further analysis using statistical tools. Comparative evaluations were performed to determine:

- The impact of CPU load on throughput and encryption overhead
- How different bonding strategies affect VPN traffic distribution and latency
- The optimal configurations for maximizing VPN performance in SD-WAN environments

By employing a structured and repeatable testing methodology, this study ensures that the results provide a reliable basis for understanding the trade-offs between WireGuard and IPSec in various network conditions. The findings contribute to best practices for VPN deployment optimization, particularly in performance-sensitive applications.

Figure 1 illustrates the experimental setup used in this study, which consists of two VPN endpoints connected via different bonding and tunneling configurations. The network infrastructure was carefully designed to minimize external factors that could impact performance measurements. The test environment was configured to allow a comprehensive evaluation of various scenarios, including single interface, dual tunnel, and multiple bonding modes, ensuring that the results reflect real-world deployment conditions.

To systematically evaluate the performance of WireGuard and IPSec VPN protocols under different network configurations, a series of controlled tests were conducted. Each test utilized iPerf3, a widely recognized network performance measurement tool, to assess throughput, CPU utilization. The tests were performed over 30-second intervals to ensure consistency and reliability of the recorded data.

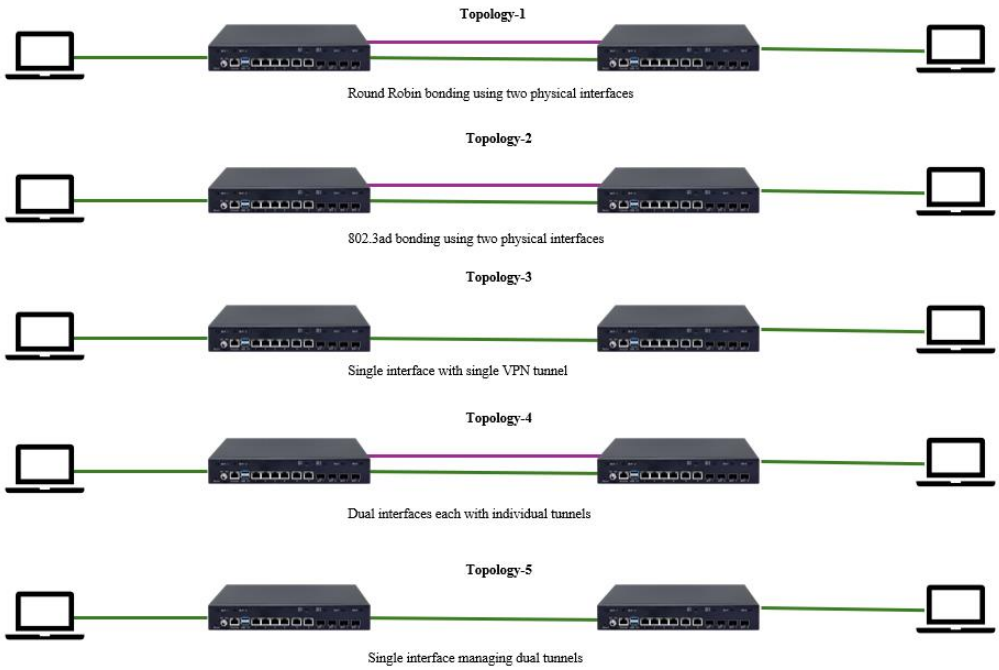


Figure 1. Experimental setup for performance testing of wireguard and ipsec VPN protocols

3. Results and Discussion

This section presents the performance evaluation of WireGuard and IPSec under various network configurations. The experiments were conducted to analyze throughput, CPU utilization, and packet processing efficiency across different setups, including Round Robin bonding, IEEE 802.3ad bonding, single interface, dual interface with dual tunnels, and single interface with dual tunnels. The following subsections provide a detailed analysis of each configuration.

3.1. Round-robin

In the Round Robin bonding configuration, network traffic is evenly distributed across multiple links in a sequential manner, allowing for load balancing. This setup aims to improve throughput by utilizing multiple interfaces efficiently. The following figures illustrate the CPU utilization and throughput performance of WireGuard and IPSec under this mode.

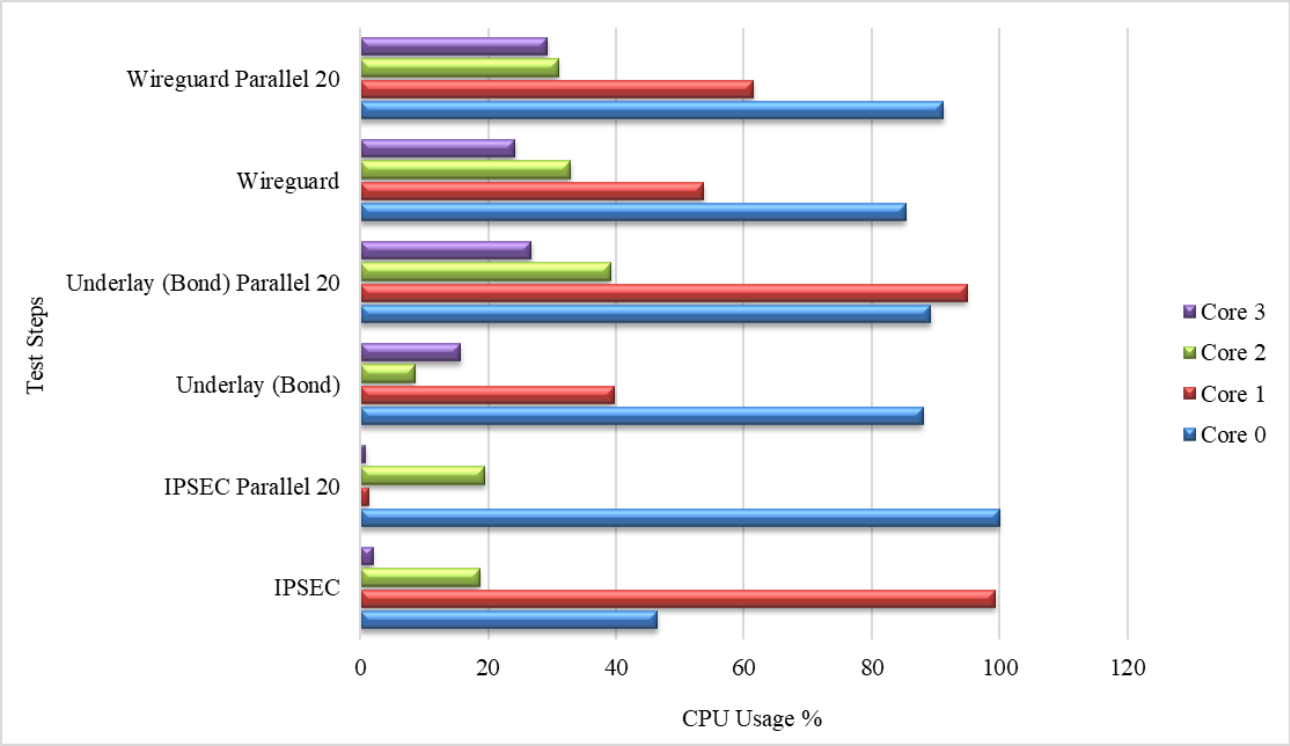


Figure 2. CPU utilization comparison of wireguard and ipsec using round robin bonding mode

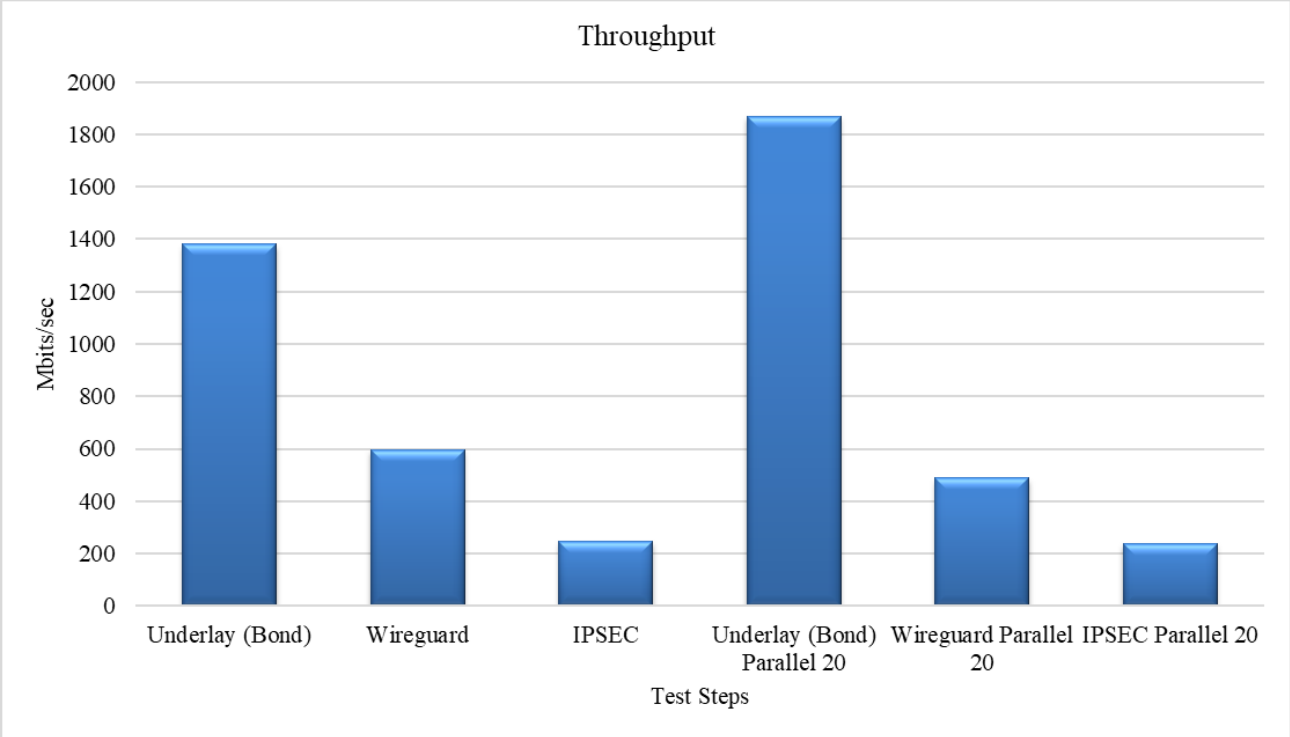


Figure 3. Throughput performance of wireguard and ipsec using round robin bonding mode

Figure 2 provides a detailed analysis of the CPU utilization of WireGuard and IPSec in Round Robin mode. Figure 3 presents the corresponding throughput measurements, showing that WireGuard achieves

higher data transfer rates compared to IPSec. This performance disparity highlights the advantage of WireGuard's streamlined design, especially in high-bandwidth environments.

WireGuard achieved higher throughput than in Round Robin mode, with only a modest increase in CPU usage.

3.2. 802.3.ad

IEEE 802.3ad, also known as Link Aggregation Control Protocol (LACP), dynamically balances network traffic based on link conditions and negotiated parameters. This method improves bandwidth utilization while maintaining redundancy. The performance comparison of WireGuard and IPSec in this configuration is presented in the following graphs.

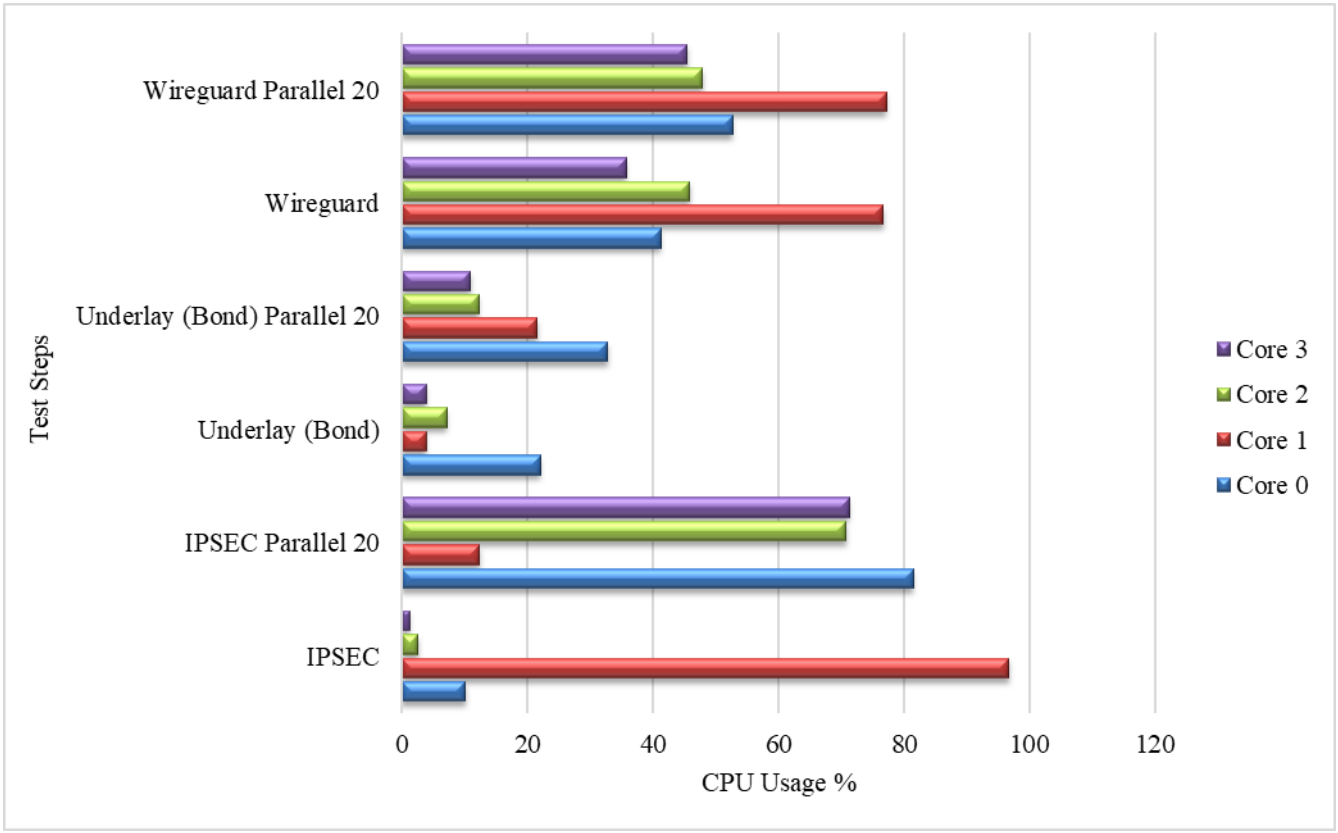


Figure 4. CPU utilization comparison of wireguard and ipsec using ıeee 802.3ad (lacp) bonding mode

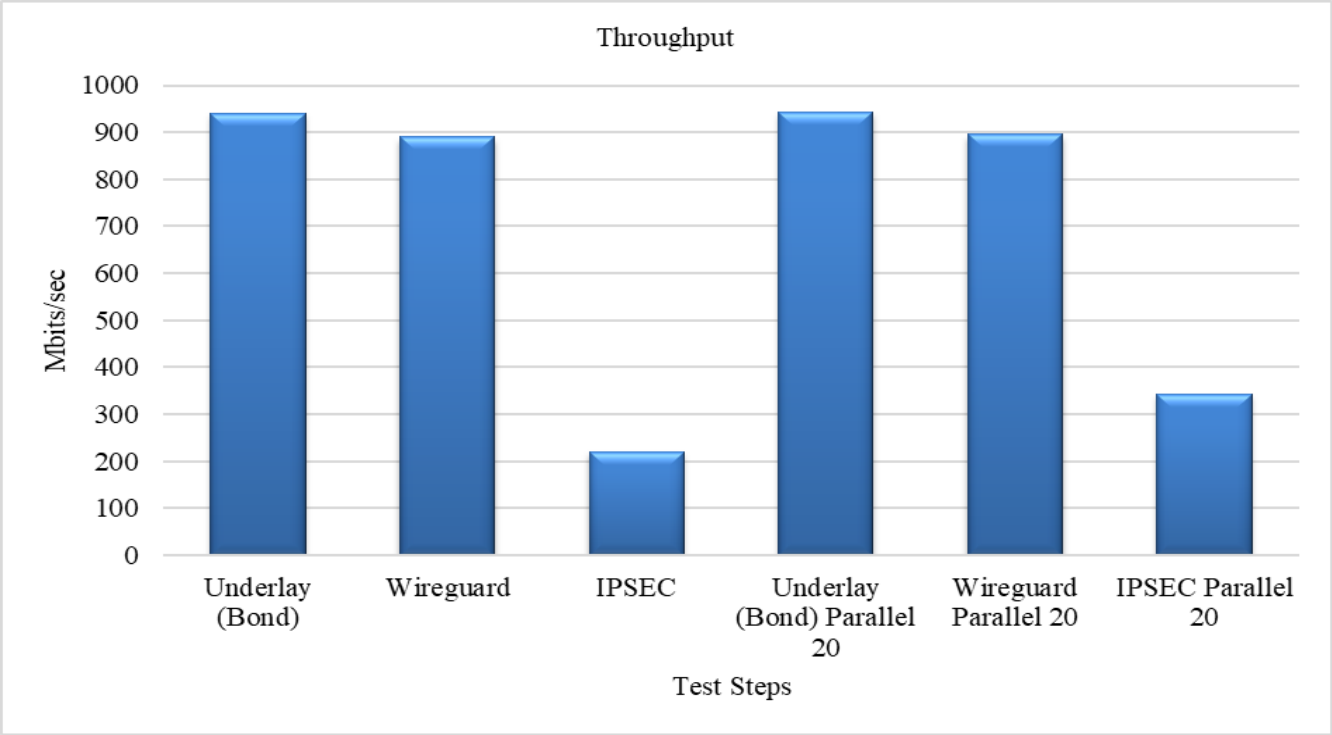


Figure 5. Throughput performance of wireguard and ıpsec using ieee 802.3ad (lacp) bonding mode

Figure 4 examines CPU utilization under IEEE 802.3ad bonding mode, revealing that while both VPN protocols benefit from load balancing, IPSec incurs a higher processing cost due to its more complex encryption mechanisms. WireGuard demonstrates better efficiency in this mode, maintaining stable CPU usage even as network load increases. Figure 5 displays the throughput performance in IEEE 802.3ad mode, where WireGuard outperforms IPSec in terms of sustained data transfer rates. These results suggest that IEEE 802.3ad bonding mode enhances overall network performance, but WireGuard is better suited for handling the associated workload without significantly increasing CPU consumption. WireGuard demonstrated improved throughput compared to Round Robin, while CPU usage slightly increased. IPSec showed higher throughput but suffered a substantial increase in CPU load, negatively affecting efficiency.

3.3. Single Interface

A single interface configuration represents a baseline scenario where all VPN traffic is transmitted through a single physical network interface. This setup helps assess the raw performance of WireGuard and IPSec without the influence of bonding or load-balancing mechanisms. The test results provide insights into how efficiently each protocol handles network traffic in a standard deployment.

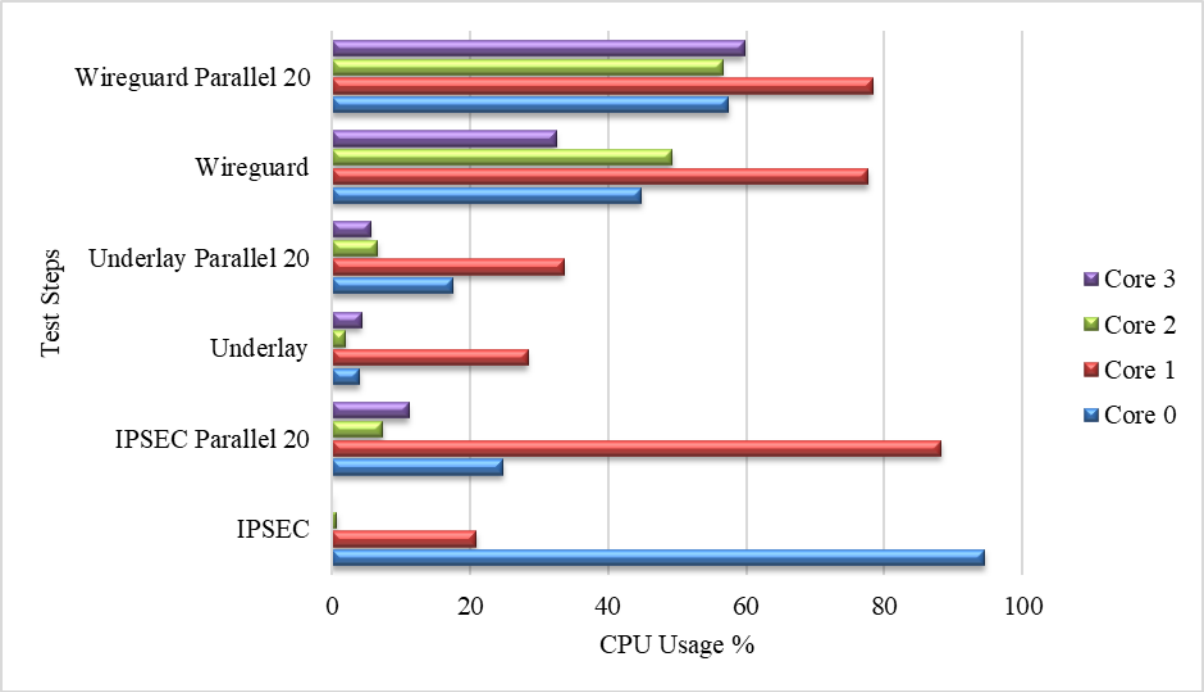


Figure 6. CPU utilization comparison of wireguard and ipsec with single interface configuration

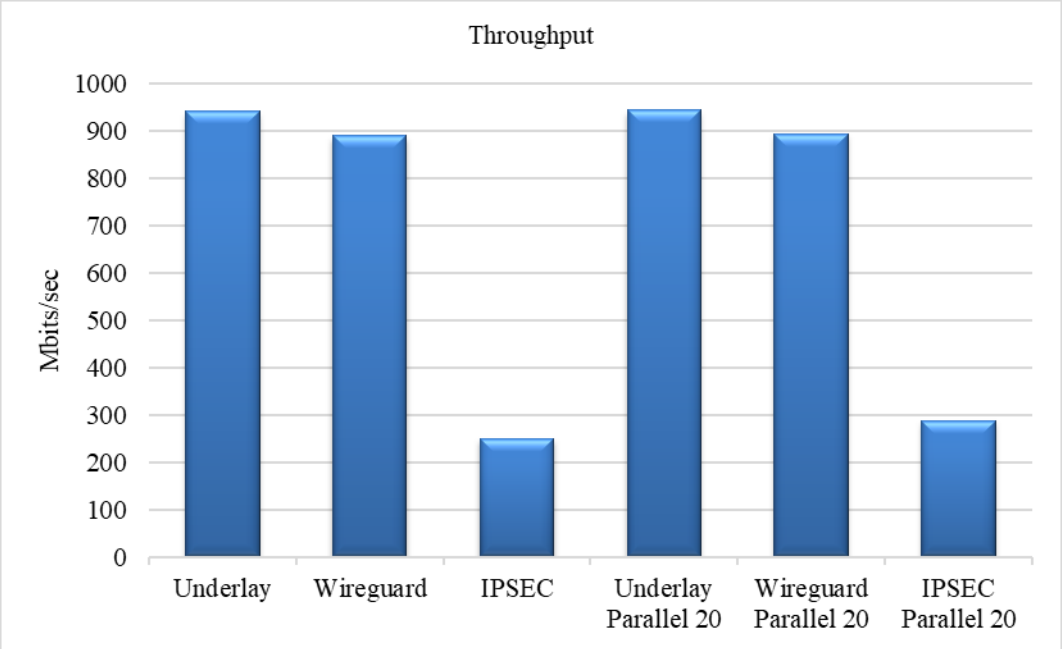


Figure 7. Throughput performance of wireguard and ipsec with single interface configuration

Figure 6 illustrates the CPU utilization of WireGuard and IPSec when operating with a single network interface. WireGuard uses significantly less CPU than IPSec, confirming its processing efficiency. This is especially important in systems where minimizing CPU load is critical. Figure 7 shows that WireGuard also delivers higher throughput in the same setup. Its lightweight design reduces encryption

overhead, allowing it to maintain strong performance even with limited resources. Overall, WireGuard clearly outperforms IPSec in both CPU usage and data throughput in single-interface deployments.

3.4. Dual Interfaces Dual Tunnels

In this configuration, two physical interfaces are utilized, each establishing a separate VPN tunnel. This setup is expected to enhance throughput by distributing the traffic across independent paths. The results compare how WireGuard and IPSec manage multiple tunnels, evaluating their efficiency in leveraging additional network interfaces.

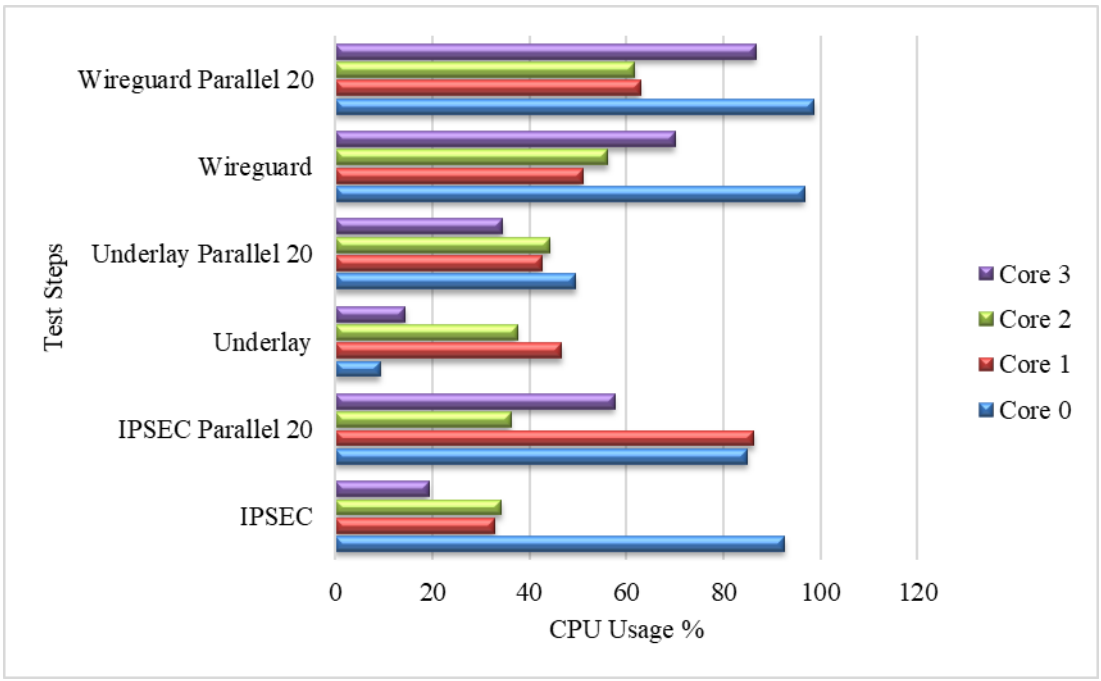


Figure 8. CPU utilization comparison of wireguard and ipsec in dual interface/dual tunnel configuration

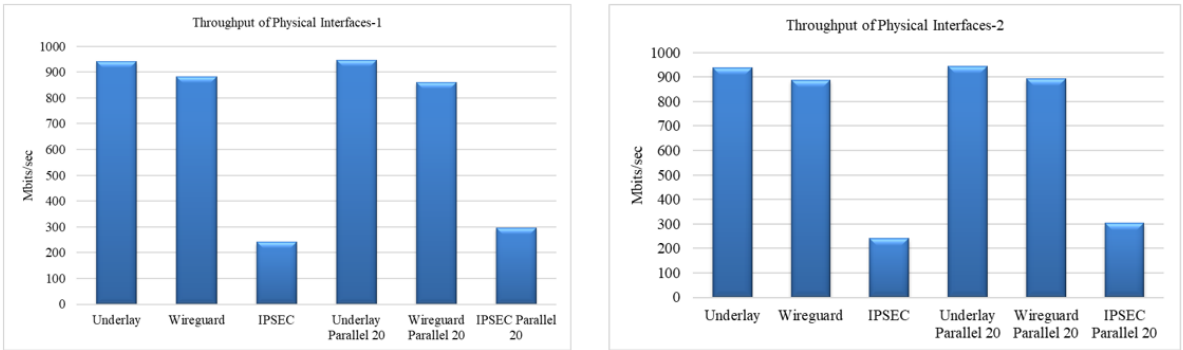


Figure 9. Throughput performance of wireguard and ipsec in dual interface/dual tunnel configuration

Figure 8 explores the impact of using dual interfaces and dual tunnels on CPU utilization. The results reveal that WireGuard effectively distributes processing loads across multiple tunnels, reducing the

impact on any single core or network interface. In contrast, IPSec exhibits less efficient resource distribution, leading to higher CPU usage. Figure 9 presents the corresponding throughput results, showing that WireGuard achieves superior performance in dual interface/dual tunnel configurations. This suggests that WireGuard is more scalable in multi-tunnel deployments, making it a better choice for high-performance networking applications.

WireGuard provided higher throughput and lower CPU usage compared to IPSec. IPSec performance was hampered by high CPU usage.

3.5. Single Interface Dual Tunnel

Unlike the dual interface configuration, this setup utilizes a single physical interface while maintaining two separate VPN tunnels. The objective is to analyze the performance trade-offs between tunnel redundancy and the limitations of a single network interface. The following results highlight the impact of this approach on CPU utilization and throughput performance.

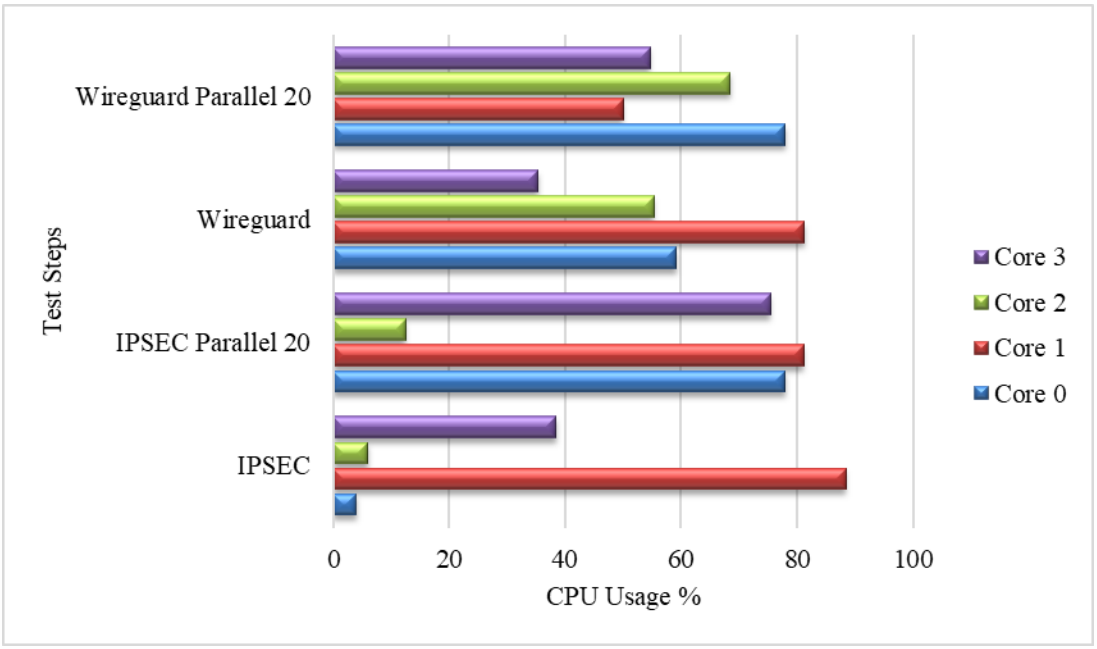


Figure 10. CPU utilization comparison of wireguard and ipsec in single interface/dual tunnel configuration

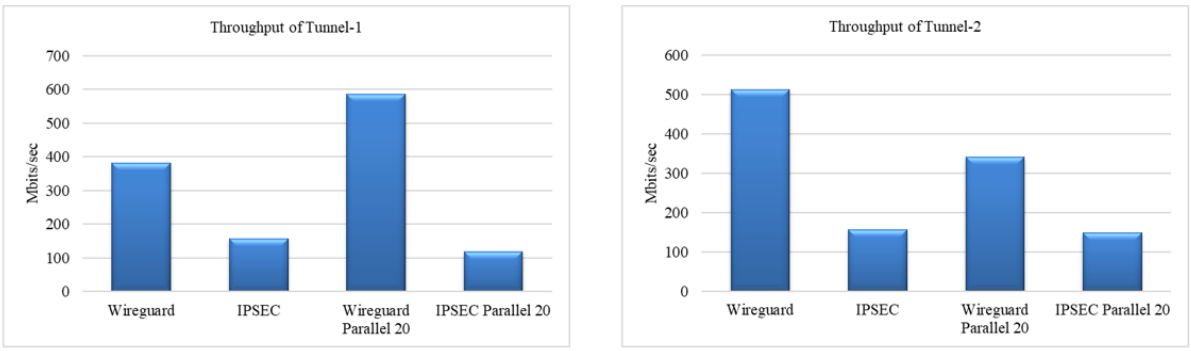


Figure 11. Throughput performance of wireguard and ipsec in single interface/dual tunnel configuration

Figure 10 evaluates the CPU utilization of WireGuard and IPSec in a single interface/dual tunnel configuration. The findings indicate that WireGuard maintains lower CPU consumption while effectively handling multiple tunnels. This efficiency translates into improved overall network performance. Figure 11 presents the throughput performance for this configuration, demonstrating that WireGuard consistently achieves higher data transfer rates despite bandwidth sharing between tunnels. IPSec, on the other hand, struggles with increased CPU consumption, which negatively impacts its throughput capabilities.

3.6. Detailed Comparative Analysis

- Round Robin vs. 802.3ad: Round Robin provided more stable throughput and lower CPU usage at an MTU of 1500 bytes.
- WireGuard vs. IPSec: WireGuard consistently outperformed IPSec across all configurations in both throughput and CPU efficiency.
- Single Interface, Multi-Tunnel Configurations: Sharing a single interface among multiple tunnels reduced overall throughput. However, WireGuard managed this constraint better than IPSec, achieving higher performance despite interface limitations.

These results are consistent with the findings of Dowling and Paterson (2018), who demonstrated that WireGuard's kernel-space implementation contributes to reduced overhead and improved encryption performance under heavy load. Similarly, Abbas et al. (2023) reported IPSec's high CPU consumption due to multi-layer encryption, supporting the overhead measurements observed in our test scenarios.

4. Conclusion

The results of this study clearly demonstrate that WireGuard consistently outperforms IPSec across various network configurations, particularly in high-load. WireGuard's lightweight architecture, streamlined cryptographic implementation, and kernel-space integration contribute to its superior performance in terms of throughput, CPU efficiency, and packet processing speed.

One of the key findings of this study is that WireGuard achieves significantly higher throughput compared to IPSec while maintaining lower CPU utilization, making it an ideal solution for environments where performance and resource efficiency are critical WireGuard's efficiency further enhances its suitability for high-bandwidth applications, increasing overall transmission efficiency.

Although IPSec is a mature and widely accepted VPN protocol, it introduces notable performance limitations. Its higher computational overhead stems from complex key exchange mechanisms (e.g., IKE), multi-layer encapsulation (e.g., ESP, AH), and partial user-space processing. These characteristics make IPSec less favorable for scenarios that demand high-speed, low-latency connectivity. However, IPSec remains a valid choice in specific contexts—particularly in legacy enterprise environments requiring robust security integration, regulatory compliance, or maximum interoperability with existing infrastructure. Acknowledging these trade-offs helps provide a more balanced perspective on protocol selection, enabling decision-makers to align protocol choices with operational priorities.

The analysis of different network bonding strategies also reveals that WireGuard benefits more from multi-interface and load-balancing configurations due to its ability to establish lightweight, stateless encrypted tunnels without introducing excessive protocol overhead. IPSec, on the other hand, struggles with multi-tunnel configurations, often requiring additional tuning to achieve optimal performance.

From a practical standpoint, these findings suggest that organizations seeking to deploy VPN solutions in SD-WAN architectures should prioritize WireGuard, particularly for cloud environments, remote workforce security, and bandwidth-intensive applications. Its ease of configuration, rapid handshake process, and minimal performance overhead make it a future-proof VPN solution, aligning well with the demands of scalable, low-latency, and high-performance network infrastructures.

In conclusion, WireGuard emerges as the superior choice for optimized SD-WAN deployments, where performance, efficiency, and scalability are key requirements. While IPSec remains a viable option for legacy systems and compatibility-driven scenarios, its higher CPU consumption and lower throughput present challenges in high-performance networking applications. The results of this study reaffirm the growing adoption of WireGuard as the preferred VPN protocol in modern network architectures.

Acknowledgment

The authors would like to express their gratitude to ULAK Haberleşme A.Ş. for providing the necessary support and resources that contributed to the successful completion of this study. Their valuable contributions and expertise in the field of communication technologies have been instrumental in facilitating this research.

References

Abbas H., Emmanuel N., Amjad MF., Yaqoob T., Atiquzzaman M., Iqbal Z., Shafqat N., Shahid WB., Tanveer A., Ashfaq U. Security assessment and evaluation of VPNs: a comprehensive survey. ACM Computing Surveys 2023; 55(13): 1-47.

Balachandran S., Dominic J., Sivankalai S. A comparative analysis of VPN and proxy protocols in library network management. Library of Progress-Library Science, Information Technology & Computer 2024; 44(3).

Donenfeld JA. WireGuard:next generation kernel network tunnel. NDSS, 2017.

Dowling B., Paterson KG. A cryptographic analysis of the WireGuard protocol. International Conference on Applied Cryptography and Network Security, 2018.

Gentile AF., Macrì D., Greco E., Fazio P. IoT IP overlay network security performance analysis with open source infrastructure deployment. Journal of Cybersecurity and Privacy 2024; 4(3): 629-649.

Gentile AF., Macrì D., De Rango F., Tropea M., Greco EJFI. A VPN performances analysis of constrained hardware open source infrastructure deploy in IoT environment. Future Internet 2022; 14(9): 264.

Gordeychik S., Kolegov D. SD-WAN Threat Landscape. arXiv preprint 2018.

Mackey S., Mihov I., Nosenko A., Vega F., Cheng Y. A performance comparison of WireGuard and OpenVPN. Proceedings of the Tenth ACM Conference on Data and Application Security and Privacy, 2020, 162-164.

Mansouri Y., Prokhorenko V., Babar MA. An automated implementation of hybrid cloud for performance evaluation of distributed databases. Journal of Network and Computer Applications 2020; 167: 102740.

Narayan S., Brooking K., De Vere S. Network performance analysis of vpn protocols: an empirical comparison on different operating systems. International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing 2009; 645-668.

Oluyede MS., Mart J., Olusola A., Olatuja G. Security challenges and solutions in SD-WAN deployments. ScienceOpen Preprints 2024.

Ostroukh A., Pronin C., Podberezkin A., Podberezkina J., Volkov A. Enhancing corporate network security and performance: a comprehensive evaluation of wireGuard as a next-generation VPN solution. 2024 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications 2024; 1-5.

Pries R., Yu W., Graham S., Fu X. On performance bottleneck of anonymous communication networks. 2008 IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing, 2008, page number:1-11.

Sharma K., Tahiliani MP., Rathod VJ. Design and development of an emulation model for VPN and VPN bonding. 2024 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication 2024; 1-6.

Shen Y., Wu Y., Shen J., Zhang H. WirePlanner: fast, secure and cost-efficient route configuration for SD-WAN. arXiv preprint 2023.

Shue CA., Gupta M., Myers SA. Ipsec: Performance analysis and enhancements. 2007 IEEE International Conference on Communications 2007; 1527-1532.

Ullah S., Choi J., Oh H. IPsec for high speed network links: performance analysis and enhancements. Future Generation Computer Systems 2020; 107: 112-125.

Vilanova JP. Next generation overlay networks: security, trust, and deployment challenges. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), 2021.

Yang Z., Cui Y., Li B., Liu Y., Xu Y. Software-defined wide area network (SD-WAN): architecture, advances and opportunities. 28th International Conference on Computer Communication and Networks, 2019, 1-9.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1370-1383, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1370-1383, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Astragalus L. Cinsinin Bazı Taksonlarındaki Genetik Çeşitliliğin RAPD Tekniği ile Araştırılması: Koruma ve Taksonomiye Yönelik Çıkarımlar

M. Alev ATEŞ[1*], Pelin ACAR[2], Seher KARAMAN[3]

[1]Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Agriculture Department of Agricultural Biotechnology, Kırşehir
[2]National Botanical Garden of Türkiye, Department of Collection, Ankara
[3]Aksaray University Faculty of Science and Art, Department of Biology, Aksaray

[1]https://orcid.org/0000-0002-2141-5438
[2]https://orcid.org/0000-0001-8383-9431
[3]https://orcid.org/0000-0003-1239-8266
*Sorumlu yazar: malev.ates@ahievran.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 26.11.2024
Kabul tarihi: 06.04.2025
Online Yayınlanma: 16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Astragalus L.
Genetik çeşitlilik
RAPD
Türkiye

ÖZ

Astragalus L., Avrasya ve Amerika'da bulunan, yaklaşık 3092 türden oluşan, dünya çapında en büyük damarlı bitki cinsi olarak kabul edilmektedir. Türkiye 63 farklı taksonomik seksiyona ayrılmış 493 türe ev sahipliği yapmaktadır. Bu çalışma, *Astragalus* cinsine ait seksiyonlar üzerinde yürütülen sınırlı sayıdaki moleküler çeşitlilik çalışmalarına odaklanmaktadır. Çalışmada öncelikli olarak Türkiye'de doğal yayılış gösteren 10 (on) *Astragalus* taksonu üzerinde çalışıldı. Genetik polimorfizmlerin varlığını değerlendirmek için Rastgele Çoğaltılmış Polimorfik DNA (RAPD) tekniği kullanıldı. Elde edilen filogenetik ilişki sonuçlarına göre *Anthylloidei* DC (*A. anthylloides, A. halicacabus* ve *A. ermineus*), *Macrophyllium* Bunge (*A. oleaefolius* ve *A. dipodurus*), *Hymenostegis* Bunge (*A. lagopoides, A. velenowskyi* ve *A. hirticalyx*) yakından ilişkili bulunurken, *Poterion* Bunge (*A. russelli*) ve *Hymenocoleus* Bunge (*A. vaginans*) seksiyonlarının farklı konumlar olduğu tespit edilmiştir. Çalışmamız, *Astragalus* taksonlarının moleküler karekterizasyonuna katkıda bulunmayı, moleküler biyoçeşitlilik envanterlerini oluşturmayı ve filogenetik ilişkileri belirlemeyi amaçlamaktadır. Genetik çeşitlilik ve filogenetik pozisyonlarına ilişkin bu bulgular, gelecekteki araştırmalar için önemli çıkarımlara sahiptir ve geleneksel tıp, tarım ve peyzaj dahil olmak üzere birçok alanda ekonomik önemi olan *Astragalus* türlerini vurgulamaktadır.

A RAPD-Based Exploration of Genetic Variation in the Some taxa of *Astragalus* L. Genus: Implications for Conservation and Taxonomy

Research Article

Article History:
Received: 26.11.2024
Accepted: 06.04.2025
Published online:16.06.2025

Keywords:
Astragalus L.
Genetic variation
RAPD
Türkiye

ABSTRACT

Astragalus L. is regarded as the most extensive genus of vascular plants globally, encompassing around 3092 species and distributed across Eurasia and the America. Türkiye hosts 493 species categorized into 63 distinct taxonomic groups. This study examines the restricted molecular diversity studies pertaining to the sections of the genus *Astragalus*. The study primarily investigated ten (10) *Astragalus* taxa native to Türkiye. The Randomly Amplified Polymorphic DNA (RAPD) method was utilized to evaluate the existence of genetic polymorphisms. The phylogenetic analysis revealed that the sections *Anthylloidei* DC (*A. anthylloides, A. halicacabus,* and *A. ermineus*), *Macrophyllium* Bunge (*A. oleaefolius* and *A. dipodurus)*, and *Hymenostegis* Bunge *(A. lagopoides, A. velenowskyi,* and *A. hirticalyx*) are closely related,

whereas the sections *Poterion* Bunge (*A. russelli*) and *Hymenocoleus* Bunge (*A. vaginans*) are situated in distinct locations. This study seeks to enhance the molecular characterization of *Astragalus* taxa, create molecular biodiversity inventories, and elucidate phylogenetic relationships. The results concerning genetic diversity and evolutionary relationships bear substantial implications for future research and underscore *Astragalus* species that possess economic significance in diverse domains, such as traditional medicine, agriculture, and landscaping.

To Cite: Ateş MA., Acar P., Karaman S. A RAPD-Based Exploration of Genetic Variation in the Some taxa of *Astragalus* L. Genus: Implications for Conservation and Taxonomy. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1370-1383.

1.Introduction

The genus *Astragalus* L. is recognized as the largest genus of vascular plants, comprising an estimated 3092 species in the world (POWO, 2025). It has a dual distribution pattern, mostly concentrated in two major regions of the globe, namely Eurasia (Old World) and America (New World). The majority of the species are distributed in the Old World, comprising over 2400 species (Chaudhary et al. 2008; Zarre and Azani 2013). According to Chaudhary et al. (2008), Anand (2010) and Zarre and Azani (2013), there is a restriction of 500 species to the New World. The genus *Astragalus* has 493 taxa within 63 sections in Türkiye (Aytaç et al. 2012; Taeb and Uzunhisarcıklı 2012; Dinç et al. 2013; Karaman Erkul and Aytaç 2013; Çeçen et al. 2016; Karaman Erkul et al. 2016; İlçim and Behçet 2016; Dönmez and Uğurlu Aydin, 2018; Hamzaoğlu, 2020; Tunçkol et al. 2020; Aytaç et al. 2020; Duman et al. 2020; Uzun et al. 2021; Karaman et al., 2022; Karaman et al. 2023; Hamzaoğlu 2024; Fırat 2024a, 2024b).

In contemporary times, the task of comprehending taxonomic relationships through morphological characteristics has grown more challenging. Therefore, the importance of molecularly derived phylogenetic trees has increased, as they facilitate the comprehension of taxonomic relationships. Chloroplast DNA is a significant source of data for genetic and phylogeographic investigations in plant populations due to its characteristics of ancestral inheritance, haploidy, and widespread recombination (Perdereau et al., 2017). Previous research on the genus *Astragalus* has predominantly involved the integration of morphological studies to assess genetic distances among species, identify variations, and discover novel species (Zhang and Jiang, 2020; Martinez, 2024).

In recent times, molecular techniques have been increasingly employed in problems with taxonomic characteristics to ascertain the diversity of plant species, yielding significant outcomes. In particular, molecular characteristics are more dependable than morphological characteristics due to their immunity to environmental influences. By incorporating fingerprint techniques, particularly the RAPD method, among the species of the genus *Astragalus*, this study is expected to establish a new advancement in the scientific literature. Through the dissemination of acquired results, data derived from the existing body of literature will be revised and will serve as a foundation for subsequent investigations. In subsequent analyses, alternative methodologies will be employed to assess the biodiversity of species within the genus *Astragalus*, and the polymorphism rates of those species that have been quantified with respect to biodiversity will be ascertained.

The Random Amplified Polymorphic DNA approach (RAPD) is commonly employed in numerous molecular investigations across various plant species for the purpose of identifying genetic polymorphism (Vos et al., 1995; Karp et al., 1997). PCR-based molecular investigations play a crucial role in the identification and characterization of genetic variation, particularly at the inter-species and inter-genus levels. Polymorphism diagnosis benefits from their utilization, particularly in the accurate determination of primers employed, hence enhancing the overall quality of molecular investigations (Nebauer et al., 1999). The RAPD technique will be employed to ascertain the polymorphism rates of ten taxa within the genus *Astragalus* that are naturally distributed in Türkiye. Additionally, a molecular phylogenetic relation will be established between these taxa. Thus, molecular records will be annotated in the biodiversity records of naturally distributed *Astragalus* species found in the literature.

The primary objective of this study is to comprehensively evaluate both molecular and morphological data in the aspect of conserving plant diversity in Türkiye. Our research is dedicated to establishing and safeguarding molecular biodiversity inventories for naturally occurring species. Using the RAPD technique, we aim to document the diversity of the genus *Astragalus,* a members of economically significant Fabaceae family. Economic importance in *Astragalus* used as a traditional Chinese medicine (Huang et al., 2019), a valuable forage for livestock (Rao et al., 2018), a soil fertilitizer in agriculture (Jafari et al., 2018), a stabilizer in soil with their deep root systems (Eldridge et al., 2015), to an ornamental plant in horticulture and landscaping (Ranney et al., 2014). Consequently, these economically significant taxa will not only be classified based on morphological attributes but also on molecular characteristics. Furthermore, this study aims to determine the phylogenetic positions and relationships among *Astragalus* taxa, contributing to the molecular characterization of valuable genetic resources.

2.Materials and Methods

Samples belonging to 10 *Astragalus* taxa from different regions of Türkiye were collected mainly from their natural habitats as a part of project by S. Karaman (TÜBİTAK Project No: TBAG 110 T 911). The field works were carried out from early spring to mid-summer of 2014. In the field, the shoots with fresh leaves were collected and preserved in package filled with silica gel for molecular analyses, while a large branch with a leaf and fruit was taken and pressed for morphometric analyses. All samples were conserved at GAZI, AKSU and Tuna Ekim herbaria for collections. Information on the samples and their locations was presented in detail in Table 1.

Table 1. Information on *Astragalus* samples and their locations

No	Section	Taxon	Endemism	Turkish Name	Province
1	*Anthylloidei* DC.	*Astragalus anthylloides* Lam.	-	*Torbalı geven*	Ankara
2	*Anthylloidei* DC.	*A.halicacabus* Lam.	-	*Sepet geveni*	Erzurum
3	*Anthylloidei* DC.	*A. ermineus* V.A.Matthews	endemic	*Sansar geveni*	Van
4	*Poterion* Bunge	*A. russelii* Banks & Sol.	-	*Ballan*	Şanlıurfa
5	*Macrophyllium* Bunge	*A. oleaefolius* DC.	-	*Deli geven*	Aksaray
6	*Macrophyllium* Bunge	*A. dipodurus* Bunge	-	*Gürbüz geven*	Konya
7	*Hymenostegis* Bunge	*A. lagopoides* Lam.	-	*Som geven*	Van
8	*Hymenostegis Bunge*	*A. hirticalyx* Boiss. & Kotschy ex Boiss.	-	*Tüylüçanak*	Van
9	*Hymenostegis* Bunge	*A.velenovskyi* Nábělek	endemic	*Berçelan geveni*	Van
10	*Hymenocoleus* Bunge	*A. vaginans* DC.	endemic	-	Niğde

Table 2. Information about the primers used in the study (Anand et al., 2010)

No	Primer name	Sequence	Total band number	The number of polymorphic band	The percentage of polymorhism
1	OP-B08	GTCCACACAG	24	24	100
2	OP-B09	TGGGGGACTC	25	25	100
3	OP-C05	GATGACCGCC	21	21	100
4	OP-C15	GACGGATCAG	20	20	100
5	OP-N06	GAGACGCACA	26	26	100
6	OP-N08	ACCTCAGCTC	27	27	100
7	OP-N17	CATTGGGGAG	32	32	100
8	OP-N18	GGTGAGGTCA	24	24	100
9	OP-N19	GTCCGTACTG	27	27	100
10	OP-N20	GGTGCTCCGT	26	26	100

Total DNA was isolated from leaves using a modified cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) protocol (Doyle, 1987). The presence and quality of the DNA were assessed using a spectrophotometer. The diluted DNA (10 ng/µl) was stored at 4ºC. The genetic diversity among individuals of the *Astragalus* genus belonging to 10 different taxa (Table 1) was tried to be determined using the RAPD technique. 10 primer markers amplified from different regions were studied according to their polymorphism rates (Table 2).

Initially, regional-specific optimization studies were conducted. To guarantee accurate amplification of the DNA region, it is critical in molecular research to optimize PCR mixture solutions and PCR cycling

conditions. Scanning of DNA followed the clarification and optimization of the temperature and PCR mixtures of the region. By manipulating their concentrations, primers for the region chosen for the PCR method were produced. By utilizing PCR mix, which comprises all enzymes and essential buffer solutions, the barcode region of DNA samples was amplified by PCR. It was determined whether the intended region had been amplified by loading the amplified PCR products onto an agorose gel using agorose gel electrophoresis. PCR products are inserted into wells that have been accessed utilizing combs, while the polymerized gel is immersed in the tank containing the buffer solution. A voltage range of 80-100V is utilized to operate agarose gel for a specified duration. Bands of the amplified DNA products are observed under ultraviolet light once electrophoresis is complete.

The aim of the RAPD technique is to determine the polymorphism rates in randomly cut regions. For this reason, the detection of polymorphic fragments begins with the counting of the bands in the PCR products carried out on agarose gel. If any type of band is present in the amplified profiles, it is coded as "1", otherwise it is coded as "0". The polymorphism rate of each primer is manually calculated after these bands are calculated and formulated as 'Polymorphism % = (Np/Nt) ×100. Here, Np gives the total number of polymorphic bands and Nt gives the total number of bands. Genetic association is calculated after the detection of polymorphic bands. Also, clear and visible amplified band numbers are sufficient for genetic relationship analysis. Manually, the GD (genetic diversity) ratio is made according to the following formula applied by Nei and Li (1979): G.D = 1-{2Nab/(Na + Nb)}. Where Nab: total number of bands seen in all individuals; Na: number of bands in individual a; Nb: is the number of bands in individual b. Genomic diversity rates are represented by the matrix resulting from these calculations. Today, clustering analyses are utilized to generate GD trees. The programs with the UPGMA method, which was developed by Sneath and Sokal in 1973, is particularly prevalent in these investigations. In the current study, The Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System (NTSYS) Version 2.1 application was utilized for all analyses (Rohlf, 2004). The genetic diversity among the resultant trees and 10 distinct species was assessed by employing polymorphic bands.

3.Result and Discussion

The Polymerase Chain Reaction (PCR) technology was employed to evaluate the efficacy of 10 distinct primers across a set of 10 distinct species. In the PCR protocol, the amplification process commenced with an initial denaturation step at a temperature of 94°C for a duration of 5 minutes. This was followed by a total of 45 cycles, each consisting of three steps: denaturation at 94°C for 1 minute, annealing at 35°C for 1 minute, and extension at 72°C for 1 minute. Finally, a final extension step was programmed at 72°C for 5 minutes. The cycle was repeated for each primer. The results indicate that band profiles were obtained using the utilization of the electrophoresis technique, specifically employing a 2% agarose gel. The bands were enumerated individually and subsequently organized for analysis within an excel spreadsheet (Figure 1, 2, 3, 4, 5).

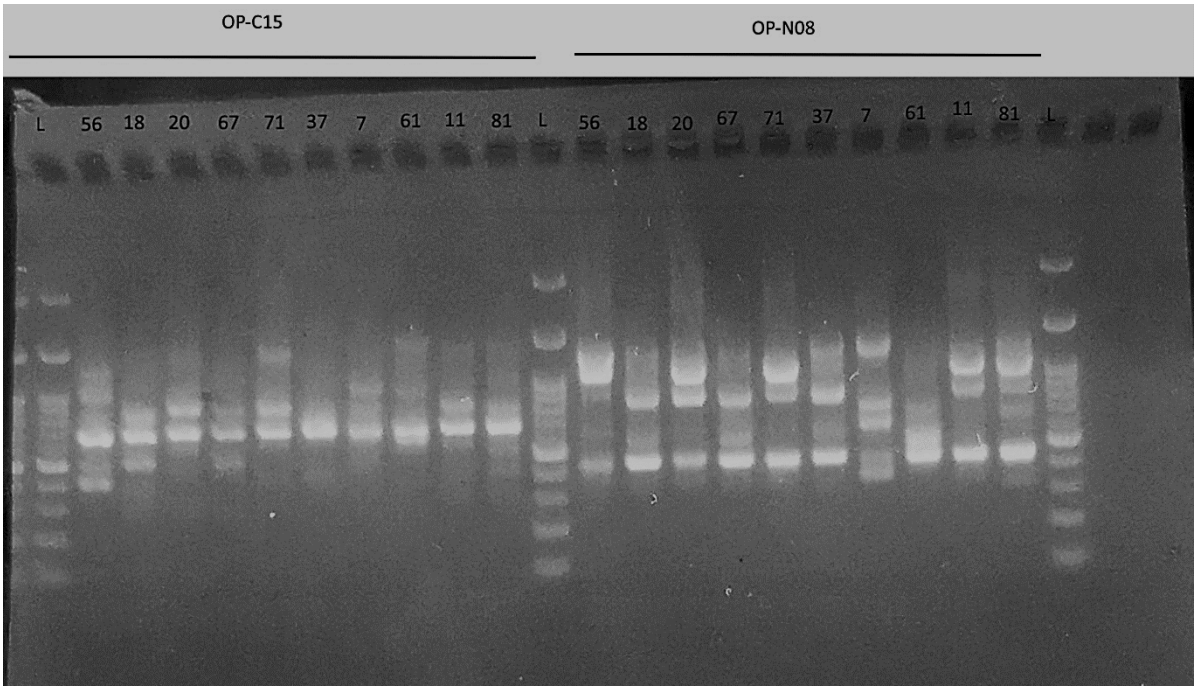


Figure 1. Gel image of primers OP-C15 & OP-N08

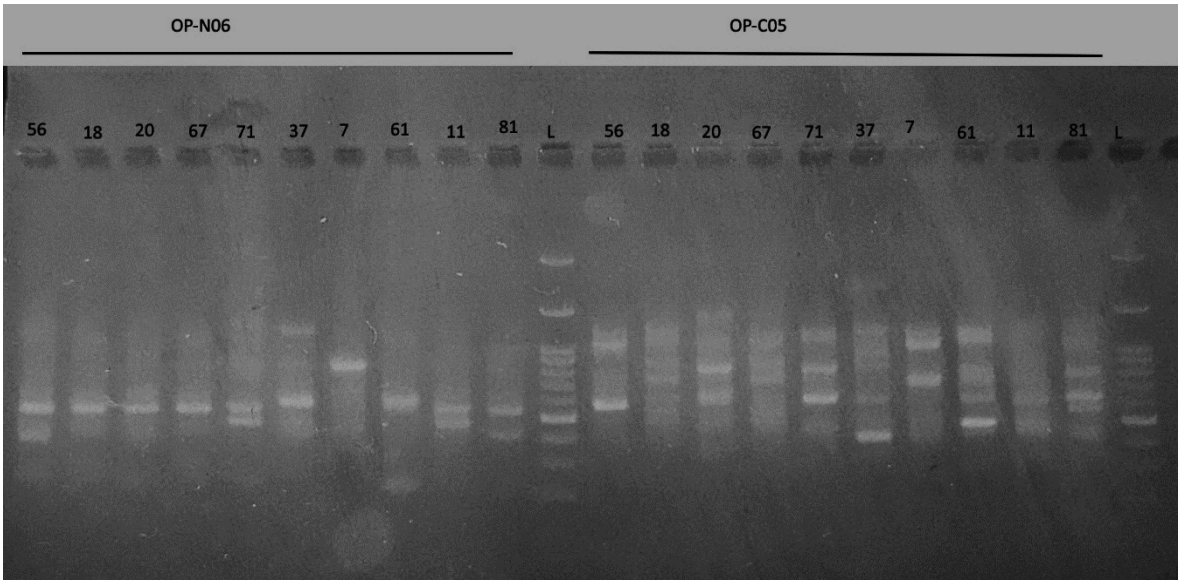


Figure 2. Gel image of primers OP-N06 & OP-C05

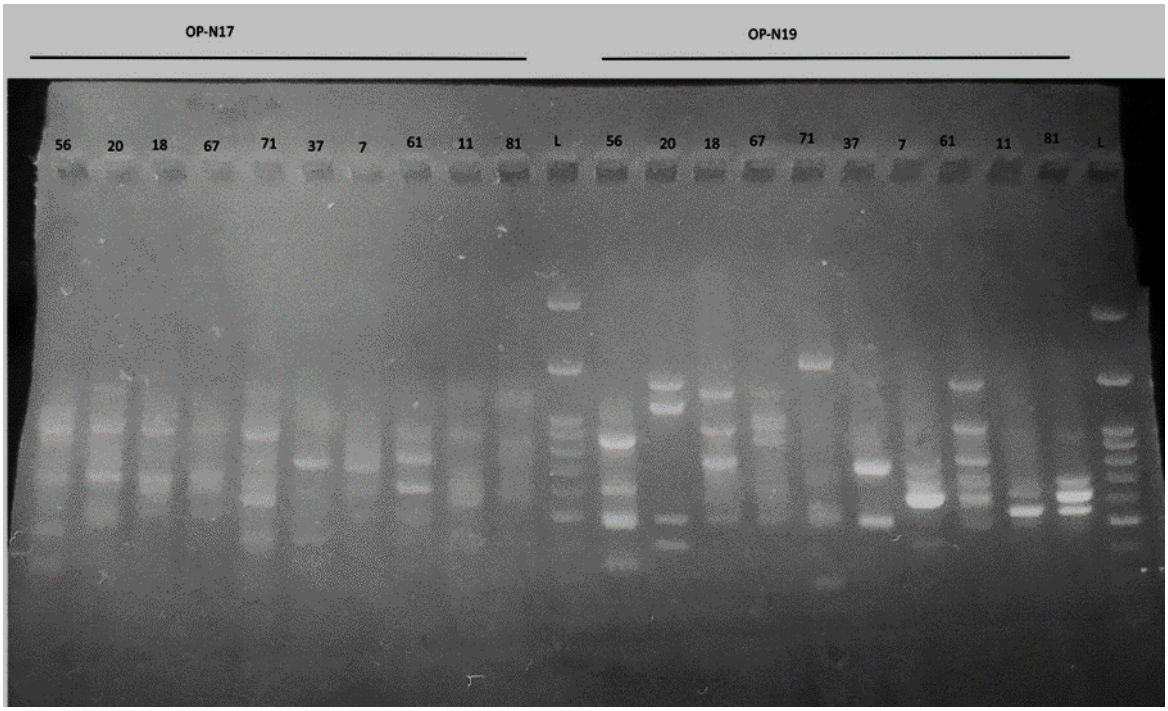


Figure 3. Gel image of primers OP-N17 & OP-C19

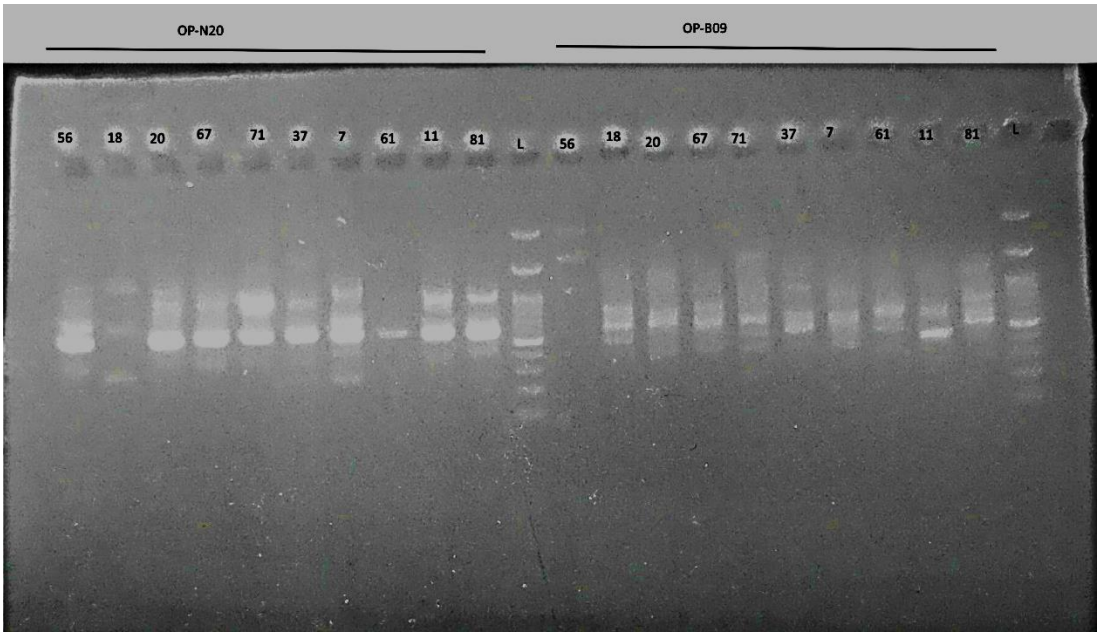


Figure 4. Gel image of primers OP-N20& OP-B09

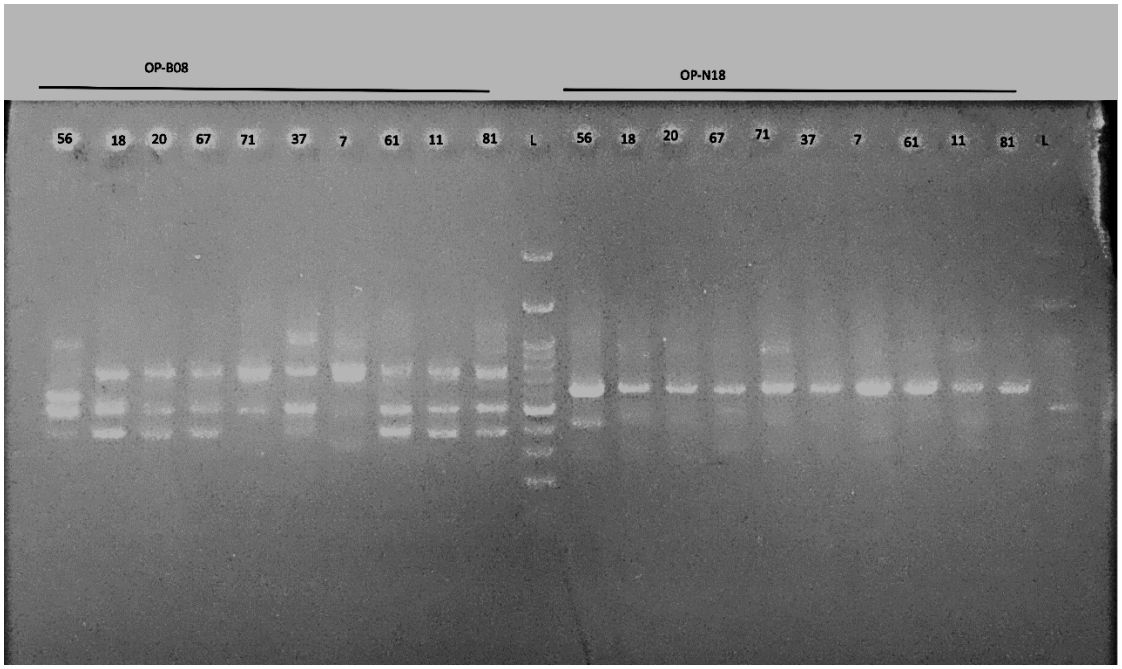


Figure 5. Gel image of primers OP-B08& OP-N18

Table 3 presents the quantification of polymorphic bands based on the calculations derived from the gel image of the band profiles. In line with this, it is worth noting that while the number of bands observed in the primers' bands is lower compared to those depicted in the reference figure, they exhibit a considerable level of polymorphism, as indicated by the data represented in Table 3.

Table 3. Number of amplified products from 10 different oligonucleotide primers. 56: *A. anthylloides,* 18: *A. oleaefolius,* 67*: A. dipodurus,* 20: *A. lagopoides,* 71: *A. velenovskyi,* 11: *A. hirticalyx,* 37: *A. halicacabus,* 7: *A. russelii,* 61: *A. vaginans,* 81: *A. ermineus.*

No	Primers	Total RAPD bands	Polymorphic band number	Amplified band number									
				56	***18***	***20***	***67***	***71***	***37***	***7***	***61***	***11***	***81***
1	**OP-C15**	6	5	5	3	3	3	3	1	3	3	3	4
2	**OP-N08**	7	6	3	3	4	2	4	3	5	2	4	5
3	**OP-N06**	5	5	2	1	1	1	2	2	1	1	2	2
4	**OP-C05**	5	5	2	0	2	1	2	2	2	3	1	1
5	**OP-N17**	3	3	1	2	2	2	1	1	1	2	0	0
6	**OP-N19**	7	6	3	2	3	2	2	1	1	3	1	3
7	**OP-N20**	2	2	2	0	2	2	2	2	2	1	2	2
8	**OP-B09**	2	2	0	2	2	2	2	2	2	1	2	1
9	**OP-B08**	4	4	3	3	3	3	3	4	1	3	3	3
10	**OP-N18**	3	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1

The phylogenetic tree seen in Figure 6 was derived from the analyses conducted using the NTSYS program. Based on the analysis of the tree, the studied species can be classified into two distinct categories (Clade 1 and 2). *A. halicacabus* and *A. russeli* are classified as subgroups within the first main clade (Clade 1), whereas *A. anthylloides* is distinctively positioned as a separate branch among the same clade. The remaining *Astragalus* species comprised the first clade (Clade 1), whereas *A. vaginans* and *A. ermineus* collectively constituted the second clade (Clade 2). Species such as *A. oleaefolius* and *A. dipodurus*, as well as *A. lagapoides* and *A. velenoskyi*, exhibited notable genetic similarities. The observed distribution of species in the phylogenetic tree provides empirical evidence that aligns with the established morphological section classifications.

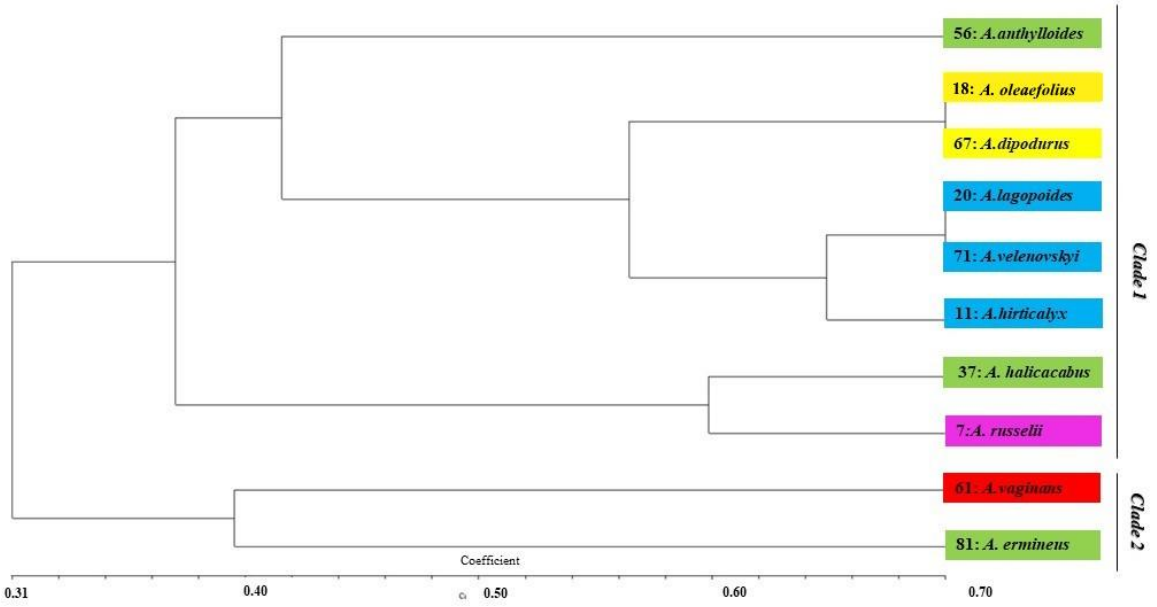


Figure 6. Phylogenetic tree constructed by the NJ method in the NTSYS 2.2 program. 56: *A. anthylloides,* 18:*A. oleaefolius,* 67*: A. dipodurus,* 20: *A. lagopoides,* 71: *A. velenovskyi,* 11: *A. hirticalyx,* 37: *A. halicacabus,* 7: *A. russelii,* 61: *A. vaginans,* 81: *A. ermineus.* (The members of *Anthylloidei* DC. are shown in green, *Macrophyllium* Bunge in yellow, *Hymenostegis* Bunge in blue, *Poterion* Bunge in pink and *Hymenocoleus* Bunge in red).

Upon examination of the phylogenetic tree, it can be observed that the *Anthylloidei* DC. in green (*A. anthylloides* and *A. halicacabus*), *Macrophyllium* Bunge in yellow (*A. oleaefolius* and *A. dipodurus*), *Hymenostegis* Bunge in blue *(A. lagopoides, A. velenowskyi,* and *A. hirticalyx*), and *Poterion* in pink sections are grouped together in the first clade. The *A. oleaefolius* and *A. dipodurus* species within the *Macrophyllium* Bunge section exhibit the highest degree of morphological similarity among all species in the section. Thus, they are allied together in sub clade of Clade 1. Also the section *Hymenostegis* Bunge clustered under the second sub clade of Clade 1. The species *A. lagopoides* and *A. velenovskyi* in Clade 1 exhibit morphological similarities and share the characteristic of having yellow blooms. These two species are in close proximity to each other on the sub clade of Clade 1. The purple-flowered

A. hirticalyx, situated in the sub clade, is in close proximity to the other two species but belongs to a distinct sublineage. The *Poterion* Bunge (*A. russelli*) is the section found in the third sub clade (Clade 1). About *Poterion* section had detailed studies that this section had many different morphological and molecular characters. The distinct position of the section in Clade 1 supported by morphological (short and white the on the calyx) and polymorphic sites on nrDNA and cpDNA gene regions (Ateş, 2017). The members of *Astragalus* located in Clade 1 exhibited more support for the morphological evidence. Additional molecular investigation is needed to done better understand the close proximity of *A. russelii* and *A. halicacabus* species sub clade of Clade 1, as their morphological characteristics do not support the molecular analysis.

Within Clade 2, *A. vaginans* (in red) from the *Hymenocoleus* Bunge section and *A. ermineus* from the *Anthylloidei* DC section are in close proximity. *A. ermineus* is the sole species within the *Anthylloidei* division possesses a spiny rachis which is found on Clade 1. *A. vaginans* is a species characterized by a rachis covered in spines. Those two species were found very close in the formerly constructed tree based on both nrDNA ITS and cpDNA *matK* gene regions (Ateş, 2017). Also *A. vaginans* from the *Hymenocoleus* section showed close relations to the *Anthylloidei* section and found no clear phylogenetic placement according to previous study based on ITS sequence data (Bagheri et al., 2017). Our findings supported proximate relationship of *A. vaginans* from the *Hymenocoleus* section to the *Anthylloidei* section. More sampling and detailed molecular analysis need to be done to determine the taxonomic position and conservation status of the *A. vaginans* which is an endemic species to Türkiye.

4. Conclusion

The application of the RAPD technique, a widely utilized method for discerning and analyzing genetic polymorphisms, has significantly contributed to scientific investigations. Despite the wealth of global research utilizing this fingerprinting technique on the genus *Astragalus*, studies conducted in Türkiye, especially those concentrating on endemic species, remain notably scarce. Understanding of the genetic diversity based on polymorphic sites, and phylogenetic positions of 5 sections and 10 distinct *Astragalus* species in newly constructed tree emphasize the need for conservations and more exclusive molecular research efforts, particularly endemic species in Türkiye. Our findings underscore the alignment between morphological data and the outcomes derived from the section examinations within the *Astragalus* genus. Especially, findings supported the proximate relationship of endemic species *A. vaginans* from the *Hymenocoleus* Bunge section to the *Anthylloidei* DC section. In the context of conservation biology, our study emphasizes for increased attention to the genetic intricacies of endemic *Astragalus* species, highlighting the potential vulnerability of these populations and the necessity for targeted conservation strategies to preserve the unique genetic heritage present in Türkiye's *Astragalu*s populations. The foundings are crucial for informed decision-making and sustainable management practices to ensure the long-term viability of these valuable plant resources.

Acknowledgement

The study was supported from Kırşehir Ahi Evran University with the identification code ZRT.A4.22.011.We express our gratitude to the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK Project No: TBAG 110 T 911) and the Rectorate of Kırşehir Ahi Evran University and the Coordination Unit for Scientific Research Projects (BAP) for their valuable supports.

Conflict of Interest Declaration

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

Researchers' Contribution Statement

The authors declare that they have contributed equally to the article.

References

Ateş MA. Molecular phylogenetic relationships of six *Astragalus* L. sections (*Halicacabus, Megalocystis, Macrophyllium, Hymenostegis, Hymenocoleous, Poterion*) native to Turkey based on cpDNA and nDNA Regions. Doktora Tezi, Middle East Technical University 2017; Ankara, Türkiye.

Anand KK., Srivastava RK., Chaudhary LB., Singh AK. Delimitation of species of *the Astragalus rhizanthus* complex (Fabaceae) using molecular markers RAPD, ISSR and DAMD. Taiwania 2010; 55(3): 197-207.

Aytaç Z., Ekici M., Akan H. *Astragalus* L-In: Güner A., Aslan S., Ekim T., Vural M., Babaç MT. (eds), Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler) (List of Turkish plants {vascular plants}). Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, 2012; 427–456, İstanbul.

Aytaç Z., Çeçen Ö., Fişne A. *Astragalus sertavulensis* (sect. Onobrychoidei/Fabaceae), a new species from Turkey. Nordic Journal of Botany 2020; 38(9).

Bagheri A. Taxonomical study of the genus *Astragalus* (Fabaceae) in the Zanjan Province, Iran. Tarbiat Moallem University 2009; Tehran, İran.

Bagheri A., Maassoumi AA., Rahiminejad MR., Brassac J., Blattner FR. Molecular phylogeny and divergence times of *Astragalus* section Hymenostegis: An analysis of a rapidly diversifying species group in Fabaceae. Scientific Reports 2017; 7: 14033.

Chaudhary LB., Rana TS., Anand KK. Current status of the systematics of *Astragalus* L. (Fabaceae) with special reference to the Himalayan species in India. Taiwania 2008; 53: 338-355.

Çeçen Ö., Aytaç Z., Mısırdalı H. *Astragalus unalii* (Fabaceae), a new species from Turkey. Turkish Journal of Botany 2016; 40(1): 1-8.

Dinç M., Aytaç Z., Doğu S. A new species of *Astragalus* (Fabaceae) from Turkey. Turkish Journal of Botany 2013; 37: 841–846.

Doyle JJ. Rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. Photochemical Bulletin 1987; 19: 11-15.

Dönmez AA., Uğurlu Aydın Z. *Astragalus ihsancalisii* (Fabaceae), a new species from Erzurum Province, Eastern Turkey. Willdenowia 2018; 48(3): 399–404.

Duman H., Aytac Z., Özbek F. *Astragalus aybarsii* a new species of sect. Onobrychoidei DC.(Fabaceae) from Turkey. Turkish Journal of Botany 2020; 44(6): 661-669.

Eldridge DJ., Poore AG., Ruiz-Colmenero M., Letnic M., Soliveres S., Bardgett RD. Soil-foraging animals alter the composition and coexistence of vegetation in an old field system. Ecology 2015; 96(6): 1724-1734.

Fırat M. *Astragalus nordizensis* (Fabacaea), A new species from Van province (Türkiye) belonging to section Hymenostegis. Nordic Journal of Botany 2024; 2024(2): e04172.

Fırat M. *Astragalus miksensis* Fırat (Fabaceae), a new species in section Hymenostegis from Van province, Türkiye. Phytotaxa 2024; 641(2): 149-160.

Güner A., Aslan S., Ekim T, Vural M., Babaç MT. Türkiye bitkileri listesi (Damarlı Bitkileri). İstanbul: Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını 2012; Istabul.

Huang X., Gao Y., Lan X., Yu L. Ethnopharmacology, phytochemistry, and pharmacology of Chinese *Astragalus* (Huangqi): A comprehensive review. Journal of Ethnopharmacology 2019; 241: 112084.

Hamzaoğlu E. *Astragalus askaleensis* (sek. *Adiaspastus*, Fabaceae), Türkiye'den yeni bir tür. Türler Habitatlar 2020; 1: 114–123.

Hamzaoğlu E. *Astragalus nallihanicus* (sect. Caprini, Fabaceae), a new species from Türkiye. Acta Botanica Croatica 2024; 83(1): 26-31.

Ilcim A., Behçet L. *Astragalus topalanense* (Fabaceae), a new species from Turkey. Turkish Journal of Botany 2016; 40(1): 74-80.

Jafari M., Rahimi E., Shabani F., Asghari J. Nitrogen fixation potential of *Astragalus microcephalus* in central Zagros rangelands of Iran. Journal of Plant Nutrition 2018; 41(2): 210-221.

Karaman Erkul S., Çeter T., Aytaç Z. Türkiye'nin *Astragalus* L. (Leguminosae) cinsine ait poterion bunge seksiyonunun revizyonu. Ot Sistematik Botanik Dergisi 2017; 24(1): 1-20.

Karaman Erkul S., Duman H., Ateş MA. *Astragalus oksutdagensis* (Fabaceae), a new species from Turkey. Nordic Journal of Botany 2022; 2022(3): 1-12.

Karaman Erkul S., Aytaç Z. *Astragalus yukselii* (Leguminosae), a new species from Turkey. Turkish Journal of Botany 2013; 37(5): 1-6.

Karaman Erkul S., Aytac Z., Ekici M. Synopsis of the sect. *Hymenocoleus*, sect. *Hymenostegis*, and sect. *Macrophyllium* belonging to *Astragalus* (Fabaceae) in Turkey. Turkish Journal of Botany 2016; 40(4): 412-418.

Karaman S., Duman H., Evran AH., Aytaç Z. A new record for the flora of Turkey: *Astragalus schmalhausenii* Bunge (Fabaceae). Herbarium Turcicum 2023; 4: 18–21.

Karp A. Molecular tools in plant genetic resources conservation: a guide to the technologies. Bioversity International; 1997.

Kazempour Osaloo S., Maassoumi AA., Murakani N. Molecular systematics of the genus *Astragalus* L. (Fabaceae): Phylogenetic analysis of nuclear ribosomal DNA internal transcribed spacers and chloroplast gene ndhF sequences. Plant Systematics and Evolution 2003; 242: 1-32.

Martinez V. Exploring evolutionary relationships of new world *astragalus* through phylogenomic analyses. Loyola University of Chicago Graduate School 2024; Master Thesis

Moghaddam M., Kazempour Osaloo S., Hosseiny H., Azimi F. Phylogeny and divergence times of the Coluteoid clade with special reference to *Colutea* (Fabaceae) inferred from nrDNA ITS and two cpDNAs, matK and rpl32-trnL(UAG) sequences data. Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology 2017; 151(6): 1082-1093.

Nebauer SG., del Castillo-Agudo L., Segura J. RAPD variation within and among natural populations of outcrossing willow-leaved foxglove (*Digitalis obscura* L.). Theoretical and Applied Genetics 1999; 98(6): 985-994.

Nei M., Li WH. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases. Proceedings of the National Academy of Sciences 1979; 76(10): 5269-5273.

POWO. Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Published on the Internet; https://powo.science.kew.org/ Retrieved 14 March 2025.

Perdereau A., Klaas M., Barth S., Hodkinson TR. Plastid genome sequencing reveals biogeographical structure and extensive population genetic variation in wild populations of Phalaris arundinacea L. in north-western Europe. Gcb Bioenergy 2017; 9(1): 46-56.

Ranney TG., Eaker TA., Bassuk NL., Whitlow TH. Evaluation of 47 species of native plants for the southeastern United States. HortScience 2014; 49(8): 1000-1008.

Rao RV., Shivashankara KS., Gajanana TM. Forage potential and agronomic evaluation of some *Astragalus* species. The Journal of Agricultural Science 2018; 10(2): 266-276.

Rohlf J. NTSYS-PC Version 2.11 T. Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System. Applied Bioestastistics.

Sneath PH. Numerical taxonomy, bergey's Manual® of Systematic Bacteriology. Edited by Brenner DJ, Krieg NR, Staley JT, Garrity GM: Springer US 2005;4.

Shahi Shavvon R., Kazempour Osaloo S., Maassoumii AA., Moharrek F., Karaman Erkul S., Lemmon AR., Lemmon EM., Michalak I., Muellner-Riehl AN., Favre A. Increasing phylogenetic support for explosively radiating taxa: The promise of high-throughput sequencing for *Oxytropis* (Fabaceae). Journal of Systematics and Evolution 2017; 55(4): 385-404.

Scheunert A., Heubl G. Diversification of Scrophularia (Scrophulariaceae) in the Western Mediterranean and Macaronesia–Phylogenetic relationships, reticulate evolution and biogeographic patterns. Molecular Phylogenetics and Evolution. 2014; 70: 296-313.

Taeb F., Uzunhisarcikli ME. *Astragalus argentophyllus* (Fabaceae), a new species from south Anatolia, Turkey. Annales Botanici Fennici 2012; 49(4): 259–262.

Tunçkol B., Aytaç Z., Aksoy N., Fişne A. *Astragalus bartinense* (Fabaceae), a new species from Turkey. Acta Botanica Croatica 2020; 79(2): 131-136.

Uzun A., Aytac Z., Tülücü F. *Astragalus nurhakdagensis* (sect. Hololeuce Bunge/Fabaceae), a new species from Turkey. Turkish Journal of Botany 2021; 45(6): 573-586.

Vos P., Hogers R., Bleeker M., Reijans M., Lee TV., Hornes M., Friters A., Pot J., Paleman J., Kuiper M., Zabeau M. AFLP: A new technique for DNA fingerprinting. Nucleic Acids Research 1995; 23(21): 4407–4414.

Wojciechowski MF., Sanderson MJ., Baldwin BG., Donoghue MJ. Monophyly of aneuploid *Astragalus* (Fabaceae): Evidence from nuclear ribosomal DNA internal transcribed spacer sequences. American Journal of Botany 1993; 80(6): 711-722.

Zarre S., Azani N. Perspectives in taxonomy and phylogeny of the genus *Astragalus* (Fabaceae): a review. Progress in Biological Sciences 2013; 3(1): 1-6.

Zhang D., Jiang B. Species identification in complex groups of medicinal plants based on DNA barcoding: a case study on Astragalus spp.(Fabaceae) from southwest China. Conservation Genetics Resources 2020; 12(3): 469-478.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1384-1404, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1384-1404, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Cinsiyet ve Antropometrik Ölçümlerin Hedonik Açlık Belirteci Olan Besin Gücüne Etkisi

Özlem ÖZER ALTUNDAĞ[1*]

[1]Karabük Üniversitesi, Safranbolu Turizm Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, 78600, Karabük

[1]https://orcid.org/0000-0001-7117-6335
*Sorumlu yazar: ozlemozeraltundag@karabuk.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 09.07.2024
Kabul tarihi:23.03.2025
Online Yayınlanma: 16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Besin algısı
Hedonik açlık
Duygusal açlık
Antropometri
Besin tercihi
Cinsiyet

ÖZ

Hedonik açlık son yıllarda obezitenin önemli nedenlerinden biri olarak öne çıkmıştır. Besin Gücü Ölçeği (BGÖ), bireylerin besinlere olan hedonik dürtülerini ve açlık hislerini değerlendiren bir ölçüm aracıdır. Bu çalışma yetişkin bireylerde besin gücünün ve duygusal iştah durumunun hedonik açlık ve antropometrik ölçümlerle ilişkisinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Araştırma gönüllü 210 kadın ve 118 erkek olmak üzere toplamda 328 yetişkin birey üzerinde yapılmıştır. Verilerin toplanmasında bireylere Görsel Analog Skalası (GAS), BGÖ ve Duygusal İştah Anketi (DİA) ile demografik özellikleri belirmek için cinsiyet, yaş, eğitim durumu gibi soruları içeren anket formu uygulanmıştır. Elde edilen veriler SPSS v26.0 programı kullanılarak analiz edilmiştir. Bulgular incelendiğinde bireylerin %64,0'ının kadın, %36,0'ının erkek; yaş ortalamalarının 37,10±9,22 yıl; %63,5'inin günde üç ana öğün, %36,5'inin iki ana öğün beslendiği; %51,8'inin daha önce en az bir kere diyet uyguladığı, %48,2'sinin uygulamadığı; kadınların Beden Kütle İndeksi (BKİ) ortalamasının 28,77±7,04 kg/m^2, erkeklerin BKİ ortalamasının 25,83±4,25 kg/m^2 olduğu ve katılımcıların %63,7'sinde hedonik açlığının olduğu görülmüştür. GAS ortalama puanları incelendiğinde ise kadınların çikolata ve çikolatalı ürünleri tüketme isteği ortalama puanı (6,18±2,71) anlamlı olarak erkeklerin ortalama puanından (4,23±2,41) fazladır (p=0015, p<0,05). Aynı şekilde kadınların cips tüketme isteği ortalama puanı (4,51±2,71) anlamlı olarak erkeklerin ortalama puanından (2,79±1,41) yüksektir (p=0,001, p<0,001); kadınların çekirdek tüketme isteği ortalama puanı (4,17±2,71) anlamlı olarak erkeklerin ortalama puanından (3,01±1,61) fazladır (p=0,029, p<0,05). Kadınların BGÖ ortalama puanının (2,76±0,52) anlamlı olarak erkeklerin ortalama puanından (2,57±0,45) yüksek olduğu görülmüştür (p=0,013, p<0,05). Bununla birlikte DİA ve alt boyutlarının ortalama puanları arasında cinsiyete göre anlamlı farklılık bulunmamaktadır (p>0,05). Bireylerin GAS, DİA ve BGÖ'nin hedonik açlık üzerine etkili olduğu; bireylerin cinsiyet ve yeme hızı gibi özelliklerinin hedonik açlığı etkilediği görülmektedir (p<0,05). Fakat bu çalışma verilerinde kullanılan bu ölçeklerin bireylerin antropometrik ölçümlerini etkilemediği sonucuna ulaşılmıştır (p>0,05). Yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında benzer sonuçlar elde edilirken antropometrik ölçümler konusunda farklılık gözlenmiştir. Hedonik açlığın antropometrik ölçümlere etkisinin daha net ortaya konması için farklı yaş/meslek grupları üzerinde yeni çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

The Effect of Food Power on Hedonic Hunger and Anthropometric Measurements by Gender

Research Article

ABSTRACT

Article History:
Received: 09.07.2024
Accepted: 23.03.2025
Published online: 16.06.2025

Keywords:
Food perception
Hedonic hunger
Emotional hunger
Anthropometri
Food preference
Gender

Hedonic hunger has emerged as one of the significant causes of obesity in recent years. The Power of Food Scale (PFS) is a measurement tool used to assess individuals' hedonic drives toward food and their sensations of hunger. This study aimed to investigate the relationship between food power, emotional appetite, hedonic hunger, and anthropometric measurements in adults. The research was conducted on a total of 328 adult individuals, including 210 women and 118 men, who voluntarily participated in the study. Data collection involved the administration of the Visual Analog Scale (VAS), the Power of Food Scale (PFS), and the Emotional Appetite Questionnaire (EAQ), along with a demographic questionnaire assessing variables such as gender, age, and educational status. The collected data were analyzed using SPSS v26.0 software. The findings revealed that 64.0% of the participants were women, while 36.0% were men, with a mean age of 37.10±9.22 years; 63.5% consumed three main meals per day, whereas 36.5% had two main meals; 51.8% had previously followed a diet at least once, while 48,2% had not; the mean Body Mass Index (BMI) was 28.77±7.04 kg/m² for women and 25.83±4.25 kg/m² for men, and 63.7% of the participants exhibited hedonic hunger. The analysis of VAS mean scores indicated that women's craving for chocolate and chocolate-based products (6.18±2.71) was significantly higher than that of men (4.23±2.41) ($p=0.015$, $p<0.05$); similarly, women's desire to consume chips (4.51±2.71) was significantly higher than that of men (2.79±1.41) ($p=0.001$, $p<0.001$), and women's craving for sunflower seeds (4.17±2.71) was significantly higher than that of men (3.01±1.61) ($p=0.029$, $p<0.05$). Additionally, the mean PFS score for women (2.76±0.52) was significantly higher than that of men (2.57±0.45) ($p=0.013$, $p<0.05$). However, no significant difference was found between genders in terms of EAQ and its subdimensions ($p>0.05$). The study results indicated that VAS, EAQ, and PFS significantly influenced hedonic hunger, and variables such as gender and eating speed were associated with hedonic hunger ($p<0.05$). However, the scales used in this study did not have a significant impact on anthropometric measurements ($p>0.05$). When compared with previous studies, similar results were observed, while differences were noted regarding anthropometric measurements. To more clearly elucidate the effects of hedonic hunger on anthropometric measurements, further studies involving different age and occupational groups are needed.

To Cite: Özer Altundağ Ö. Cinsiyet ve Antropometrik Ölçümlerin Hedonik Açlık Belirteci Olan Besin Gücüne Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1384-1404.

1.Giriş

Karmaşık bir davranış modeli olan beslenme, vücudun fizyolojik ve metabolik işlevlerinin düzgün çalışması için gerekli olmasının yanı sıra ayrıca bireyin sosyal ve psikolojik durumunun da etkisi altındadır (Çolak ve Aktaç, 2019). Vücudun enerji dengesi merkezi sinir sistemi tarafından kontrol edilmektedir ve bu durum besin alımı sürecini etkilemektedir. Bu süreçte, vücudun enerji ihtiyacının yönetilmesinde iki sistem (merkezi ve periferik) devreye girmektedir. İştah kontrolü, aşırı veya yetersiz besin alımını teşvik eden hedonik bir sistemle ve yiyeceklerin bol olarak bulunduğu çevreyle etkileşim içindedir. Açlık ve tokluk hisleri, bireylerin beslenme alışkanlıklarını belirleyen temel unsurlardır (Hızlı ve Büyükuslu, 2018; Crane ve ark., 2023). Açlık ifadesi temelde boşalan enerji depolarını doldurmak amacıyla gerçekleştirilen bir eylem olarak ifade edilirken aslında, besin alımı ve besin arayışı davranışlarını birden çok motivasyonel süreç ile etkileyen bir olgu konumundadır. Açlığın; homeostatik, hedonik ve duygusal olmak üzere birçok farklı türü bulunmaktadır (Uçar ve Türker, 2021; Aydoğdu ve Köksal, 2022).

Homeostatik açlık, kandaki glukoz seviyesinin düşmesi ve serbest yağ asidi seviyesinin yükselmesi sonucu ortaya çıkan açlık hissi ve buna bağlı besin tüketme isteğinin, vücudun dengeleyici (homeostatik) mekanizmaları tarafından düzenlenmesidir. Homeostatik açlık bireyin en az 8 saatlik besin tüketmemesi durumu olarak tanımlanmaktadır (Gündüz ve ark., 2020). Hedonik açlık ise, bireyin enerji ihtiyacı olmaksızın, lezzetli yiyecekleri (şekerli ve yüksek enerjili) tüketmesine yönelik, keyif amaçlı besin alımı olarak tanımlanmaktadır (Çoşkunsu, 2021; Xiao ve ark., 2023). Aslında, iştah ve besin alımı birbirini etkileyen süreçlerdir ve bu süreçler, birbiriyle güçlü bir şekilde bağlantılı iki sistem tarafından kontrol edilmektedir. Bu sistemler homeostatik sistem ve hedonik sistemdir. Homeostatik açlık, enerji depoları tükendiğinde yeme dürtüsünü artırarak enerji dengesini kontrol eder (Karamizadeh ve ark., 2024). Buna karşılık hedonik açlık (ödül temelli yeme eğilimi), bireyin lezzetli besinleri aşırı derecede tüketmek istemesi ve bu besinleri yedikten sonra yoğun bir şekilde keyif alması durumu olarak ifade edilmektedir (Lutter ve Nestler, 2009). Keyifli yiyecekler, dopamin, endokannabinoidler ve opioidler salgılayarak ödül süreçlerini uyarma eğilimindedir ve bu yiyeceklerin tüketilmesinden kaynaklanan haz duygusu, bu yiyecekleri tekrar tüketme arzusunu artırır; ayrıca bu süreçler yıllar içinde kilo alımı ve obeziteye yol açabilir. Bireysel farklılıklar, özellikle lezzetli ve enerji içeriği yoğun yiyeceklerin bol olduğu obezojenik beslenme ortamlarında, hedonik açlık duyarlılığına bağlı olarak kilo alımına karşı etkili olabilmektedir (Karamizadeh ve ark., 2024).

Stres ve duygular bireyin vücut ağırlığını ve besin alımını etkilemektedir. Bazı duygusal durumlarda obezlerin normal ağırlıktaki bireylere göre daha fazla yedikleri belirtilmektedir. Böyle bir yeme durumunun özellikle negatif duyguları azaltma gibi bir etkiye sahip olduğu bildirilmektedir. Yapılan bazı çalışmalarda duygusal yeme ile antropometrik ölçümler arasında ilişki olduğu belirtilmektedir (Löffler ve ark., 2017; Sanlier ve ark., 2017; Verjizl ve ark., 2018).

Besin gücü, bireylerin lezzetli ve çekici yiyeceklere karşı verdikleri psikolojik ve duygusal tepkileri, bu yiyeceklere karşı hissettikleri arzu ve kontrol edememe durumlarını ifade etmektedir. Bu çalışma yetişkin bireylerde besin gücünün (besinlerin beş duyu organına etkisinin) ve duygusal iştah durumunun hedonik açlık ve antropometrik ölçümler üzerine etkisini incelemek amacıyla planlanmış ve yürütülmüştür. Çalışma kapsamında oluşturulan hipotezler aşağıda yer almaktadır.

-Hipotez 1: Kadınların hedonik açlık düzeyi erkeklere göre daha yüksektir.

- Hipotez 2: Kadınların hedonik açlık düzeyi erkeklere göre daha düşüktür.
- Hipotez 3: Hedonik açlığın, bireylerin antropometrik ölçümleri üzerinde anlamlı bir etkisi yoktur.
- Hipotez 4: Hedonik açlığın, bireylerin antropometrik ölçümleri üzerinde etkilidir.

2.Mateyal ve Metot

2.1.Örneklem Seçimi ve Yeri

Bu araştırma evrenini Karabük ili Safranbolu ilçesinde yaşayan 18-65 yaş arası yetişkinler oluşturmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2023 verilerine göre Safranbolu ilçesinde 70.043 kişi yaşamaktadır (TÜİK, 2024). Bu evren için, %95 güven düzeyi ve %5 hata payı ile hesaplanan

örneklem büyüklüğü yaklaşık 382 kişidir. Çalışmaya yeme bozukluğu, besin alerjisi, iştah problemine bağlı ilaç kullanımı ya da majör depresyon gibi psikiyatrik bozukluğu olan bireyler ile gebe ve emzikli olan kadınlar dâhil edilmemiştir. Bu sebeple çalışma verileri Haziran- Temmuz 2024 tarihleri arasında çalışmaya katılmaya gönüllü olan, kronik sağlık problemleri olmayan 213 kadın ve 127 erkek olmak üzere toplam 340 yetişkin birey ile görüşmeyle toplanmıştır. Fakat 3 kadın ve 9 erkek katılımcının (toplam 12 kişi) BKİ sınıflamasına göre zayıf kategorisinde bulunması ve bu gruptaki birey sayısının diğer gruplara göre çok az olması sebebiyle çalışma sonuçlarını etkilememesi amacıyla bu kişiler çalışmadan elenmiştir. Böylece çalışma toplam 328 kişi ile tamamlanmıştır.

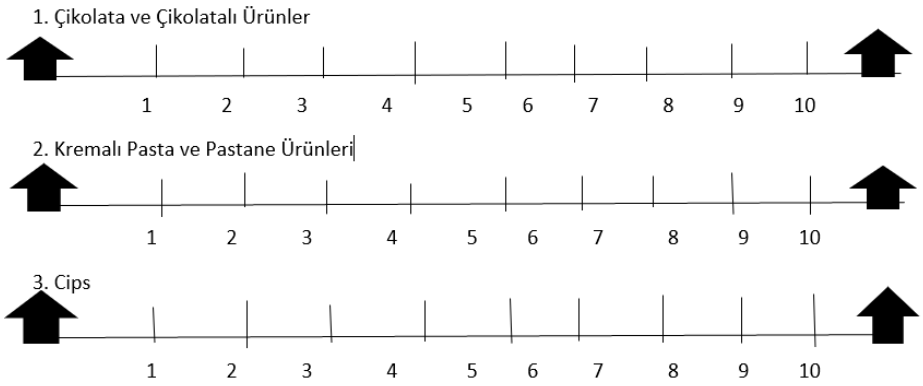
2.2. Verilerin Toplanması

Araştırmaya katılan bireylere; sosyo-demografik özellikleri ve beslenme alışkanlıklarına ilişkin verileri içeren 28 soru (Akçin, 2017; Reisoğlu, 2019) ile çikolata ve çikolatalı ürünlere, kremalı pasta ve pastane ürünlerine, cipse, gazlı içeceklere, fast-food yiyeceklere, patates kızartmasına, ekmek çeşitlerine, makarnaya, hamur işlerine, kuru yemiş çeşitlerine, çekirdeğe, dondurmaya ve meyveye yönelik Görsel Analog Skalası (GAS) (Eroğlu, 2020), Besin Gücü Ölçeği (BGÖ) (Cappelleri ve ark., 2009; Hayzaran, 2018) ve Duygusal İştah Anketi (DİA) (Nolan ve ark., 2010; Demirel ve ark., 2014) uygulanmıştır. Ayrıca bireylerin antropometrik ölçümleri araştırmacı tarafından Accuniq BC 310 vücut analiz cihazı, Tartı marka boy ölçer ve Seca marka esnemeyen mezura kullanılarak alınmıştır. Vücut ağırlığı ölçümünde kalibre edilmiş, 0,5 kg'a duyarlı dijital tartı aleti kullanılmıştır. Bireyler ince kıyafetlerle ve ayakkabısız olarak ölçüme alınmıştır. Vücut ağırlığı ölçülürken bireylerin en az 4 saat aç olmasına ve dışkılama sonrası ölçüm yapılmasına dikkat edilmiştir. Bireylerin boy uzunluğu ise esnemeyen mezura ile ölçülmüştür. Bireylerde boy uzunluğu ölçümü dik pozisyonda, frankfort düzleminde (kulak kanalı ile orbita-göz çukurunun alt sınırının aynı hizada, yere paralel olması), kalçalar ve omuz düz duvara dayalı olarak çıplak ayak ile alınmıştır. Ölçüm 1 cm'e duyarlı Tartı marka boy ölçer ile yapılmıştır (Pekcan, 2014). Bel ve kalça ölçümleri ise Seca marka esnemeyen mezura kullanılarak alınmıştır. Bireylerin bel çevreleri, kişi ayakta dururken ve kıyafet olmaksızın sağ krista iliaka superior anterior ile sağ 12. costa arasındaki mesafenin ortasından geçen ve yere parelel bir çizgi halinde mezura ile santimetre cinsinden ölçülmüştür. Kalça çevresi ise bireyin yan tarafında durularak, kalçanın en yüksek noktasından 0,5 cm hassasiyetle esnemeyen mezura ile ölçülmüştür (Köksal ve Küçükerdönmez, 2008). Elde edilen değerlerde bel çevresinin kadınlarda 80 cm, erkeklerde 94 cm'den fazla olması riskli olarak, kadınlarda 88 cm ve erkeklerde 102 cm ve üzeri ise obez olarak değerlendirilmiştir. Bel kalça oranında ise kadınlarda 0,85, erkeklerde 0,90 ve üzeri olması obez olarak değerlendirilmiştir (WHO, 2011).

2.2.1. Görsel Analog Skalası (GAS)

Görsel analog skalası (visual analogue scale-VAS), nicel olarak ölçülemeyen bazı verileri sayısal düzeye getirmeye yönelik kullanılan bir ölçektir. On cm'lik bir çizgi üzerine değerlendirmeye alınacak olan parametre ya da ürünü değerlendirmede kullanılacak olan iki uç değer ya da bilgi yazılır ve bireylerden

bu çizgi üzerinde ürün hakkındaki kendi düzeylerinin hangi yere müsait olduğunu bir çizgi çizerek ya da yuvarlak içine alarak ya da işaret ederek göstermeleri beklenir. Bu çizgi düz olabileceği gibi, eşit aralıklar halinde bölünebilir. Kişiler için oluşan verilerin ortalaması ile kişilerin hangi besin çeşitlerine daha yüksek ilgi duydukları belirlenmeye çabalanır (Eroğlu, 2020). Aşağıda görsel analog skalasına ait ilk üç soru Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Görsel Analog Skalası Ölçeği Örneği

2.2.2.Besin Gücü Ölçeği (BGÖ)

İngilizce "Power of Food Scale-PFS" olan besin gücü ölçeği, Cappelleri ve arkadaşları tarafından 2009 yılında geliştirilmiştir (Cappelleri ve ark., 2009). Ölçeğin Türkçe geçerlilik ve güvenirlik araştırması ise 2018 yılında Hayzaran tarafından gerçekleştirilmiştir. Orjinalinde 21 maddeden oluşan bu ölçek geçerlilik ve güvenirlik araştırması esnasında araştırmacılar tarafında 15 maddeye düşürülmüştür. BGÖ'nin yeterli iç tutarlılığa, Türkçeye uyarlanmasının kabul edilebilir olduğuna dair uygunluk testleri bulunmaktadır (Hayzaran, 2018).

Besin gücü ölçeği, hedonik açlığın yapısını ölçmek hedefiyle, lezzetli yiyeceklerin çok olduğu obezojenik çevrede gıda tüketimine yönelik motivasyonun incelenmesi için yapılmıştır. Besin gücü ölçeği günlük besin tüketimi sıklığı ve alımından ayrı olarak şekerli ve yağlı yiyecekler gibi lezzetli besinleri tüketme için hissedilen isteği değerlendirmektedir. Besin gücü ölçeği, 1 (hiç katılmıyorum)- 5 (kesinlikle katılıyorum) arasında olan 5'li likert bir değerlendirmedir. Toplam değer soru sayısına bölünerek ölçek puanı hesaplanmaktadır. Ölçeğin en yüksek puanı 5'tir. Skorun 2,5 puan ve üzerine çıkması hedonik açlık durumunun olduğunu göstermektedir. Bu yüksek skor çevrede lezzetli yiyeceklerin varlığında tüketme dürtüsünün arttığını belirtmektedir (Çamlık, 2020).

2.2.3.Duygusal İştah Anketi (DİA)

Bireylerin yaşadıkları duygu durumlarının iştahları üzerine etkisini incelemek amacıyla Duygusal İştah Anketi (DİA) kullanılmaktadır. Nolan ve arkadaşları (Nolan ve ark., 2010) tarafından 2010 yılında geliştirilmiş olan ölçeğin geçerlilik ve güvenilirlik çalışması ise 2014 yılında Demirel ve arkadaşları (Demirel ve ark., 2014) tarafından yapılmıştır. 22 sorudan oluşan anket 9'lu likert tipi puanlama

sistemine göre tasarlanmıştır. Duygusal yemek yemenin varlığını değerlendirmede anket olumsuz/olumlu duygularda 14 madde ve olumsuz/olumlu durumlarda 8 madde içeren soruları kapsamaktadır. Olumsuz duygu ve durumların puanlarının toplamı DİA Olumsuz toplam puanını; olumlu duygu ve durumların puanlarının toplamı ise DİA Olumlu toplam puanını vermektedir (Demirel ve ark., 2014).

2.2.4.Antropometrik Ölçümler

Beden Kütle İndeksi (BKİ) değerleri bireylerin vücut ağırlığının (kilogram), boy uzunluğunun (metre) karesine bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Beden Kütle İndeksinin değerlendirilmesinde Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından belirtilen BKİ kesişim değerleri esas alınmaktadır. Bu değerler dahilinde, 18,50 kg/m² ve altı zayıf, 18,50-24,99 kg/m² normal, 25,00-29,99 kg/m² hafif obez, 30,00-34,99 kg/m² obez ve 35,00 kg/m² üzeri olan kişiler morbid obez olarak sınıflandırılmaktadır. Bel çevresi ölçümleri ise DSÖ'nün erişkin kişiler için bel çevresi risk sınıflamasından yararlanılarak kategorize edilmiştir. DSÖ'nün bel çevresi risk gruplamasına göre bel çevresinin erkeklerde 102 cm ve üzeri, kadınlarda ise 88 cm ve üzeri olması kalp ve damar hastalıkları riski ile doğrudan ilişkili olarak belirtilmektedir (WHO, 2011).

2.3.Etik Kurul İzni

Mevcut çalışmanın etik açıdan uygulanabilirliği Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etik Kurulu başkanlığı tarafından 2024/06 sayılı toplantı ile 29.05.2024 tarihinde kabul görmüştür.

2.4.Verilerin Analizi

Araştırma verileri SPSS v26.0 programı kullanılarak hesaplanmıştır. Verilerin analizinde kullanılan testlerde tanımlayıcı istatistiksel verilerde ortalama, standart sapma ve yüzde analizleri kullanılmış olup verilerin dağılım değerlendirmesinde Normallik Testi (Kolomogorov Smirnov), cinsiyet, BKİ gibi bağımsız grupların karşılaştırmasında Bağımsız Örneklem T Testi, One-Way ANOVA ve ölçek verilerinin güvenilirlik analizinde ise Cronbach's Alpha değerleri kullanılmıştır. Tüm test sonuçlarında 0,05 anlamlılık düzeyinde değerlendirme yapılmıştır.

3.Bulgular

Araştırmaya katılan bireylerin yaş ortalaması 37,10±9,22 yıldır. Katılımcıların %64'ünün kadın; %71'sinin evli; %47'sinin ön lisans/lisans düzeyinde eğitimli ve %40,5'unun memur olduğu görülmektedir (Tablo 1).

Katılımcıların sigara ve alkol kullanım durumları değerlendirildiğinde; %17'sinin sigara kullandığı, sigara kullanan bireylerin ortalama 12,40 ± 9,51 yıl sigara kullandığı ve günlük ortalama 11,51 ± 8,72 adet sigara tükettikleri ayrıca %4'ünün alkol tükettiği ve alkol tüketen bireylerin %50'sinin ayda bir, %50'sinin 6 ay ya da yılda bir alkol tükettiği görülmektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Bireylerin sosyo-demografik özellikleri

		$\bar{X} \pm SS$	min.-maks.
Yaş		37,10 ± 9,22	18-57
Sigara kullanım süresi (yıl)		12,40 ± 9,51	Mar.40
Sigara tüketim (adet)		11,51 ± 8,72	0-30
Günlük uyku süresi (saat)		7,07 ± 1,15	4.Kas
		n	**%**
Cinsiyet	Kadın	210	64
	Erkek	118	36
Yaş grupları	18-37 arası	175	53,3
	38-57 arası	153	46,6
Medeni durum	Evli	240	73,1
	Bekar	82	25
	Dul/Boşanmış	6	1,9
Eğitim düzeyi	İlkokul	50	15,2
	Ortaokul	62	18,9
	Lise	56	17,1
	Ön lisans/Lisans	160	48,8
Meslek grubu	Öğrenci	10	3,1
	İşsiz	10	3,1
	Ev hanımı	130	39,6
	Memur	131	39,9
	İşçi	24	7,3
	Esnaf/Serbest Meslek	11	3,4
	Emekli	12	3,6
Sigara kullanma	Evet	51	15,6
	Hayır	270	82,3
	Bazen	7	2,1
Alkol tüketme	Evet	8	2,5
	Hayır	320	97,5
Alkol sıklığı (n=8)	Ayda bir	4	50
	6 ay/yılda bir	4	50
Kronik hastalık durumu	Evet	28	8,5
	Hayır	300	91,5
Hastalıklar (n=28)	Diyabet	5	17,9
	Hipertansiyon	4	14,3
	Kemik ve Eklem Hastalıkları	5	17,9
	Böbrek Hastalıkları	1	3,6
	Solunum Sistemi	4	14,3
	Sindirim Sistemi	1	3,6
	Guatr	2	7,1
	Diğer	6	21,4
Uyku saati düzeni	Evet	238	72,5
	Hayır	90	27,5
Gece atıştırma	Hiç	238	72,5

	Arada sırada	80	24,4
	Hemen hemen her gece	10	3,1
Fiziksel aktivite durumu	Hiç	200	61
	Haftada 1 gün	54	16,5
	Haftada 2 gün	40	12,2
	Haftada 3 gün	20	6
	Haftada 4 gün ve daha fazla	14	4,3

Katılımcıların öğün tüketim durumları değerlendirildiğinde; bireylerin %63,5'i üç ana öğün, %39,7'si bir ara öğün tükettiğini bildirmektedir. Öğün atlama durumları değerlendirildiğinde ise %37,8'i öğün atlamadığını, öğün atlayanların ise %44,1'inin öğle öğününü atladığını belirttiği görülmüştür. Ayrıca katılımcıların %51,8'i diyet yaptığını, %41,2'si ise diyet yaptığı süreç içinde hedeflenen ağırlığa biraz ulaşabildiğini belirtmiş olup bu verilere ek olarak %55,0'inin orta hızda yemek yediğini bildirdiği görülmektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Bireylerin beslenme alışkanlıklarına ilişkin dağılımı

		n	**%**
Ana öğün	2 Ana öğün	120	36,5
	3 Ana öğün	208	63,5
Ara öğün	Yok	120	36,7
	1 ara öğün	130	39,6
	2 ara öğün	64	219,5
	3 ara öğün	14	4,2
Öğün atlama	Evet	114	34,8
	Hayır	124	37,8
	Bazen	90	27,4
Atlanılan öğün (n=204)	Sabah	48	23,5
	Kuşluk	26	12,7
	Öğle	90	44,1
	İkindi	26	12,8
	Akşam	14	6,9
Diyet uygulama	Evet	170	51,8
	Hayır	158	48,2
Diyet sayısı (n=170)	Sadece bir kez	60	35,3
	2 kez	39	22,9
	3 kez	20	11,8
	4 ve daha fazla kez	51	30,0
Hedeflenen kiloya yaklaşma (n=170)	Hiç	13	7,6
	Biraz	70	41,2
	Orta	40	23,5
	Oldukça	25	14,7
	Tamamıyla	22	13,0
Yeme hızı bildirimi	Çok yavaş	10	3,0

	Yavaş	36	10,9
	Orta	180	55,0
	Hızlı	80	24,4
	Çok hızlı	22	76,7

Bireylerin demografik özellikleri incelendiğinde kadınların BKİ ortalama değerleri 28,77 ± 7,04 kg/m^2, erkeklerin 25,83 ± 4,25 kg/m^2; kadınların bel/kalça ortalama oranı 0,84 ± 1,07, erkeklerin 0,89 ± 1,35 olarak bulunmuştur. Araştırmaya katılan kadınların %27,2'si hafif şişman, %28,1'i obez iken erkeklerin %46,6'sı hafif şişman ve %15,3'ü obezdir (Tablo 3).

Tablo 3. Bireylerin cinsiyetlerine göre antropometrik ölçüm değerleri

		Cinsiyet				**Toplam (n=328)**	
		Kadın (n=210)		**Erkek (n=118)**			
		$\bar{X} \pm SS$		$\bar{X} \pm SS$		$\bar{X} \pm SS$	
Vücut Ağırlığı (kg)		73,45 ± 17,37		80,11 ± 14,60		74,31 ± 17,01	
Boy (cm)		159,77 ± 5,71		175,71 ± 8,76		161,04 ± 8,31	
BKİ (kg/m^2)		28,77 ± 7,04		25,83 ± 4,25		28,35 ± 6,74	
Bel/Kalça		0,84 ± 1,07		0,89 ± 1,35		0,85 ± 1,09	
		n	**%**	**n**	**%**	**n**	**%**
BKİ (kg/m^2) düzeyleri	**Normal (18,5- 24,9)**	64	30,4	45	38,1	109	33,2
	Hafif şişman (25,0- 29,9)	57	27,2	55	46,6	112	34,1
	Obez (30,0- 34,9)	59	28,1	18	15,3	77	23,5
	Morbid obez (≥35)	30	14,3	0	0,0	30	9,2
Toplam		210	100	118	100	328	100

BKİ: Beden Kitle İndeksi, SS: Standart sapma. Ortalama ve standart sapmalar için descriptive statistics analizleri, yüzdelik dağılımları için frequencies analizi.

Araştırmada kullanılan ölçeklerin güvenilirlik analizleri değerlendirildiğinde Cronbach's alpha değerleri Görsel Analog Skalasının 0,824; Besin Gücünün ölçeğinin 0,845; Duyusal İştah Anketinin 0,898; DİA alt boyutlarından olumlu alt boyutunun 0,847; olumsuzun alt boyutunun 0,768 olarak bulunmuştur. Cronbach's alpha değeri 0,60- 0,80 arası güvenirliliği, 0,80–1,00 arası yüksek güvenirliliği ifade etmektedir (Kayış, 2009). Bu araştırmada kullanılan ölçeklerin Cronbach's alpha değerleri yüksek güvenilirlik arasında yer almaktadır.

Araştırmaya katılan bireylerin görsel analog skalası puan ortalamalarının cinsiyete göre dağılımı Tablo 4'te görülmektedir. Bağımsız örneklem t testi değerlerine göre kadınların çikolata ve çikolatalı ürünleri tüketme isteği ortalama puanı (6,18±2,71) anlamlı olarak erkeklerin ortalama puanından (4,23±2,41) fazladır (p=0,015, p<0,05). Aynı şekilde kadınların cips tüketme isteği ortalama puanı (4,51±2,71) anlamlı olarak erkeklerin ortalama puanından (2,78±1,41) yüksektir (p=0,001, p<0,001); kadınların çekirdek tüketme isteği ortalama puanı (4,17±2,71) anlamlı olarak erkeklerin ortalama puanından (3,01±1,61) fazladır (p=0,029, p<0,05). Bu değerler kadınların erkeklere göre çikolata ve çikolatalı

ürünleri, cipsi ve çekirdeği tüketme isteğinin daha fazla olduğunu göstermektedir. Diğer besinlerin görsel analog skala ortalamasında cinsiyete göre anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir (p>0,05).

Tablo 4. Görsel analog skalası puan dağılımlarının cinsiyete göre dağılımları

	Cinsiyet		**p**
	Kadın (n=210)	**Erkek (n=118)**	
	$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$	
Çikolata ve çikolatalı ürünler	6,18 ± 2,71	4,23 ± 2,41	0,015*
Kremalı pasta ve pastane ürünleri	5,24 ± 2,64	3,69 ± 2,09	0,052
Cips	4,51 ± 2,71	2,78 ± 1,41	0,001**
Gazlı içecekler	3,87 ± 2,78	3,30 ± 1,90	0,451
Fast-food yiyecekler	4,10 ± 3,02	4,46 ± 1,91	0,562
Patates kızartması	5,21 ± 2,71	4,67 ± 2,31	0,460
Ekmek çeşitleri	5,17 ± 2,64	5,70 ± 2,42	0,471
Makarna	4,85 ± 2,45	5,94 ± 2,41	0,152
Hamur işleri	6,49 ± 2,61	5,31 ± 2,80	0,111
Kuru yemiş çeşitleri	5,18 ± 2,87	4,28 ± 2,07	0,278
Çekirdek	4,17 ± 2,71	3,01 ± 1,61	0,029*
Dondurma	5,48 ± 2,84	4,78 ± 2,65	0,371
Meyve	5,94 ± 2,73	6,26 ± 2,41	0,658

SS: Standart sapma, Bağımsız örneklem t testi, *p<0.05 **p<0.001

Bireylerin besin gücü ve duygusal iştah anketi ölçek puanlarına ait normallik dağılımı Kolmogorov Smirnov testi ile değerlendirildiğinde; puanlar normal dağılımda bulunmamıştır (p>0.05). Fakat puanlar normal dağılım oluşturmamasına karşın normal dağılımın diğer varsayımları olan basıklık ve çarpıklık değerlerinin ±2 arasında olması ve örneklem hacminin n>30 ve üzerinde olması sebebiyle ölçek puanlarına ait verilerin normal dağıldığı kabul edilmiştir. Araştırmada bireylerin besin gücü düzeylerine ilişkin dağılımları değerlendirildiğinde, %36,3'ünün besinlere karşı hedonik açlığı olmadığı ve %63,7'sinin ise besinlere karşı hedonik açlığı olduğu görülmektedir (Tablo 5).

Tablo 5. Besin gücü ve duygusal iştah anketi puanlarının normallik dağılım analizi ve bireylerin hedonik açlık durumları

	Kolmogorov-Smirnov			**Skewness (Basıklık)**	**Kurtosis (Çarpıklık)**
	Test istatistiği	**Sd**	**p**		
Besin Gücü	0,127	100	0,000	0,628	0,017
Duygusal İştah Anketi	0,141	100	0,000	0,052	0,836
Olumlu	0,146	100	0,000	0,322	1,178
Olumsuz	0,119	100	0,000	-0,435	0,175

		n	**%**
Hedonik açlık	**Yok (<2,5)**	119	36,3
	Var (≥2,5)	209	63,7
	Toplam	328	100,0

Bireylerin besin gücü ve duygusal iştah anketi ortalama puanları ile ilişki olarak değerlendirilen hedonik açlık durumları cinsiyete göre incelendiğinde, kadınların hedonik açlık ortalama puanının (2,76±0,52) anlamlı olarak erkeklerin ortalama puanından (2,57±0,45) yüksek olduğu görülmüştür (p=0,013, p<0,05). Bununla birlikte duygusal iştah anketi ve boyutlarının ortalama puanları cinsiyete göre anlamlı bulunmamıştır (p>0,05). Bireylerin öğün atlama durumları incelendiğinde, hedonik açlık ortalama puanı bireylerin öğün atlama durumuna göre anlamlı değişkenlik göstermektedir (p=0031, p<0,05). Öğünlerini bazen atlayan bireylerin hedonik açlık ortalama puanının (3,01±0,58) hiç öğün atlamayan bireylerin ortalama puanına göre anlamlı olarak fazla olduğu bulunmuştur (p=0,031, p<0,05). Duygusal iştah anketi alt boyutlarından olumsuz duygusal iştah ortalama puanı bireylerin öğün atlama durumuna göre anlamlı olarak farklılık göstermektedir (p=0,002, p<0,01). Hiç öğün atlamayan bireylerin olumsuz duygusal iştah ortalama puanının (37,56±7,12) öğün atlayan ve öğünlerini bazen atlayan bireylerin ortalama puanlarından anlamlı olarak yüksek olduğu görülmektedir. Bununla birlikte duygusal iştah anketi genel ortalama puanı ve alt boyutlarından olumlu duygusal iştah ortalama puanı bireylerin öğün atlama durumu arasında anlamlı değişkenlik bulunmamaktadır (p>0,05). Zayıflama diyeti uygulayan bireylerin hedonik açlık ortalama puanı (2,79±0,84) anlamlı olarak zayıflama diyeti uygulamayan bireylerin ortalama puanından (2,70±0,65) yüksek bulunmuştur (p=0,015, p<0,05). Bununla birlikte duygusal iştah anket ortalama puanı bireylerin zayıflama diyeti uygulama durumu arasında anlamlı değişkenlik bulunmamaktadır (p>0,05). Bireylerin ölçek puanları yemek yeme hızı bildirim durumuna göre değerlendirildiğinde, hedonik açlık ortalama puanı bireylerin yemek yeme hızı bildirim durumuna göre anlamlı değişkenlik göstermektedir (p=0,036, p<0,05). Yemek yeme hızını yavaş olarak bildiren bireylerin hedonik açlık ortalama puanı (3,17±0,78) anlamlı olarak yeme hızını orta olarak bildiren bireylerin ortalama puanından fazla bulunmuştur (p<0,05). Bununla birlikte duygusal iştah anketi ortalama puanı ile bireylerin yemek yeme hızı bildirim durumu arasında anlamlı değişkenlik bulunmamaktadır (p>0,05). (Tablo 6).

Tablo 6. Bireylerin hedonik açlık ve duygusal iştah anketi puanlarının cinsiyete, öğün atlama durumuna, zayıflama diyeti uygulama ve yemek yeme hızına göre dağılımı

	Cinsiyet		**p**
	Kadın (n=210)	**Erkek (n=118)**	
	$\bar{X} \pm SS$	$\bar{X} \pm SS$	
Hedonik Açlık (BGÖ ile hesaplama)	2,76 ± 0,52	2,57 ± 0,45	0,013*
Duygusal İştah Anketi	94,45 ± 26,15	98,27 ± 13,55	0,514
Olumlu	62,01 ± 16,18	63,82 ± 9,63	0,707
Olumsuz	32,24 ± 10,06	35,41 ± 7,01	0,278

	Öğün atlama			
	Evet (n=114)	Hayır (n=124)	Bazen (n=90)	p
	$\bar{X}\pm SS$	$\bar{X}\pm SS$	$\bar{X}\pm SS$	
Hedonik Açlık (BGÖ ile hesaplama)	2,71 ± 0,48	2,51 ± 0,41	3,01 ± 0,58	0,031*
Duygusal İştah Anketi	92,39 ± 27,01	102,41 ± 20,79	89,56 ± 25,53	0,076
Olumlu	62,04 ± 20,35	66,06 ± 13,63	60,67 ± 15,81	0,452
Olumsuz	31,35 ± 09,14	37,56 ± 7,12	28,79 ± 11,92	0,002**

	Zayıflama diyeti uygulama		
	Evet (n=170)	Hayır (n=158)	p
	$\bar{X}\pm SS$	$\bar{X}\pm SS$	
Hedonik Açlık (BGÖ ile hesaplama)	2,79 ± 0,84	2,70 ± 0,65	0,015*
Duygusal İştah Anketi	95,21 ± 27,71	96,98 ± 19,12	0,655
Olumlu	63,76 ± 19,64	62,73 ± 14,11	0,985
Olumsuz	32,46 ± 14,49	33,26 ± 7,69	0,176

	Yeme hızı bildirimi			
	Yavaş (n=46)	Orta (n=180)	Hızlı (n=102)	p
	$\bar{X}\pm SS$	$\bar{X}\pm SS$	$\bar{X}\pm SS$	
Hedonik Açlık (BGÖ ile hesaplama)	3,47 ± 0,88	3,07 ± 0,67	2,88 ± 0,56	0,036*
Duygusal İştah Anketi	87,49 ± 27,74	90,28 ± 20,19	99,69 ± 35,04	0,114
Olumlu	56,28 ± 17,61	59,75 ± 13,68	65,74 ± 17,49	0,075
Olumsuz	29,27 ± 10,27	33,74 ± 8,56	33,98 ± 11,11	0,183

SS: Standart sapma, Ortalama ve standart sapma için Descriptive statistics analizleri, gruplar arası ilişki için Bağımsız örneklem t testi, Tek yönlü varyans analizi (One-Way ANOVA) testi yapılmıştır. *p<0,05.

Araştırmada bireylerin antropometrik ölçümleri ile görsel analog skalası, hedonik açlık ve duygusal iştah puanları arasındaki ilişki pearson korelasyon testi ile değerlendirildiğinde, anlamlı bir ilişki olduğu gözlenmemiştir (p>0,05). Antropometrik ölçümlerden BKİ değerlerinin vücut ağılığı ve boy uzunluğu ile ilişki olduğu, bel çevresinin vücut ağırlığı ve BKİ değeri ile ilişkili olduğu, kalça çevresinin ise vücut ağırlığı, BKİ değeri ve bel çevresi ile ilişkili bulunmuştur (p<0,05). Ölçeklerde kendi arasında ilişkili bulunmuştur. Hedonik açlık puanlarının GAS puanları ile, DİA puanlarının GAS puanları ve Hedonik açlık puanları ile, DİA'nın alt boyutlarından olumlunun puanlarının GAS puanları, Hedonik açlık puanları ve DİA'nın genel puanı ile, DİA'nın alt boyutlarından olumsuzun puanlarının ise DİA'nın genel puanları ve olumlu alt boyutu puanları ile ilişkisi olduğu görülmektedir (p<0,05).

Tablo 7. Bireylerin antropometrik ölçüm değerleri ile görsel analog skalası, besin gücü ve duygusal iştah anketi puanları arası ilişki

		1	2	3	4	5	6	7	8
Ağırlık (kg)[1]	r	1							
	p								
BKİ (kg/m2)[2]	r	,963**	1						
	p	0							
Bel/Kalça[3]	r	,567**	,495**	1					
	p	0	0						
Hedonik Açlık[4]	r	-0,049	-0,046	-0,1	1				
	p	0,614	0,718	0,311					
GAS[5]	r	0,013	0,032	-0,127	,503**	1			
	p	0,793	0,991	0,165	0				
Duygusal İştah Anketi[6]	r	-0,023	-0,036	-0,071	,251*	,232**	1		
	p	0,931	0,669	0,648	0,032	0,028			
Olumlu[7]	r	-0,042	-0,067	-0,051	,301**	,267**	,982**	1	
	p	0,859	0,545	0,719	0,012	0,063	0		
Olumsuz[8]	r	0,014	-0,018	-0,067	0,123	0,191	,941**	,767**	1
	p	0,978	0,907	0,723	0,104	0,091	0	0	

Pearson korelasyon, *p<0,05, **p<0,01

4. Tartışma ve Sonuç

Hedonik açlık, biyolojik ihtiyaçların ötesinde ödül odaklı yeme davranışı olup, yeme davranışı araştırmalarında yer alan bir kavramdır (Crane ve ark., 2023). Birçok birey hedonik açlık problemi ile karşı karşıya gelmiş olsa da bazı kişiler çevresel uyaranlara karşı daha duyarlıdır. Bireylerin sosyodemografik özellikleri, besin istekleri, benlik saygısı, dürtüsellik, psikolojik rahatsızlıklar gibi pek çok etmen hedonik açlığı oluşturabilme özelliğindedir (Andrade ve ark., 2024). Bu araştırma da besin gücü ve bireylerin duyusal iştah durum değişikliklerinin hedonik açlık ve antropometrik değerler üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. 328 yetişkin birey ile gerçekleştirilen bu çalışma verileri değerlendirildiğinde kadınların BKİ ortalama değerinin erkeklerin BKİ ortalama değerinden yüksek olduğu ve katılımcıların %63,7'sinde hedonik açlığın olduğu görülmüştür. Bireylerin hedonik açlık ve DİA ortalama puanları öğün atlama, zayıflama diyeti uygulama ve cinsiyete göre anlamlı farklılıklar göstermektedir (p<0,05). Bireylerin GAS ortalama puanları da cinsiyete göre anlamlı farklılıklar göstermektedir (p<0,05). Bireylerin hedonik açlığı üzerine GAS ve DİA' nin etkili olduğu; bireylerin cinsiyetlerinin hedonik açlık puanlarını etkilediği ve dolayısıyla hedonik açlık üzerine etkisi olduğu sonucuna varılmıştır (p<0,05). Bu araştırmada bireylerin hedonik açlık düzeylerine ilişkin dağılımları değerlendirildiğinde, %36,3'ünün hedonik açlığı olmadığı ve %63,7'sinin ise besinlere karşı hedonik açlığı olduğu görülmektedir. Yapılan bir çalışmada ise kadın öğrencilerin %84'ünde ve erkek öğrencilerin %70,4'ünde hedonik açlık varlığı görüldüğü bildirilmiştir (Çiftçi ve Eminsoy, 2024).

Yetişkinler üzerinde yapılan bir başka çalışmada ise katılımcıların %74,7'sinde hedonik açlık olduğu bildirilmiştir (Bakırhan, 2023).

Veriler değerlendirildiğinde hem kadınlarda (2,76 ± 0,52) hem de erklerde (2,57 ± 0,45) hedonik açlık göstergesi olan BGÖ ölçeği ortalama puanları 2,5'in üzerinde bulunmuştur. Karataş ve Saka'nın (Karataş ve Saka, 2021) yaptığı çalışmada da hem kadınların (2,72±0,78) hem de erkeklerin (2,76±0,79) BGÖ ortalama puanları 2,5 üzerinde olduğu belirtilmiştir. Kadın üniversite öğrencilerini içeren bir çalışmada, orta düzeyde stres yüksek oranda yüksek yağlı hazır gıda ve meşrubat tüketimi ve düşük oranda taze meyve ve sebze tüketimiyle ilişkilendirilmiştir (Mohamad ve ark., 2020). Bireylerin yeme alışkanlıklarının stresli olduklarında değiştiği düşünülmektedir. Yapılan bir başka çalışmada da artan stres durumu ile hedonik açlık puanları arasında önemli bir pozitif ilişki olduğu belirtilmiştir (Abdulla ve ark., 2023). Bir diğer çalışmada ise yüksek BGÖ puanı ve düşük öz kontrol kapasite değerleri, hem yüksek yağlı tuzlu atıştırmalık yiyeceklerin hem de yüksek şekerli yiyeceklerin daha sık ve daha yüksek tüketimi ile ilişkili olarak bildirilmiştir (Horwart ve ark., 2020). Bu sonuçlar hedonik açlığın bireyin besin seçimini etkileyerek sağlıksız, sık ve aşırı besin tüketimine yönelmesine etki edebildiğini göstermektedir.

Yapılan bu çalışmada bireylerin hedonik açlığını belirleyen BGÖ puanları cinsiyete göre değerlendirildiğinde kadınların ortalama BGÖ puanı erkeklere göre anlamlı düzeyde yüksek bulunmuştur ($p=0,013$, $p<0,05$). Bununla birlikte duygusal iştah anketi ve boyutlarının ortalama puanları cinsiyete göre anlamlı değildir ($p>0,05$). Aşırı besin isteği olan 50 genç yetişkin (18-35 yaş) ve 48 yaşlı birey (≥65 yaş) üzerinde yapılan bir çalışmada, kadınların erkeklerden daha fazla besine tüketimine karşı istekli olduğu bildirilmiştir (Pelchat, 1997). Shüz ve arkadaşlarının (Schüz ve ark., 2015) yaptığı bir çalışmada erkeklerin BGÖ puanları kadınlardan daha düşük olmasına rağmen anlamlı olmadığı belirtilmiştir. Kadınların hedonik açlığının erkeklere göre daha yüksek olmasının nedeni ise besin ödülü ile kadınlarda beyinde oluşan nöral aktivite yanıtı olduğu düşünülmektedir. Hedonik açlık herhangi bir besine yanıt olarak nöronal ödül sisteminin aktivasyonu ile ortaya çıkan zevk ve doyum sürecidir (Lutter ve Nestler, 2009). Grelinerjik sistemin mezolimbik dopaminerjik devre yoluyla hedonik ödüllendirici ve motivasyonel yönlere aracılığı ile ilişkili olarak besin tüketimi etkilenmektedir (Bakırhan, 2023). Yapılan bir başka çalışmada BGÖ puanlarının yeme davranışı ve yeme bozukluğu anketi ölçek puanları ile kesitsel olarak pozitif ilişkili olduğu belirtilmiştir (Andrade ve ark., 2024). Kadınlardaki hormonal değişimlerinin (menstural dönem gibi) erkeklere oranla daha farklı olması kadınların duygusal yönelimlerle besinlere olan ilgi ve tüketiminin erkeklere göre farklı olmasını sağlamaktadır.

Hedonik açlıktaki artışlar tatlı, nişastalı ve hızlı hazır ürün tüketimi açısından risk oluşturabilmektedir (Ortega ve ark., 2023). Yapılan bu çalışmada bireylerin görsel analog skalası ortalama puanları cinsiyete göre incelendiğinde kadınların erkeklere göre çikolata ve çikolatalı ürünleri, cipsi ve çekirdek gibi ürünleri tüketme isteği ortalama puanları anlamlı olarak daha yüksek çıkmıştır. Yapılan bir çalışmada aşırı besin isteğinin, yüksek oranda yağ içeren hazır gıda türü sağlıksız besinlerin tüketiminin artması ile pozitif ilişkili olduğu bildirilmiştir (Chao, 2014). Nansel ve arkadaşlarının (Nansel ve ark., 2016)

yaptığı çalışmada ise yüksek GAS puanlarına sahip bireyler daha sık yağ içeriği yüksek hazır gıda türü besin tüketimi ile ilişkilendirilirken; sebze, meyve ve yağlı tohumlar gibi sağlıklı besinlerin tüketimi ile ilişkilendirilmemiştir. Şarahman ve Ok'un (Şarahman ve Ok, 2019) yaptığı bir çalışmada bireylerin çikolata ve çikolatalı ürünler, kremalı pasta ve pastane ürünleri, cips, yağ içeriği yüksek hazır yiyecekler, patates kızartması, ekmek çeşitleri, makarna, hamur işleri ve dondurma gibi besinleri tüketme isteği ile BGÖ puanları arasında pozitif ilişki olduğu bildirilmiştir. Çelebi'nin (Çelebi, 2015) yaptığı çalışmada ise ekmek, çikolata ve pizza gibi kalorisi yüksek besinlerin bireylerde aşırı yeme isteği uyandırdığı belirtilmiştir. Johnson ve arkadaşlarının (Johnson ve ark., 2014) yaptığı bir çalışmada da enerjisi yoğun olan kızarmış yiyeceklerin, kırmızı etin, meyvelerin, tatlıların, tahıl çeşitlerinin ve ekmek türlerinin ödüllendirici etkilerinin yüksek olduğu belirtilmiştir. 20-40 yaş arası yetişkin bireylerde yapılan bir başka çalışmada da hedonik açlık, kişilerde seçilmiş yüksek yağlı yiyecek türlerinin alımıyla ilişkili ancak toplam besin alımıyla ilişkili değil olarak bildirilmiştir (Chmurzynska ve ark., 2021). Yapılan çalışmalardan da anlaşıldığı gibi genellikle enerji içeriği yüksek besinler ve özellikle şekerleme, yağ içeriği yüksek hazır gıda türündeki besinlere karşı istek duyulabilmektedir. Bununla birlikte enerji içeriği yüksek besinlerin yaygın olarak bulunduğu ortamlarda bireyler açlığı giderme ihtiyacı olmadan besin alımına yönelme durumu yaşayabilmektedir. Enerji içeriği yüksek gıdalara günümüzde ulaşmak son derece kolaylaşmıştır ve bu durum bazı bireylerde bu tür gıdalara yönelimi artırmaktadır.

Araştırmada bireylerin besin gücü ve duygusal iştah anketi ortalama puanı öğün atlama durumuna göre incelendiğinde öğünlerini bazen atlayan kişilerin hedonik açlık ortalama puanı hiç öğün atlamayan bireylerin ortalama puanından fazla olduğu görülmektedir. Theim ve arkadaşlarının (Theim ve ark., 2013) yaptığı bir çalışmada düzenli beslenme programlarının uygulanmasının yüksek hedonik açlığa sahip bireylerde hedonik açlık puanlarının düşmesi ile ilişkilendirildiği bildirilmiştir. Hayzaran'ın (Hayzaran, 2018) yaptığı bir çalışmada ise, öğrencilerin ara öğün tüketim sıklığının artması BGÖ puanının artması ile ilişkilendirilmiştir. Düzenli beslenme uygulaması bireydeki fiziksel açlığı gidermeye yardımcı bir unsurdur. Bireyin öğün atlaması bir sonraki öğüne daha aç olarak başlamasına ve o öğünde besinlerin bireye daha cazip, daha lezzetli gelmesine sebep oluşturabilir. Bu durum besin gücünün fiziksel açlık durumu ile birleşmesine bağlı olarak daha fazla besin tüketimine ve buna bağlı olarak da ağırlık artışına sebep olabilir.

Araştırmada bireylerin hedonik açlık ve duygusal iştah anketi ortalama puanları zayıflama diyeti uygulama durumuna göre incelendiğinde zayıflama diyeti uygulayan kişilerin hedonik açlık ortalama puanı zayıflama diyeti uygulamayan kişilere göre yüksek çıkmıştır. Bu durum diyet programları ile yapılan kısıtlamaların besinlere karşı duyulan yeme isteğini fazlalaştırmış olabileceğini düşündürmektedir. Ayrıca vücut ağırlığı fazla olan bireylerin besinlerin insan beyninde oluşturduğu yeme isteğine karşı koyma durumlarının daha zayıf olduğunu göstermektedir. Lowe ve arkadaşlarının (Lowe ve ark., 2009) yaptığı bir çalışmada zayıflama diyeti uygulayan bireylerin BGÖ puanlarının daha yüksek olduğu ve buna bağlı olarak hedonik açlık seviyelerinin de istatistiksel olarak daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Kadınlar üzerinde yapılan bir başka çalışmada ise zayıflama diyeti uygulama

durumu menstrual döngülerinin her 3 döneminde BGÖ toplam puanı ile negatif ilişkili bildirilmiştir (r=0,-212, r=0,-212, r=- 0,195) (Özkarslı, 2022). Zayıflama diyeti uygulamalarında enerji açığı yaratmak için yapılan besin kısıtlamaları ve oluşturulan uzun süreli açlıklar hedonik açlığın artmasına neden olabilmektedir.

Araştırmada kişilerin besin gücü ve duygusal iştah anketi ortalama puanının yemek yeme hızı durumu bildirimlerine göre değerlendirilmesinde ise yeme hızını yavaş olarak bildiren kişilerin hedonik açlık ortalama puanlarının yemek yeme hızı durumlarını orta olarak bildiren bireylerin ortalama puanından fazla olduğu görülmüştür. Kadınlar üzerinde yapılan bir çalışmada kadınların yemek yeme hızı menstrual döngülerinin her 3 döneminde BGÖ toplam puanı ile pozitif ilişkili belirtilmiştir (r=0,302, r=0,231, r=0,268) (Özkarslı, 2022). Bireylerin yemek yeme hızlarının yüksek olması besine karşı koyma durumlarını olumsuz etkilemektedir. Yüksek enerji içeriğine sahip olan besinlerin tüketiminden kaçınma, hızlı yemek yeme durumu gösteren bireylerde daha zordur. Fakat yapılan bu çalışmada bireyler kendi yemek yeme hızlarını yorumlamaları sebebiyle yemek yeme hızlarını yavaş olarak belirten bireylerin BGÖ ortalama puanları daha yüksek olarak görülmüştür. Bu durum bireylerin yemek yeme durumlarını doğru yorumlamamaların kaynaklanmış olabilmektedir. Özellikle vücut ağırlığı yüksek olan bireyler yemek yeme hız durumlarını değerlendirmede hatalı yaklaşımlar sergileyebilmektedirler.

Bu çalışmada bireylerin BKİ değerleri incelendiğinde kadınların ortalama BKİ değeri 28,77±7,04 kg/m^2, erkeklerin ortalama BKİ değerleri 25,83±4,25 kg/m^2 olarak bulunmuştur. Yapılan bir başka çalışmada kadınların BKİ ortalama değeri 21,7±3,62 kg/m^2 olarak belirlenmiş ve erkeklerin BKİ ortalama değerinden daha düşük olduğu belirtilmiştir (Çiftçi ve Eminsoy, 2024). Cinsiyete göre BKİ değerleri arasında oluşan bu farklılık erkeklerde kas kütlesinin kadınlara göre daha fazla olması sebebiyle BKİ değerlerinin daha yüksek bulunması olabilir.

Araştırmada bireylerin değerlendirilen antropometrik ölçümleri kendi arasında, kullanılan BGÖ, DİA ve GAS ölçekleri ise kendi arasında anlamlı ilişkili bulunmuştur ($p<0,05$). Fakat bireylerin antropometrik ölçümleri ile görsel analog skalası, besin gücü (BGÖ) ve duygusal iştah anketi ortalama puanları arasında anlamlı bir ilişki olduğu gözlenmemiştir ($p>0,05$). Yapılan bir başka çalışmada bireylerde cinsiyetler arasında DİA olumlu-olumsuz puanı farklılık göstermezken ($p>0,05$); obez kadınların puanları, normal olanlara göre daha yüksek olarak belirtilmiştir ($p<0,05$). Erkeklerde ise BKİ ve DİA arasında anlamlı bir ilişki bildirilmemiştir ($p>0,05$) (Aslan ve Köseler, 2022). Yapılan bir başka çalışmada ise normal ağırlıktaki bireylerin BGÖ toplam puanı obez bireylerden daha düşüktür ve bu fark anlamlı olarak belirtilmiştir ($p<0,05$) (Karataş ve Saka, 2021). Bir diğer çalışmada ise fazla kilolu veya obez olan bireylerin hedonik açlık durumu zayıf bireylerle ve normal BKİ değerindeki bireylerle kıyaslandığında anlamlı olarak daha yüksek düzeyde bildirilmiştir (Bülbül ve Doğuer, 2022). Meta-analiz sonuçları, hedonik açlık ile BKİ arasında küçük bir etki büyüklüğü ile pozitif ve anlamlı bir ilişki olduğunu belirtmektedir (r = 0,13, %95 CI: 0,08, 0,18) (Karamizadeh ve ark., 2024). Bu sonuçlar vücut ağırlığındaki artışın BGÖ puanını artırdığını ve dolaylı olarak hedonik açlık seviyelerini yükselttiğini göstermektedir.

Yapılan bu çalışmada yetişkin bireylerde GAS, BGÖ ve DİA'nın bireylerde hedonik açlığı etkilediği; GAS, BGÖ ve DİA ölçek değerlerinin birbirini etkilediği fakat bireylerin antropometrik ölçümlerini etkilemediği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca çalışma sonuçlarına göre bireylerin yeme hızı durum bildirimi ve zayıflama diyeti uygulamalarının BGÖ puanlarını etkilediği görülmüştür. Yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında benzer sonuçlar elde edilirken antropometrik ölçümler konusunda farklılık gözlenmiştir. Bu sonuçlar besinlerin insan beyninde oluşturduğu algının ve bireyin duygusal durumunun hedonik açlık durumlarını etkilediğini göstermektedir. Görsel algının ve duygusal açlığın besin tüketimini etkilediği söylenebilir. Hedonik açlığın belirli bir ağırlık durumuna veya vücut şekline özgü olmaktan ziyade, tüm ağırlık seviyelerinde mevcut olduğu ve kendi başına vücut ağırlığına değil, yeme davranışlarına daha güçlü bir şekilde etki gösterdiği belirtilmektedir (Andrade ve ark., 2024). Dolayısıyla, mevcut bu çalışma, besin gücünün, duygusal açlığın ve görsel algının hedonik açlık üzerinde etkililerini göstererek biyolojik, psikolojik, kültürel, sosyal ve çevresel kapsamda yeme bozukluklarını önlemeyi amaçlayan çok düzeyli müdahalelere ve kamu politikalarına ön bilgi sağlayıcı özelliktedir. Sonuçlar değerlendirildiğinde bireyin duygusal ve görsel algılarının besin seçimini etkilediği görülmektedir. BGÖ bu kapsamda yetişkinlerde hedonik açlığı değerlendirmede faydalı bir araç olabilir. Görsel algının ve duyusal iştahın hedonik açlık ve antropometrik ölçümler üzerine etkisini daha detaylı incelemek adına farklı yaş/meslek gibi gruplar üzerinde yapılacak olan yeni çalışmalara da ihtiyaç duyulmaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazar herhangi bir kişi, kurum ve kuruluşla çıkar çatışmasının olmadığını beyan etmektedir.

Araştırmacının Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye tek başına katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynaklar

Abdulla NK., Obaid RR., Qureshi MN., Asraiti AA., Janahi MA., Qiyas SJA., Faris ME. Relationship between hedonic hunger and subjectively assessed sleep quality and perceived stress among university students: A cross-sectional study. Heliyon 2023; 9(4): e14987.

Andrade ALP., Temple, JL., Balantekin KN. The relationship among disordered eating behavior, power of food scale and sensitization of the reinforcing value of food. Eating Behaviors 2024; 53: 101878.

Akçin B. Food habits of individuals applying to nutrition and diet policlinic of a private hospital located in Istanbul and relation of chewing number with body mass index. Istanbul Yeditepe University Master's Thesis in Health Sciences Institute, p.79, Istanbul, Turkey, 2017.

Aslan B., Köseler E. Bireylerin duygusal açlık durumlarının, umutsuzluk düzeylerinin ve besin tüketimlerinin değerlendirilmesi. İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi 2022; 7(2): 231-237.

Aydoğdu G., Köksal E. Hedonik açlık ve makro besin öğeleri ile ilişkisi. Gazi Sağlık Bilimleri Dergisi 2022; 7(1): 154-163.

Bakırhan H. Diyetisyene başvuran Türk kadınlarında tıkınırcasına yeme davranışının klinik önemi: Hedonik açlık, beslenme durumu ve diyet alışkanlıkları üzerine bir araştırma. Food and Health 2023; 9(4): 313-322.

Bülbül A., Doğuer Ç. Yetişkinlerde hedonik açlık durumunun sosyal medya bağımlılığı ve obezite ile ilişkisinin araştırılması. İstanbul Gelisim University Journal of Health Sciences 2022; (16): 87-97.

Cappelleri JC., Bushmakin 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.

Chao A., Grilo CM., White MA., Sinha R. Food cravings, food intake, and weight status in a community-based sample. Eating Behaviors 2014; 15(3): 478-482.

Chmurzynska A., Mlodzik-Czyzewska MA., Radziejewska A., Wiebe DJ. Hedonic hunger is associated with intake of certain high-fat food types and BMI in 20-to 40-year-old adults. The Journal of Nutrition 2021; 151(4): 820-825.

Coşkunsu S. Hedonik açlık. Artuklu International Journal of Health Sciences 2021; (1): 7-11.

Crane NT., Butryn ML., Gorin AA., Lowe MR., LaFata EM. Overlapping and distinct relationships between hedonic hunger, uncontrolled eating, food craving, and the obesogenic home food environment during and after a 12-month behavioral weight loss program. Appetite 2023; 185: 106543.

Çamlık Z. İnsülin direnci olan yetişkin bireylerin hedonik açlık durumlarının farklı ölçeklerle belirlenmesi. Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:18, Ankara, Türkiye, 2020.

Çelebi C. Obezite hastalarında yeme bağımlılığı, psikopatoloji ve kişilik özelliklerinin değerlendirilmesi. Marmara Üniversitesi Tıpta Uzmanlık Tezi, sayfa no:41, İstanbul, Türkiye, 2015.

Çifçi A., Eminsoy İO. Üniversite öğrencilerinin hedonik açlık durumlarının besin gücü ve duygusal yeme ölçeği ile değerlendirilmesi. Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi 2024; 9(1): 101-116.

Çolak H., Aktaş Ş. Ağırlık yönetimine yeni bir yaklaşım: yeme farkındalığı. Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi 2019; 3(3): 212-222.

Demirel B., Yavuz KF., Karadere ME., Şafak Y., Türkçapar MH. Duygusal iştah anketi'nin Türkçe geçerlik ve güvenilirliği, beden kitle indeksi ve duygusal şemalarla ilişkisi. Bilişsel Davranışçı Psikoterapi ve Araştırmalar Dergisi 2014; 3: 171-181.

Eroğlu FE. Ofis saatli ve nöbetli çalışan erkeklerin hedonik açlık düzeyleri ile beslenme durumları ve uyku kalitesi arasındaki ilişkinin belirlenmesi. Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:13, Ankara, Türkiye, 2020.

Gündüz N., Akhalil M., Sevgi E. Hedonik açlık. İzmir Democracy Unıversity Health Sciences Journal Iduhes 2020; 3(1): 80-96.

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.

Horwath CC., Hagmann D., Hartmann C. The power of food: Self-control moderates the association of hedonic hunger with overeating, snacking frequency and palatable food intake. Eating Behaviors 2020; 38: 101393.

Hızlı H., Büyükuslu N. Yüksek yağlı diyetin açlık-tokluk metabolizmasında görevli hormonlar ve nöropeptidler üzerine etkileri. Sağlık Bilimleri Dergisi 2018; 27(3): 239-244.

Johnson SL., Boles RE., Burger KS. Using participant hedonic ratings of food images to construct data driven food groupings. Appetite 2014; 79: 189-196.

Karakaş HM., Saka M. Obez olan ve olmayan yetişkin bireylerde sezgisel yeme davranışının hedonik açlık ve aşırı besin isteği ile ilişkisinin belirlenmesi. Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi 2021; 6(Beslenme Özel Sayısı): 53-69.

Karamizadeh M., Akbarzadeh M., Gargari BP., Mahdavi R., Nikniaz Z. Association between hedonic hunger and body mass index in adults: A systematic review and meta-analysis. Appetite 2024; 199: 107395.

Kayış A. Güvenirlik analizi. Ş. Kalaycı (Ed), SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli Istatistik Teknikleri. (403-419). Ankara: Asil Yayıncılık, 2009.

Köksal E., Küçükerdönmez Ö. Şişmanlığı saptamada güncel yaklaşımlar. İçinde: Baysal, A.; Baş, M. (ed.) Yetişkinlerde ağırlık yönetimi (1). İstanbul: Türkiye Diyetisyenler Derneği 2008; 52-64.

Lowe MR., Butryn ML., Didie ER., Annunziato RA., Thomas JG., Crerand CE., Halford J. The power of food scale. A new measure of the psychological influence of the food environment. Appetite 2009; 53(1): 114-118.

Löffler A., Luck T., Then F. S., Luck-Sikorski C., Pabst A., Kovacs P., Böttcher Y., Breitfeld J., Tönjes A., Horstmann A., Löffler M., Engel C., Thiery J., Villringer A., Stumvoll M., Riedel-Heller S. G. Effects of psychological eating behaviour domains on the association between socio economic status and BMI. Public Health Nutrition 2017; 20(15): 2706-2712.

Lutter M., Nestler EJ. Homeostatic and hedonic signals ınteract in the regulation of food ıntake1-3. The Journal of Nutrition 2009; 139(3): 629–632.

Mohamad O., Al Sabbah H., Smail L., Hermena EW., Al Ghali R. Food consumption frequency and perceived stress and depressive symptoms among female university students in the UAE. Research Square 2020; 1: 1-15.

Nansel TR., Lipsky LM., Eisenberg MH., Haynie DL., Liu D., Simons-Morton B. Greater food reward sensitivity is associated with more frequent intake of discretionary foods in a nationally representative sample of young adults. Frontiers in Nutrition 2016; 3: 33.

Nolan LJ., Halperin LB., Geliebter A. Emotional appetite questionnaire, Construct validity and relationship with BMI. Appetite 2010; 54(2): 314-319.

Ortega A., Bejarano CM., Hesse DR., Reed D., Cushing CC. Temporal discounting modifies the effect of microtemporal hedonic hunger on food consumption: An ecological momentary assessment study. Eating Behaviors 2023; 48: 101697.

Özkarslı Z. Yetişkin kadınların hedonik açlık durumları ile menstrual döngüleri arasındaki ilişkinin incelenmesi. Hasan Kalyoncu Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:39, Gaziantep, Türkiye, 2022.

Pelchat ML. Food cravings in young and elderly adults, Appetite 1997; 28: 103-113.

Pekcan G. Beslenme durumunun saptanması. Diyet El Kitabı, (Yazarlar. Baysal A, Aksoy M, Besler T, Bozkurt N, Keçecioğlu S, Mercanlıgil SM, et al.) Hatiboğlu Yayınevi, Ankara, (9. Baskı), 2014. p.108-119.

Reisoğlu E. İstanbul ilinde yaşayan bazı meslek gruplarının beslenme alışkanlıkları ve bu beslenme alışkanlıklarını etkileyen faktörler. Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 51, Bayburt, Türkiye, 2019.

Sanlier N., Pehlivan M., Sabuncular G., Bakan S., Isguzar Y. Determining the relationship between body mass index, healthy lifestyle behaviors and social appearance anxiety. Ecology of Food and Nutrition 2017; 57(2):124-139.

Schüz B., Schüz N., Ferguson SG. It's the power of food: individual differences in food cue responsiveness and snacking in everyday life. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity 2015; 12(49): 1-8.

Şarahman C., Ok M. Erişkin bireylerin hedonik açlık durumları ile aşırı besin isteği, dürtüsellik ve benlik saygısı durumları arasındaki ilişkinin incelenmesi. Journal of Traditional and Complementary Medicine 2019; 2(2): 71-82.

Theim KR., Brown JD., Juarascio AS., Malcolm RR., O'Neil PM. Relations of hedonic hunger and behavioral change to weight loss among adults in a behavioral weight loss program utilizing meal-replacement products. Behavior Modification 2013; 37(6): 790-805.

TÜİK. Adrese dayalı nüfus bilgileri. Karabük ili Safranbolu ilçesi nüfusu, 2024. https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2024-53783 (Erişim tarihi: 05.05.2024).

Uçar A., Türker P. Lise öğrencilerinde hedonik açlık ve yeme farkındalığının beslenme durumu ile ilişkisi. Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi 2021; 6(2): 165-178.

Verzijl CL., Ahlich E., Lang B., Rancourt D. Body mass index as a moderator of the association between weight status misperception and disordered eating behaviors. Eating Behaviors 2018; 30: 98-103.

World Health Organization. Waist circumference and waist-hip ratio. Report of a WHO Expert Consultation. Geneva, 2011. www.who.int/nutrition (Erişim tarihi: 06.09.2024)

Xiao H., Song J., Han X., Ye Z., Serier KN., Belon KE., Loor JM., Smith JE., Cui T., He J. Assessing hedonic hunger among Chinese adults using the power of Food Scale: psychometric properties and cross-cultural invariance between China and the US. Eating Behaviors 2023; 48: 101703.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1405-1426, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1405-1426, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Metin Özetleme ve Benzerlik Analizi Üzerine Prototip Bir Çalışma: Google Scholar Örneği

Onur ŞAHİN[1*], Rıdvan YAYLA[2]

[1]Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği ABD Yüksek Lisans Programı, Bilecik, Türkiye
[2]Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilecik, Türkiye

[1]https://orcid.org/0009-0000-8955-658X
[2]https://orcid.org/0000-0002-1105-9169
*Sorumlu yazar: onur2000sahin@outlook.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 20.10.2024
Kabul tarihi:12.02.2025
Online Yayınlanma: 16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Doğal dil işleme
Benzerlik analizi
Metin özetleme
Berstum
LexRank
TextRank

ÖZ

Günümüzde bilgisayar destekli araçlar; akademik araştırmalarda bilgiye erişimi iyileştirme ve verimliliği optimize etmede önemli bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda yapay zeka ve doğal dil işleme tekniklerinin kullanımı, araştırmacıların iş yükünü hafifletmekte ve daha hızlı sonuçlar elde etmelerini sağlamaktadır. Bu çalışmada; araştırma sürecinin özellikle literatür taraması ve kaynak bulma aşamalarında verimliliği artırmayı amaçlayan yeni bir prototip çalışma geliştirilmiştir. Bu çalışma, kullanıcıların girdiği anahtar kelimeler aracılığıyla Google Scholar platformundan belirlenen sayıda akademik makalenin PDF formatında otomatik olarak indirilmesini sağlamaktadır. Ardından Berstum, TextRank ve LexRank olmak üzere üç farklı özetleme algoritması seçeneği sunarak, indirilen makalelerin özetlerini çıkarır. Kullanıcı dostu bir arayüz aracılığıyla araştırmacılar istedikleri anahtar kelimeleri girebilir, benzerlik analizi için bir metin sağlayabilir ve tercih ettikleri özetleme algoritmasını seçebilirler. Elde edilen özetler ve benzerlik skorları arayüzde anlaşılır bir şekilde sunulur. İndirilen makalelerin içeriklerini kullanıcının girdiği metinle karşılaştırmak amacıyla metinlerdeki kelimelerin önem ve benzerliğini ölçen TF-IDF (Terim Frekansı-Ters Belge Frekansı) ve kosinüs benzerlik algoritmaları kullanılmıştır. Bu sayede, kullanıcının aradığı konularla ilgili makaleler ve ilgili bölümler tespit edilebilmektedir. Çalışmada ayrıca, geliştirilen prototipin ürettiği özetlerin kalitesini değerlendirmek için, özetlerin kullanıcıların girdiği referans metinlerle olan örtüşmesini, kesinliğini ve anlam bütünlüğünü ölçen Bleu, Rouge ve Meteor doğruluk metrikleri kullanılmıştır. Çalışmada üretilen özetlerde, çoğunlukla TextRank algoritmasının diğer algoritmalarla karşılaştırıldığında, bu doğruluk metriklerine göre büyük ölçüde %70 ila %94 aralığında çeşitli oranlarda daha yüksek doğruluk değerlerine ulaştığı tespit edilmiştir. Bu prototip çalışma, PDF dosyalarının çeşitli format ve düzenlerdeki yapısal farklılıklarını ele almak için çok aşamalı bir ön işleme süreci sunmaktadır. Bu sayede, farklı kaynaklardan gelen makalelerin özetleri ve benzerlik analizleri tutarlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

A Prototype Study on Text Summarization and Similarity Analysis: Google Scholar Example

Research Article

ABSTRACT

Article History:
Received: 20.10.2024
Accepted: 12.02.2025
Published online:16.06.2025

Keywords:
Natural language processing
Similarity analysis
Text summarization
Berstum
LexRank
TextRank

Today, computer-aided tools play an important role in improving access to information and optimizing efficiency in academic research. In this context, the use of artificial intelligence and natural language processing techniques reduces the workload of researchers and enables them to obtain faster results. In this study, a new prototype study has been developed that aims to increase efficiency, especially in the literature review and source finding stages of the research process. This study automatically downloads a specified number of academic articles in PDF format from the Google Scholar platform through the keywords entered by users. Then, it provides summaries of the downloaded articles by offering three different summarization algorithm options: Berstum, TextRank and LexRank. Through a user-friendly interface, researchers can enter the desired keywords, provide a text for similarity analysis and select the summarization algorithm they prefer. The summaries and similarity scores obtained are presented in an understandable manner in the interface. In order to compare the content of the downloaded articles with the text entered by the user, TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency) and cosine similarity algorithms, which measure the importance and similarity of words in the texts, were used. In this way, articles and relevant sections related to the topics searched by the user can be determined. In addition, Bleu, Rouge and Meteor accuracy metrics, which measure the overlap, precision and semantic integrity of the summaries with the reference texts entered by the users, were used in the study to evaluate the quality of the summaries produced by the developed prototype. In the summaries produced in the study, it was determined that the TextRank algorithm achieved significantly higher accuracy values in the range of 70% to 94% compared to other algorithms. This prototype study presents a multi-stage preprocessing process to address structural differences in PDF files in various formats and layouts. In this way, summaries and similarity analyses of articles from different sources can be performed consistently.

To Cite: Şahin O., Yayla R. Metin Özetleme ve Benzerlik Analizi Üzerine Prototip Bir Çalışma: Google Scholar Örneği. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1405-1426.

1. Giriş

Akademik araştırma süreçleri; çalışma konularının belirlenmesi, ilgili literatürün derinlemesine taranması, araştırma yöntemlerinin tasarlanması, veri toplama ve analiz aşamalarının planlanması, bulguların raporlanması ve sunulması gibi kapsamlı bir dizi adımdan oluşmaktadır (Creswell ve Creswell, 2018). Bu süreçler, özellikle literatür taraması ve bulguların yorumlanması evrelerinde, araştırmacıların büyük hacimli verilerle başa çıkarmayı gerektirmekte, zaman ve emek yoğun faaliyetler içermektedir (Boell ve Cecez-Kecmanovic, 2014). Bu bağlamda, doğal dil işleme, makine öğrenmesi ve metin madenciliği gibi bilgisayar bilimlerinin alt disiplinleri, akademik araştırma süreçlerinin verimliliğini artırma ve hızlandırma potansiyeline sahiptir. Son yıllarda, doğal dil işleme, makine öğrenmesi ve metin madenciliği gibi bilgisayar bilimlerinin alt disiplinleri, akademik araştırma süreçlerini daha verimli ve hızlı hale getirme konusunda önemli bir potansiyel sunmaktadır. Metin benzerliği tespiti, metin sınıflandırma, anahtar kelime çıkarma ve metin özetleme gibi NLP teknikleri, bu bağlamda araştırmacılara büyük kolaylık sağlamaktadır. (Mihalcea ve Radev, 2011). Özellikle derin öğrenme modelleri, daha karmaşık ve bağlamsal metin analizleri yapma olanağı tanıyarak metin özetleme ve benzerlik analizi gibi görevlerde kayda değer ilerlemeler sunmuştur (Ghanem ve ark., 2024). 2024'te geliştirilen EYEGLAXS (Easy Yet Efficient larGe LAnguage model for eXtractive

Summarization) gibi çerçeveler, büyük dil modellerini kullanarak uzun metinlerin özetlenmesinde hem doğruluk hem de verimlilik açısından önemli ilerlemeler sağlamıştır (Hemamou ve Debiane, 2024).

Metin benzerliği tespiti, araştırmacıların çalışma konularıyla ilgili kaynakları bulmalarına yardımcı olurken metin özetleme ve benzerlik analizi alanında, literatürde çeşitli algoritmalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle TextRank ve LexRank, grafik tabanlı yaklaşımlarıyla öne çıkan özetleme yöntemleridir (Mihalcea ve Tarau, 2004; Erkan ve Radev, 2004). Bertsum ise, BERT tabanlı derin öğrenme modellerinin metin özetleme görevine uyarlanmasıyla son yıllarda dikkat çeken bir yöntem olmuştur (Liu ve Lapata, 2019). Bu çalışmada, söz konusu algoritmaların performansı karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve literatür taraması sürecine entegre edilmiştir. Bu algoritmalar, uzun metinlerin ana fikirlerinin hızlı bir şekilde yakalanmasını sağlayarak literatür taraması süreçlerini önemli ölçüde kolaylaştırmaktadır (Nenkova ve McKeown, 2011). Bu algoritmaların avantajlarından yararlanarak, bu çalışmada Python programlama dili kullanılarak, bahsi geçen zorlukları ele almak ve araştırmacılara daha hızlı ve etkili bir literatür taraması deneyimi sunmak için Google Scholar temelinde PDF dokümanlarından metin çıkarma, TF-IDF tabanlı benzerlik analizi ve gelişmiş özetleme algoritmalarını bir araya getiren prototip bir çalışma önerilmiştir.

Google Scholar platformu, akademik araştırmalarda yaygın olarak kullanılan ve geniş bir kapsama sahip bir arama motoru olarak öne çıkmaktadır (Gusenbauer ve Haddaway, 2020). Geliştirilen prototip, kullanıcıların girdiği anahtar kelimeler ve benzerlik analizi yapılacak metinler aracılığıyla Google Scholar platformundan kullanıcının belirlediği sayıda akademik makaleyi PDF formatında otomatik olarak indirmektedir. (Beel ve ark., 2016) Bu işlem için "Requests" kütüphanesi kullanılmaktadır. Belirlenen anahtar kelimeler ile Google Scholar platformu üzerinden PDF formatındaki ilgili makaleler toplanmakta ve "PDFPlumber" kütüphanesi kullanılarak bu makalelerin metinleri çıkarılmaktadır. Ayrıca, Term frequency-inverse document frequency (TF-IDF) tabanlı bir cümle benzerlik ölçütü kullanılarak kullanıcı tarafından girilen metin ile makale metinleri arasındaki benzerlikler hesaplanmaktadır. Tf-idf, metin madenciliğinde yaygın olarak kullanılan bir vektör uzay modeli tekniğidir ve cümlelerin sözcük frekanslarına ve sözcüklerin dokümanlardaki dağılımlarına dayalı olarak benzerliklerini ölçmektedir (Ramos, 2003). Kullanıcı tarafından belirlenen benzerlik eşiğinin üzerinde olan cümleler, benzerlik oranlarıyla birlikte raporlanmakta ve olası kaynak metinler kullanıcıya sunulmaktadır.

Çalışmanın diğer bir işlevi metin özetlemedir. Bu çalışmada kullanıcılarına Bertsum, TextRank ve LexRank olmak üzere üç farklı özetleme algoritması seçenek olarak sunulmaktadır. Kullanıcılar, bir Python kütüphanesi olan “PyQt5” ile geliştirilmiş kullanıcı arayüzü üzerinden istedikleri özetleme algoritmasını seçebilmekte, seçilen algoritma ile oluşturulan özetler ise ayrı dosyalara kaydedilmektedir. Google Scholar platformundan toplanan ve PDF formatında indirilen makaleler, öncelikle bir dizi ön işlemden geçirilmektedir. Python programlama dili temelinde gelişmiş bir doğal dil işleme kütüphanesi olan Natural Language Toolkit (NLTK) kullanılarak yapılan ön işlemler, metinlerin küçük harfe dönüştürülmesi, durak kelimelerin kaldırılması, sayfa numarası, dergi no vb. anlam bütünlüğünü

bozacak sayısal değerlerin temizlenmesi gibi çeşitli işlemleri içermektedir (Bird ve ark., 2009). Ön işlemden geçirilen metinler; Bertsum (Liu ve Lapata, 2019), TextRank (Mihalcea ve Tarau, 2004) ve LexRank (Erkan ve Radev, 2004) olmak üzere üç farklı özetleme algoritması kullanılarak özetlenmektedir.

Prototipin sunduğu özetleme algoritmalarının başarımını değerlendirmek ve birbirleriyle karşılaştırmak amacıyla, ayrı bir çalışma kapsamında Meteor (Banerjee ve Lavie, 2005), Rouge (Lin, 2004), Bleu (Papineni ve ark., 2002) gibi yaygın olarak kullanılan metin özetleme başarı metrikleri kullanılmıştır. Bu metrikler kullanılarak elde edilen sonuçlar, özetleme algoritmalarının etkinliğini değerlendirmede önemli bir dayanak oluşturmaktadır. Bu sayede araştırmacılar, çalışma konularıyla ilgili literatürdeki olası kaynak metinleri sistematik bir şekilde tespit edebilmekte, farklı özetleme algoritmaları tarafından oluşturulan özetleri karşılaştırabilmekte ve araştırma süreçlerini daha verimli yürütebilmektedirler. Prototip, Google Scholar platformu üzerinden akademik kaynaklara erişim sağlayarak, PDF dosyalarını otomatik olarak işleyerek ve farklı özetleme algoritmaları sunarak araştırmacılara literatür taraması ve analiz süreçlerinde kolaylık sağlamaktadır. TF-IDF tabanlı benzerlik analizi ise, kullanıcının ilgi alanına giren makaleleri ve makaleler içerisindeki ilgili bölümleri hızlı bir şekilde tespit etmesine yardımcı olmaktadır. Geliştirilen prototip çalışmanın, bilgisayar destekli metin analizi tekniklerinin akademik araştırma süreçlerine entegrasyonunu sağlaması ve bu alana katkı sunması öngörülmektedir.

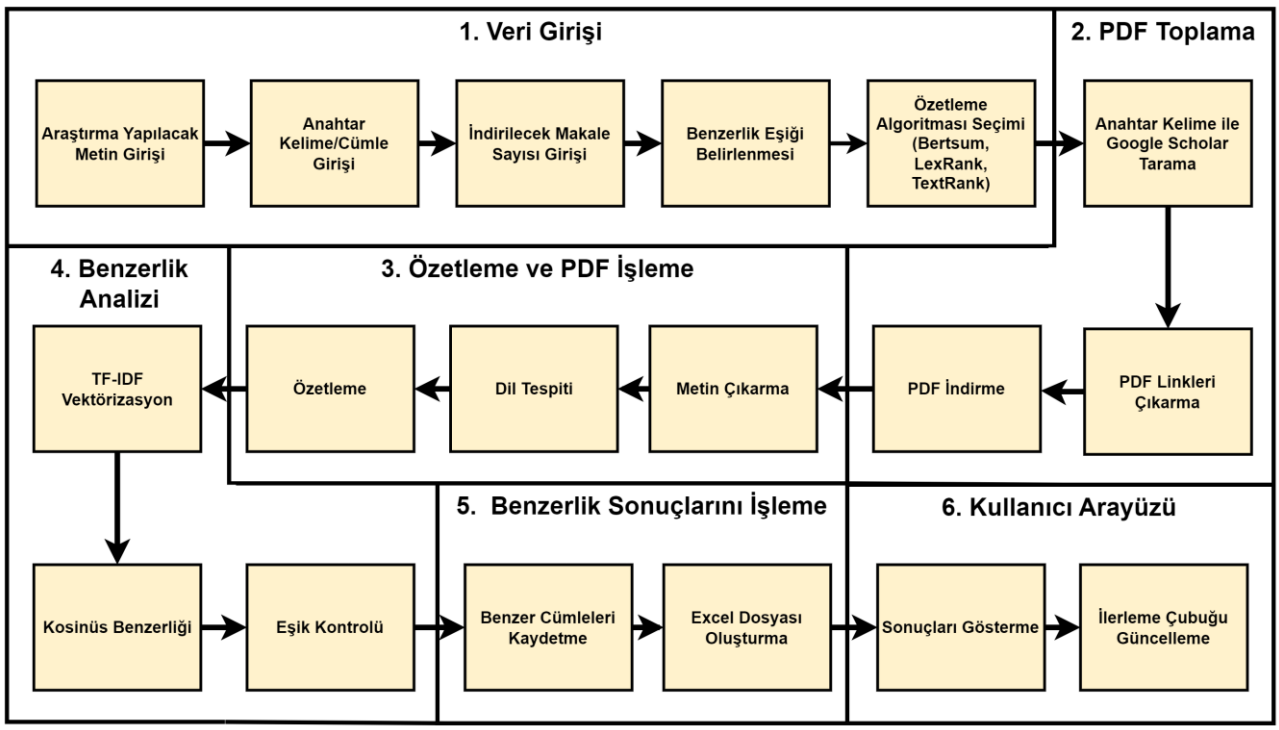
Akademik araştırma süreçlerinde, bilgisayar destekli teknolojilerin rolü ve bu teknolojilerin literatür taraması ile metin özetleme işlevlerine entegrasyonu son yıllarda önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Doğal dil işleme ve makine öğrenmesi tekniklerini kullanan LiterEV gibi araçların geliştirilmesi; literatür incelemelerini ve metin özetlemeyi otomatikleştirerek akademik araştırma süreçlerinde önemli bir rol oynayarak, bu alana katkı sağlamaktadır (Orel ve ark., 2023). Metin benzerliği tespiti ve kaynak bulma konusunda, Alzahrani ve ark. (2011) tarafından yapılan başka bir çalışmada, n-gram tabanlı bir metin benzerliği ölçüm tekniği önerilmiş ve bu teknik akademik makalelerde intihal tespiti için kullanılmıştır. Ancak bu çalışmada, metin benzerliği tespiti daha çok intihal kontrolü amacıyla geliştirilmiş, araştırma süreçlerindeki literatür taraması bağlamında ele alınmamıştır (Alzahrani ve ark., 2011). Literatür taramasında metin özetleme tekniklerinin kullanımına ilişkin çalışmalar da mevcuttur. See ve ark. (2017) çalışmasında, Pointer-Generator Network modeliyle metin özetlemede bilgi kaybı sorununu ele almışlardır. Çalışmada, bir dokümanın önemli kısımları Pointer-Generator Network modeliyle birleştirilir ve uzun metinlerin özetlenmesinde etkili sonuçlar sunar (See ve ark., 2017). Benzer bir çalışmada, Cohan ve ark. (2018) ise uzun bilimsel metinlerin özetlenmesi için hiyerarşik bir dikkat mekanizması önermişlerdir (Cohan ve ark., 2018). Bu tür çalışmalar, metin özetleme tekniklerinin araştırma süreçlerinde kullanımına ışık tutsa da metin benzerliği tespiti ile entegrasyonu ele alınmamıştır.

Metin benzerliği ve özetleme işlevlerini bir araya getiren az sayıda çalışma mevcuttur. 2024'te yayımlanan bir çalışmada, LLM (Büyük Dil Modelleri) ve NLP tekniklerini birleştiren otomatik literatür tarama sistemleri, RAG (Retrieval-Augmented Generation) mimarisiyle PDF dosyalarından doğrudan

literatür özetleri üretmiş ve bu süreçte GPT-3.5-turbo gibi modellerin ROUGE-1 skorunda %36.4 performans sağladığı gösterilmiştir. Bu tür sistemler, literatür taramasının hızını artırırken, benzerlik analizi ve özetleme entegrasyonunu da optimize etmektedir (Fateh Ali ve ark., 2024). Başka bir çalışmada Cao ve arkadaşları Tf-idf tabanlı bir metin benzerlik ölçümü ile Bert tabanlı bir özetleme modelini birleştirerek bir literatür inceleme aracı geliştirmişlerdir (Cao ve ark., 2018). Bununla birlikte, bu araç pdf dokümanının otomatik işlenmesini ve Google Scholar platformu üzerinden kaynak tespitini kapsamamaktadır. Bu çalışma, Google Scholar platformundaki pdf uzantılı kaynakların taranarak hem özetlenmesini hem de kullanıcının yazmış olduğu referans metin ile kaynaklardaki benzerliğin ölçülmesini sağlayarak literatürdeki bu boşluğu doldurmayı hedeflemektedir. Prototip çalışma, Tf-idf tabanlı metin benzerliği ölçümü, Google Scholar entegrasyonu, PDF dokümanlarından metin çıkarma ve Bertsum tabanlı özetleme işlevlerini bir araya getirerek kapsamlı bir analiz sunmaktadır. Böylece araştırmacılar, tek bir uygulama üzerinden kaynak tespiti, içerik analizi ve özetleme işlemlerini gerçekleştirebilmektedirler.

2. Materyal ve Metot

Veri toplama, pdf işleme, benzerlik hesaplama ve özetleme süreçleri ve uygulamanın çalışma prensibi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışma prensibi

2.1. Veri Toplama

Veri toplama süreci; çalışmanın başlangıç noktasını oluşturur ve doğru kaynaklara ulaşmak için kritik bir öneme sahiptir. Özellikle akademik araştırmalarda, veri toplama sürecinin sistematik ve kapsamlı olması, çalışmanın güvenilirliği ve geçerliliği açısından büyük önem taşır.

Bu çalışmada, kullanıcı tarafından girilen metin, ilgili literatür taraması için temel oluşturmaktadır. Bu metin, çalışmada referans metin olarak adlandırılacaktır. Referans metin, kullanıcı tarafından intihal kontrolü yapılmak istenen metni temsil eder. Kullanıcı arayüzü aracılığıyla girilen bu metin, daha sonraki aşamalarda kullanılmak üzere programa kaydedilir. Ayrıca kullanıcı, araştırmak istediği konu ile ilgili anahtar kelimeleri ve incelenecek makale sayısını da sisteme girer.

Çalışmada, belirtilen anahtar kelimeler ve makale sayısı doğrultusunda Google Scholar akademik arama motoru kullanılarak ilgili makalelerin PDF formatında toplanması işlemi otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla, Python programlama dili bünyesindeki Selenium kütüphanesi kullanılarak Google Scholar platformunda otomatik tarama ve veri toplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Selenium, web sayfalarını simüle ederek dinamik içerikleri işleyebilme yeteneği sayesinde Google Scholar gibi platformlardan veri toplamak için etkili bir araçtır (Naing ve ark., 2023). Google Scholar platformunda belirtilen anahtar kelimeler ile arama yapılır ve veri madenciliği işlemi ile belirtilen sayıda PDF dokümanı elde edilene kadar ilgili anahtar kelimeleri içeren tüm sayfalar kontrol edilir. Arama sonuçlarından elde edilen PDF erişim linkleri toplanır ve daha sonraki aşamalarda kullanılmak üzere kaydedilir. Kullanıcı, indirilen makalelerin referans metinle olan benzerliğini değerlendirirken kullanılacak bir benzerlik eşiği belirleyebilir. Bu eşik, TF-IDF ve kosinüs benzerliği hesaplamaları sonucunda elde edilen benzerlik skorlarının karşılaştırılacağı bir sınır değerini temsil eder.

2.2. Kaynakların İndirilmesi ve İşlenmesi

Veri toplama aşamasında elde edilen PDF dokümanlarının indirilmesi ve işlenmesi, çalışmanın ikinci aşamasını oluşturmaktadır. Bu aşamada, Google Scholar platformundan toplanan PDF erişim linkleri kullanılarak ilgili dokümanlar indirilir ve metin madenciliği işlemlerine tabi tutulur. Bu işlemler için Python'da Requests ve PDFPlumber gibi çeşitli kütüphaneler kullanılmıştır. İlk olarak, Requests kütüphanesi kullanılarak, toplanan PDF dosyaları Google Scholar platformundan indirilir ve yerel diske kaydedilir. Daha sonra, PDFPlumber kütüphanesi devreye girer ve indirilen her bir PDF dosyası işlenir. PDFPlumber, PDF dosyalarını okuyup analiz etmeyi sağlayan güçlü bir kütüphanedir. Metin çıkarma işlemi, makalenin giriş bölümünden başlayarak kaynakça bölümüne kadar olan kısmı kapsamaktadır. Bu amaçla, "Giriş", "Introduction" gibi yaygın olarak kullanılan ve giriş bölümünü ifade eden kelimeler ile metin çıkarma işlemine başlanır. "Kaynak", "Kaynakça", "References" gibi kaynakça bölümünü belirten kelimeler tespit edildiğinde ise metin çıkarma işlemi durdurulur. Eğer bu başlangıç ve bitiş kelimeleri PDF dosyasında bulunamazsa, ilk ve son iki sayfa otomatik olarak çıkartılır ve kalan kısımdan metin çıkarma işlemi gerçekleştirilir. Metin çıkarma işleminin ardından, analizlerin doğruluğunu ve verimliliğini artırmak için bir dizi ön işleme adımı uygulanır. Öncelikle, parantez içerikleri ve gereksiz karakterler temizlenerek metin daha sade ve anlaşılır hale getirilir. Daha sonra, metinlerde büyük-küçük harf ayrımından kaynaklanan farklılıkları ortadan kaldırmak ve analizleri tutarlı hale getirmek için tüm metinler küçük harfe dönüştürülür. Sayfa numarası, doi numarası vb.

sayısal değerler genellikle metin özetleme ve benzerlik analizi için önemli bilgiler içermediğinden ve gereksiz gürültü oluşturabileceğinden metinlerden temizlenir. Benzer şekilde, "Tablo", "Şekil", "Figure" ve "Görsel" gibi ifadeler içeren satırlar da genellikle tablo ve şekil başlıklarını temsil eder ve metin özetleme ve benzerlik analizi için gereksiz bilgiler içerir. Bu nedenle, bu satırlar da anlam akışını bozmamak ve analizlerin doğruluğunu artırmak için çıkartılır, bu sayede yalnızca makalenin temel metin içeriği korunmuş olur. Bu aşamadan sonra, makalelerin dili "langdetect" kütüphanesi kullanılarak otomatik olarak tespit edilir. Dil tespiti, doğal dil işleme uygulamalarında önemli bir adımdır çünkü farklı dillerdeki metinler farklı dilbilgisi kurallarına ve sözcük yapılarına sahiptir. Dil tespitinin ardından, NLTK kütüphanesi kullanılarak metin tokenlere (kelime veya cümle) ayrılır ve tespit edilen dile uygun durak kelimeler (stopwords) metinden çıkarılır (Loper ve Bird, 2002). Bu sayede, daha sonraki aşamalarda dile özgü özetleme ve analiz teknikleri kullanılabilir.

2.3. Tf-idf Tabanlı Benzerlik Hesaplama

Metin özetleme işleminden sonra, özetlenen metin ile referans metin arasındaki benzerlikleri tespit etmek için TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency) tabanlı benzerlik hesaplama yöntemi kullanılmıştır. TF-IDF, bir belgedeki terimlerin önemini ölçen bir istatistiksel yöntemdir ve metin madenciliği ile bilgi erişiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Mohd Sofi ve Selamat, 2023; Setiawan ve Adnyana, 2023; Thirumahal, 2024). TF-IDF, iki temel bileşene dayanır: Terim Frekansı (TF): Bir terimin belirli bir belgede veya cümlede kaç kez geçtiğini gösterir. Bu, terimin o belge içindeki göreceli önemini yansıtır. Ters Belge Frekansı (IDF): Bir terimin tüm belge koleksiyonunda ne kadar nadir veya yaygın olduğunu ölçer. Nadir görünen terimler, belgeleri birbirinden ayırmada daha etkili oldukları için daha yüksek IDF değerlerine sahip olurlar.

Bir terimin TF-IDF skoru, bu iki bileşenin çarpımı ile hesaplanır ve Denklem 1'deki gibi hesaplanır.

$$TF - IDF(t, d) = TF(t, d) \times IDF(t) \quad (1)$$

Bu formülde, t belirli bir terimi, d ise belgeyi temsil eder.

Çalışmada, TF-IDF yöntemi kullanılarak referans metin ile özetlenen metinler arasındaki cümle düzeyinde benzerlik hesaplaması yapılmıştır. İlk olarak, hem kullanıcının girmiş olduğu metin hem de işlenmiş makale metinleri cümlelere ayrılır. Daha sonra, her bir cümle için Python programlama dilindeki "TfidfVectorizer" sınıfı kullanılarak TF-IDF vektörleri oluşturulur. Bu vektörler, cümlelerin terim ağırlıklarına dayalı olarak matematiksel bir temsilini sunar. Ardından, referans metindeki her bir cümle ile özetlenen metindeki her bir cümle arasında kosinüs benzerliği hesaplanır (Fauzi ve ark., 2022; Januzaj ve Luma, 2022). Kosinüs benzerliği, iki vektör arasındaki açının kosinüsünü hesaplayarak benzerliklerini ölçer. Sonuç olarak, 0 ile 1 arasında bir benzerlik skoru elde edilir; 1 değeri mükemmel bir benzerliği, 0 değeri ise hiçbir benzerlik olmadığını gösterir. Bu adım, cümleler arasındaki semantik

benzerliği belirlemede kritik bir adımdır. Uygulamada, kullanıcıya benzerlik eşiği belirleme seçeneği sunulmaktadır. Bu eşik değeri, referans metin ile özetlenen metin arasındaki kabul edilebilir benzerlik düzeyini belirler. Eşik değeri ne kadar yüksek olursa, tespit edilen benzerlikler o kadar yüksek olur. Ancak, çok yüksek bir eşik değeri, bazı anlamlı benzerliklerin gözden kaçırılmasına neden olabilir. Önerilen başlangıç eşiği değeri %75'tir. Ancak, kullanıcılar kendi ihtiyaçlarına ve analiz ettikleri metinlerin özelliklerine göre bu değeri ayarlayabilirler. Eşik değeri aşan skorlar, kullanıcının girmiş olduğu metin ile özetlenen metin arasında anlamlı bir benzerlik olduğunu gösterir ve bu sonuçlar hem ekranda görüntülenir hem de bir Excel dosyasına kaydedilir.

2.4. Metin Özeti Oluşturma

Bu çalışmada, indirilen PDF dosyalarından çıkarılan metinlerin özetlerini oluşturmak için Bertsum, LexRank ve TextRank olmak üzere üç farklı özetleme algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmalar, metin özetleme problemini farklı yaklaşımlarla ele alarak çeşitli avantajlar sunmaktadır.

Bertsum, Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT) mimarisine dayanan ve metin özetleme görevine özel olarak uyarlanmış bir dil modelidir (Liu ve Lapata, 2019). BERT'in temelini oluşturan Transformer mimarisi, dikkat mekanizmaları aracılığıyla metinlerdeki uzun mesafeli bağımlılıkları yakalayabilen derin öğrenme tabanlı bir modeldir (Vaswani ve ark., 2017). Bertsum, bu mimariyi kullanarak metni izole cümleler şeklinde değil, genel bağlamı içinde analiz eder. Bu sayede, geleneksel n-gram tabanlı istatistiksel yöntemlerin aksine, metnin anlamsal yapısını daha bütüncül bir şekilde kavrayarak daha kaliteli özetler üretir (Devlin ve ark., 2018). Model, çıkarıcı özetleme (extractive summarization) tekniğini benimseyerek özet için en önemli cümleleri orijinal metinden seçip sıralar.

LexRank ve TextRank ise grafik tabanlı özetleme algoritmaları olup, cümleler arasındaki benzerlikleri temel alır. LexRank, cümleleri bir grafın düğümleri olarak modelleyen ve TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency) yaklaşımıyla cümle benzerliklerini hesaplayan bir yöntemdir (Erkan ve Radev, 2004). İki cümle arasındaki benzerlik, bu cümlelerin graf üzerindeki bağlantı ağırlığını belirler. PageRank algoritmasına benzer şekilde, her düğüme (cümleye) diğer düğümlerden gelen bağlantıların sayısı ve ağırlığına göre bir önem skoru atanır. Bu skor, özete dahil edilecek cümlelerin seçiminde belirleyici olur. LexRank, TF-IDF ile az tekrar eden ancak bilgilendirici içeriğe sahip cümlelere öncelik vererek özlü özetler üretme potansiyeli taşır.

TextRank da benzer bir grafik temelli yaklaşım izlese de, cümle benzerliğini hesaplarken kelime örtüşmesinin yanı sıra sözcüksel ve anlamsal ilişkileri de dikkate alır (Mihalcea ve Tarau, 2004). Örneğin, aynı kavramsal alana ait eş anlamlı kelimeler veya ilişkili terimler içeren cümleler arasında bağlantılar kurabilir. Bu özelliğiyle LexRank'tan ayrışan TextRank, metnin ana fikirlerini daha az cümleyle özetleyebilir ve anlamsal derinliği yüksek çıktılar üretebilir.

Özetleme işlemine başlamadan önce, her üç algoritma için de metin, daha anlaşılır ve özetleme için uygun hale getirmek amacıyla bir dizi ön işleme adımından geçirilir. İlk olarak, makale metni parantez

içerikleri ve gereksiz karakterlerden arındırılır. Ardından, metin küçük harfe dönüştürülerek büyük-küçük harf ayrımından kaynaklanabilecek tutarsızlıklar giderilir. Bu ön işlemler, özetleme algoritmalarının metnin anlamını daha doğru bir şekilde kavramasına yardımcı olur. Ön işleme adımlarının ardından, temizlenmiş metin seçilen özetleme algoritmasına giriş olarak verilir. Her bir algoritma, kendi yöntemlerini kullanarak metni analiz eder, önemli cümleleri belirler ve metnin özlü bir özetini oluşturur. Bilimsel makalelerin özetlenmesinde, atıf bağlamı ve bilimsel söylem yapısının dikkate alınması, özetlerin daha anlamlı ve içerik açısından zengin olmasını sağlar (Cohan ve Goharian, 2018). Son olarak, oluşturulan özet, ilgili makalenin adıyla bir metin belgesi dosyasına kaydedilir. Kullanıcılara üç farklı özetleme algoritması seçeneği sunarak, farklı algoritmaların performansını kendi veri kümeleri ve ihtiyaçları doğrultusunda değerlendirmelerine olanak sağlanmıştır.

2.5. Metrikler ve Değerlendirme

Bu çalışmada, makale özetleme sistemlerinin performansını değerlendirmek için, özetlenen metinlerin orijinal metinlere ne kadar yakın olduğunu ölçen metrikler kullanılmıştır. Bu metrikler, özetleme sistemlerinin kalitesini objektif bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanır. Bu bölümde, metin özetleme performansının değerlendirmesi için yaygın olarak kullanılan Meteor, Rouge ve Bleu hata metrikleri açıklanacaktır (Fabbri ve ark., 2021).

Metric for Evaluation of Translation with Explicit Ordering (Meteor): Özetlenen metin ile referans metin arasındaki kelime seçimi, sıralaması ve eşleşmesini dikkate alır. Metrik, kelimelerin kesin eşleşme (exact match), kök eşleşme (stem match) ve sözcük eşleşme (synonym match) gibi farklı eşleşme türlerine dayalı olarak hesaplanır. Sonuç olarak 0 ile 1 arasında bir değer alan bir Meteor skoru elde edilir. Yüksek skorlar, özetin orijinal metne daha yakın olduğunu gösterir (Banerjee ve Lavie, 2005).

Meteor, öncelikle özetlenen metin ile referans metin arasında mümkün olan tüm eşleşmeleri bulur. Bu eşleşmeler, farklı eşleşme türleri (kesin eşleşme, kök eşleşme, sözcük eşleşme) kullanılarak belirlenir. Daha sonra, her eşleşme türü için bir ağırlık faktörü hesaplanır. Meteor skoru Denklem 2'deki formül kullanılarak hesaplanır.

$$METEOR = (P \times R) / (\alpha \times P + (1 - \alpha) \times R) \quad (2)$$

Denklem 2'de P (precision): özetlenen metinde bulunan ve referans metinde bulunan eşleşen kelimelerin sayısı. R (Recall): referans metinde bulunan ve özetlenen metinde bulunan eşleşen kelimelerin sayısı. α : bir ağırlık faktörünü ifade eder ve genellikle 0,5 olarak seçilir.

Recall-Oriented Understudy for Gisting Evaluation (Rouge), metin özetleme sistemlerinin performansını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir değerlendirme aracıdır (Lin, 2004). Rouge, özet metin ile referans metin arasındaki benzerlikleri analiz eder ve çeşitli metrikler kullanarak

özetin bilgi içeriğini ve doğruluğunu ölçer. bu metrikler, özetlerin kalitesini değerlendirmede kritik bir öneme sahiptir.

Rouge-N metriği, özet metin ile referans metin arasındaki aynı N kelimelik dizilerin sayısını ölçer. N herhangi bir pozitif tam sayı olabilir ve genellikle unigram (Rouge-1), bigram (Rouge-2) gibi terimlerle ifade edilir. Rouge-N hesaplaması, özet metin ile referans metinde ortak olan N-gramların sayısının, referans metindeki toplam N-gram sayısına oranlanmasıyla yapılır. Rouge-N skorunun formülü Denklem 3'teki formül kullanılarak hesaplanır.

$$ROUGE - N = \frac{(\sum i=1^{n} Count(Unigram(S), Unigram(R)))}{n} \quad (3)$$

Denklem 3'te Count(Unigram(S), Unigram(R)): özetlenen metin (S) ve referans metin (R) içinde bulunan aynı N kelimelik dizilerin sayısı. n: referans metinde bulunan N kelimelik dizilerin sayısını ifade eder.

Rouge-L metriği ise, özetlenen metin ile referans metin arasındaki en uzun ortak alt dizinin (LCS - Longest Common Subsequence) uzunluğunu ölçer. LCS, özet ve referans metinlerdeki kelimelerin sırasını dikkate alarak, iki metin arasındaki en uzun ortak alt diziye karşılık gelir. Rouge-L, sıralı bilgiyi değerlendirir ve Denklem 4'teki formül kullanılarak hesaplanır.

$$ROUGE - L = \frac{2 * LCS(S,R)}{|S| + |R|} \quad (4)$$

Denklem 4'te $LCS(S, R)$: Özetlenen metin (S) ve referans metin (R) arasındaki en uzun ortak dizinin uzunluğu. $|S|$: Özetlenen metindeki kelime sayısı. $|R|$: Referans metindeki kelime sayısını ifade eder. Rouge metrikleri genellikle F1 skoruna dayalı olarak hesaplanır. F1 skoru, hatırlama (Recall) ve doğruluk (Precision) arasında bir denge sağlar. Rouge skorları, özet metnin referans metinle ne kadar iyi eşleştiğini gösterir ve 0 ile 1 arasında değer alır; 1 tam uyumu, 0 ise hiç uymadığını gösterir. Yüksek Rouge skorları, özetin referans metnin içeriğini doğru ve kapsamlı bir şekilde yansıttığını gösterir.

Bilingual Evaluation Understudy (Bleu) metriği, özetlenen metinlerin çevirisi olarak değerlendirilmesinde kullanılan bir ölçümdür. Bu metrik, referans metin ile özetlenen metin arasındaki kelime eşleşmelerini analiz ederek hesaplanır. Bleu, özellikle çeviri kalitesini değerlendirmede etkilidir ve referans metinde bulunan kelimelerin özetlenen metinde ne kadar doğru bir şekilde kullanıldığını ölçer. Bleu skoru 0 ile 1 arasında değer alır; yüksek skorlar, özetin referans metne daha yakın olduğunu gösterir (Papineni ve ark., 2002). Bleu, öncelikle, özetlenen metindeki kelimelerin, referans metindeki hangi kelimelerle eşleştiği belirlenir. Daha sonra, bu eşleşmelere dayalı olarak bir kelime eşleşme oranı hesaplanır. Bleu skoru, Denklem 5'teki formül kullanılarak hesaplanır:

$$BLEU = e^{(\sum i=1^{n} w_i * log(p_i))} \quad (5)$$

Denklem 5'te w_i: i-nci n-gram için bir ağırlık faktörü. p_i: i-nci n-gram için kelime eşleşme oranını ifade eder.

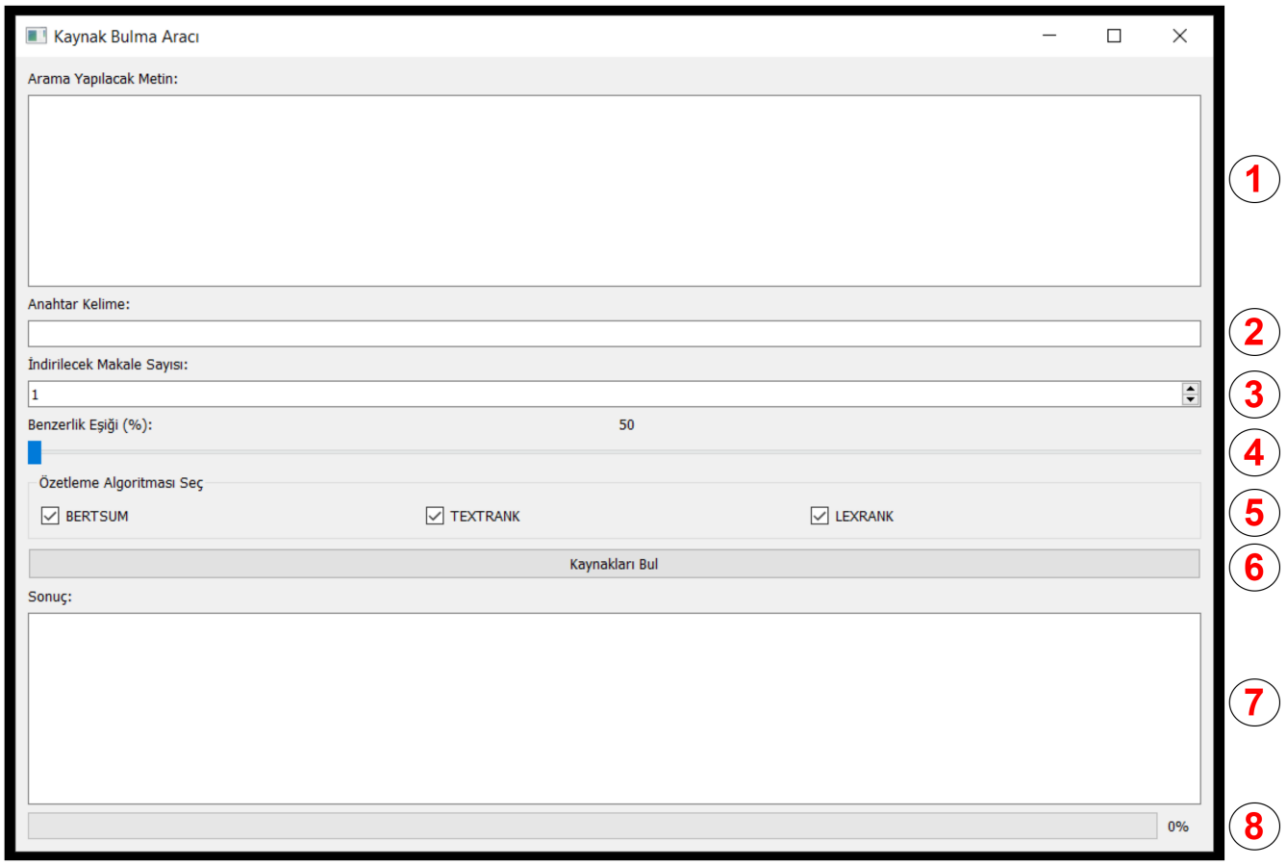
Bleu formülünde, farklı n-gramlar için farklı ağırlık faktörleri kullanılır. Örneğin, unigram (tekli kelimeler) için daha yüksek bir ağırlık faktörü kullanılırken, bigram (iki kelimelik diziler) için daha düşük bir ağırlık faktörü kullanılır. Bu metriklerin kullanılması, özetlenen metinlerin kalitesini objektif bir şekilde değerlendirmek için önemlidir. Değerlendirme sürecinde, PDF dosyalarından çıkarılan metinler kullanılarak oluşturulan özetler, makalelerin orijinal metinleriyle karşılaştırılmış ve Meteor, Rouge ve Bleu hata metrikleri hesaplanarak özetleme algoritmalarının performansı objektif bir şekilde değerlendirilmiştir.

3. Bulgular

Bu bölümde, geliştirilen prototip çalışmanın kullanıcı arayüzü, işleyişi ve çıktıları detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Programın temel amacı, kullanıcıdan alınan referans metin ve anahtar kelimeye bağlı olarak, Google Scholar platformundan makaleleri incelemek, özetlemek ve bu özetlerin referans metinle benzerliklerini hesaplamaktır.

3.1. Kullanıcı Arayüzü ve İşlevselliği

Programın kullanıcı arayüzü, PyQt5 kütüphanesi kullanılarak geliştirilmiş olup kullanıcı dostu ve işlevsel bir yapıya sahiptir. Arayüz, kullanıcıların gerekli bilgileri kolayca girebilmelerini ve programın sunduğu farklı seçenekler arasında seçim yapabilmelerini sağlayarak programın kullanımını kolaylaştırır. Şekil 2'de gösterilen arayüz, kullanıcıların metin benzerliği analizi ve metin özetleme işlemlerini verimli bir şekilde gerçekleştirebilmelerini sağlayan bir dizi bileşenden oluşmaktadır.



Şekil 2. Çalışmanın Kullanıcı Arayüz Tasarımı

Şekil 2'de görüldüğü üzere, arayüzün üst kısmında (1) kullanıcı tarafından arama yapılacak metnin girileceği geniş bir metin kutusu yer almaktadır. Bu metin kutusu, benzerlik analizi için kullanılacak temel metni temsil eder. Arayüzün ortasında ise kullanıcıdan alınacak diğer girdiler için üç ayrı alan bulunmaktadır: (2) Anahtar Kelime, (3) İndirilecek Makale Sayısı ve (4) Benzerlik Eşiği.

(2) Anahtar Kelime alanına, Google Scholar platformunda arama yapmak için kullanılacak anahtar kelimeler girilir. (3) İndirilecek Makale Sayısı alanında, Google Scholar aramasından kaç adet makalenin indirileceği belirtilir. (4) Benzerlik Eşiği (%) alanında ise, benzerlik analizi için kullanılacak eşik değeri yüzdelik olarak (50-100 arası) belirlenir. Bu eşik değeri, referans metin ile özetlenen metinler arasındaki benzerlik skorlarının karşılaştırılacağı bir sınır değerini temsil eder.

Arayüzün alt kısmında (5) Özetleme Algoritması Seç başlıklı bir bölüm yer almaktadır. Bu bölümde, kullanıcılar metin özetleme işlemi için kullanmak istedikleri algoritmayı seçebilirler. Bertsum, TextRank ve LexRank olmak üzere üç farklı özetleme algoritması seçeneği sunulmaktadır. Kullanıcılar, bu algoritmalardan birini veya daha fazlasını seçerek özetleme işlemini gerçekleştirebilirler. Arayüzün en alt kısmında ise (6) Kaynakları Bul butonu, (7) Sonuç bölümü ve (8) ilerleme çubuğu yer almaktadır. Kullanıcılar, tüm girdileri doldurduktan ve özetleme algoritması seçimini yaptıktan sonra (6) Kaynakları Bul butonuna tıklayarak programı çalıştırırlar. Programın çalışması sırasında, indirme ve işleme süreçlerini gösteren bir (8) ilerleme çubuğu görüntülenir. Benzerlik analizi sonuçları (7) Sonuç bölümünde görüntülenir ve ayrıca bir Excel dosyasına kaydedilir.

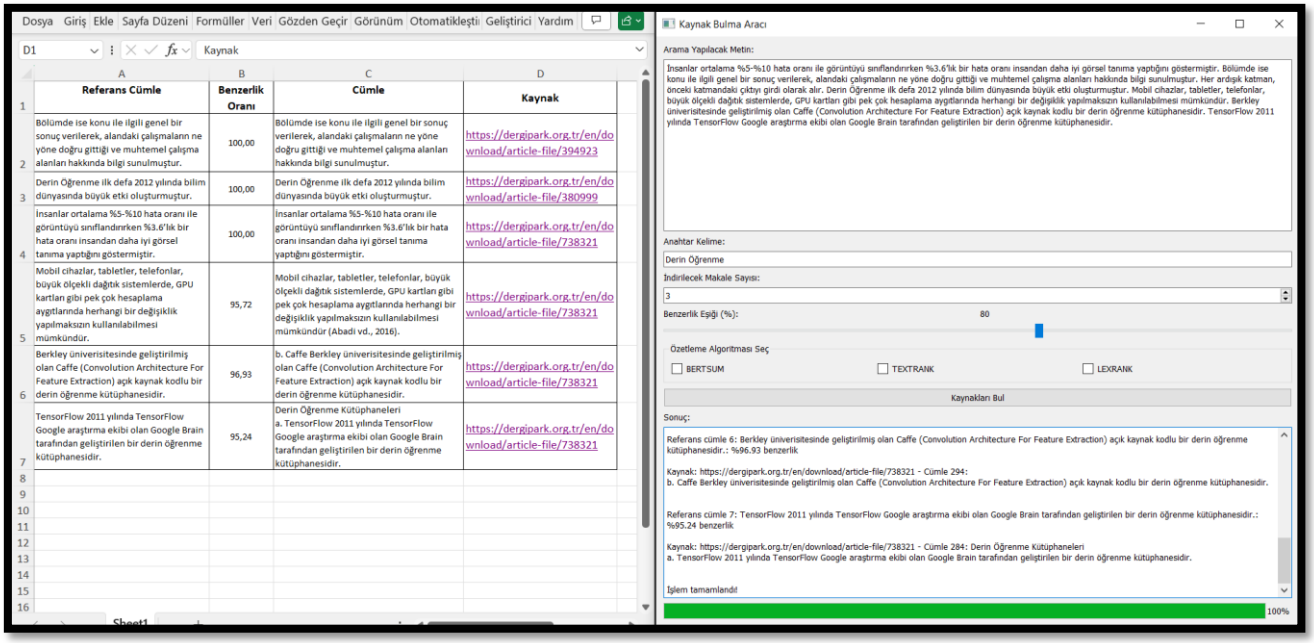
3.2. Program İşleyişi

Program, kullanıcı dostu arayüzü aracılığıyla alınan girdilere göre çalışır ve otomatik olarak metin benzerliği analizi ve özetleme işlemlerini gerçekleştirir. İlk olarak, kullanıcı tarafından belirtilen anahtar kelimeler ve makale sayısı kullanılarak, Selenium kütüphanesi aracılığıyla Google Scholar platformunda otomatik bir arama gerçekleştirilir ve belirtilen sayıda makaleye ait PDF linkleri toplanır. Ardından, Requests kütüphanesi kullanılarak bu makaleler indirilir ve yerel diske kaydedilir. İndirilen PDF dosyaları, PDFPlumber kütüphanesi kullanılarak işlenir ve metin içerikleri çıkarılır. Bu işlem sırasında, *Kaynakların İndirilmesi ve İşlenmesi* 'nde detaylı olarak açıklanan ön işleme adımları uygulanır. Parantez içerikleri, tablo ve şekil başlıkları gibi gereksiz bilgiler metinden temizlenir. Metin küçük harfe dönüştürülür, sayısal değerler çıkarılır ve metnin dili otomatik olarak tespit edilir. Dil tespitinin ardından, NLTK kütüphanesi kullanılarak metin tokenlere ayrılır ve dile uygun durak kelimeler (stopwords) metinden çıkarılır.

Ön işleme adımlarından geçen temizlenmiş metinler, kullanıcı tarafından seçilen özetleme algoritması veya algoritmaları kullanılarak özetlenir. Program, Bertsum, LexRank ve TextRank olmak üzere üç farklı özetleme algoritması seçeneği sunar ve kullanıcı, bu algoritmalardan birini veya daha fazlasını seçebilir. Her bir algoritma, kendi yöntemlerini kullanarak metni analiz eder, önemli cümleleri belirler ve metnin özlü bir özetini oluşturur. Oluşturulan özetler, ilgili makalenin adıyla birlikte ayrı metin dosyalarına kaydedilir. Referans metin ve özetlenen metinler arasındaki benzerlik skorları, TF-IDF vektörleri ve kosinüs benzerliği kullanılarak hesaplanır. Referans metin ve her bir özetlenen metin cümlelere ayrılır ve TfidfVectorizer sınıfı kullanılarak her bir cümle için TF-IDF vektörleri oluşturulur. Ardından, referans metindeki her cümle ile özetlenen metinlerdeki her cümle arasında kosinüs benzerliği hesaplanır. Hesaplanan kosinüs benzerlik skorları, kullanıcı tarafından belirlenen benzerlik eşiği ile karşılaştırılır. Eşik değerini aşan skorlara sahip cümleler, referans metin ile anlamlı bir benzerlik taşıdığı kabul edilir ve programın arayüzündeki Sonuç bölümünde detaylı bir şekilde sunulur. Ayrıca, benzerlik analizi sonuçları ve özetlenen metinler bir Excel dosyasına kaydedilir, böylece kullanıcılar daha sonra bu bilgilere kolayca erişebilirler.

3.3. Benzerlik Analizi

Program; belirtilen anahtar kelimelerle ilgili makaleleri Google Scholar'dan indirip özetledikten sonra, referans metin ile özetlenen metinler arasında cümle düzeyinde benzerlik analizi gerçekleştirir. Bu analiz, kullanıcı tarafından belirlenen benzerlik eşiğine göre yapılır. Eşik değeri aşan benzerlik skorlarına sahip cümleler, referans metinle anlamlı bir benzerlik taşıdığı kabul edilir ve programın arayüzündeki Sonuç bölümünde ve sonuc.xlsx adlı bir Excel dosyasında detaylı bir şekilde sunulur. Kullanıcılar, metin özetleme işlemini gerçekleştirmeden de doğrudan indirilen makalelerin tam metinleri üzerinde benzerlik analizi çalıştırabilirler. Şekil 3'te, programın arayüzü ve sonuc.xlsx dosyasından alınan ekran görüntüleri gösterilmektedir.



Şekil 3. Tespit edilen cümle benzerliğinin kaynak ile birlikte excel'de ve kullanıcı arayüzünde gösterilmesi

Kullanıcı arayüzünde, "Arama Yapılacak Metin" bölümüne, intihal kontrolü yapılacak referans metin girilmiştir. Örnek olarak, "Derin Öğrenme" anahtar kelimesi ile ilgili 3 makale indirilmiş, özetleme algoritması seçilmemiş ve benzerlik eşiği %80 olarak belirlenmiştir. Benzerlik analizi sonucunda, referans metindeki 6. ve 7. cümleler ile indirilen makalelerden birinin özetindeki cümleler arasında yüksek benzerlik tespit edilmiştir. Program arayüzünde, her bir eşleşme için referans cümle numarası, benzerlik oranı, kaynak makalenin linki ve cümle numarası görüntülenir. Örneğin, "Berkeley üniversitesinde geliştirilmiş olan Caffe (Convolution Architecture For Feature Extraction) açık kaynak kodlu bir derin öğrenme kütüphanesidir." cümlesi ile indirilen makalelerden birindeki 294. cümle olan "b. Caffe Berkeley üniversitesinde geliştirilmiş olan Caffe (Convolution Architecture For Feature Extraction) açık kaynak kodlu bir derin öğrenme kütüphanesidir." cümlesi arasında %96,93 benzerlik tespit edilmiştir. Bu eşleşme, referans metindeki cümlenin, indirilen makaledeki bir cümle ile neredeyse birebir aynı olduğunu gösterir. sonuc.xlsx dosyasında ise benzerlik analizi sonuçları tablo formatında sunulur. Bu tabloda, her bir referans cümle için, hedef makaledeki en yüksek benzerlik skoruna sahip cümle ve bu skorun oranı gösterilmektedir. Her bir satır bir benzerlik eşleşmesini temsil eder ve şu bilgileri içerir: Referans Cümle, Benzerlik Oranı, Cümle ve Kaynak. Bu şekilde, kullanıcılar hem program arayüzünde hem de Excel dosyasında detaylı benzerlik analizi sonuçlarını inceleyebilir, olası intihal durumlarını tespit edebilir ve kaynakları doğru bir şekilde belirleyebilirler.

3.4. Özetlerin Değerlendirilmesi

Metin özetleme, büyük miktarda yazılı içeriğin ana fikirlerini kısa ve öz bir şekilde aktarma sürecidir. Bu çalışma, metin özetleme algoritmalarının doğruluğunu çeşitli değerlendirme metrikleri ile analiz etmektedir. Bertsum, TextRank ve LexRank algoritmaları, farklı bilim alanlarını ve dili temsilen seçilen

dört alt başlık (Lineer Cebir, Kültürel Miras ve Görüntü İşleme, Deep Learning Architectures) ve 12 farklı makale üzerinden incelenmiştir. Bu alanlar, sırasıyla sayısal, sözel ve yazılım ana başlıklarını ve Türkçe ile İngilizce dillerini temsil etmektedir. Algoritmaların özetleme performansları, farklı makaleler kullanılarak Meteor, Bleu, Rouge-1, Rouge-2 ve Rouge-L metrikleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen skorlar, Tablo 1'de sunulmaktadır. Bu analiz, özetleme algoritmalarının performansını değerlendirmek ve farklı metriklerin bu performans üzerindeki etkisini anlamak açısından önem taşımaktadır.

Tablo 1. Metin özetleme kapsamında oluşturulan doğruluk sonuçları

Anahtar Kelime	Makale Kodu	Özetleme Algoritması	Meteor	Bleu	Rouge-1	Rouge-2	Rouge-L
Lineer Cebir	1	Bertsum	0,678	0,443	0,779	0,691	0,463
		TextRank	**0,714**	**0,484**	**0,822**	**0,731**	**0,503**
		LexRank	0,584	0,473	**0,822**	0,720	0,172
	2	Bertsum	0,721	0,540	0,890	0,842	0,873
		TextRank	**0,804**	**0,625**	**0,929**	**0,887**	**0,909**
		LexRank	0,566	0,597	**0,929**	0,843	0,212
	3	Bertsum	0,842	0,614	0,849	0,804	0,832
		TextRank	**0,844**	**0,628**	**0,854**	**0,811**	**0,839**
		LexRank	0,664	0,606	**0,854**	0,788	0,216
Kültürel Miras	4	Bertsum	0,733	0,592	0,785	0,764	0,777
		TextRank	**0,757**	**0,655**	**0,834**	**0,814**	**0,826**
		LexRank	0,659	0,641	**0,834**	0,800	0,267
	5	Bertsum	**0,824**	0,827	0,921	0,911	0,910
		TextRank	0,823	**0,831**	**0,923**	**0,913**	**0,911**
		LexRank	0,674	0,810	**0,923**	0,897	0,211
	6	Bertsum	0,617	0,448	0,917	0,909	0,916
		TextRank	**0,783**	**0,509**	**0,966**	**0,961**	**0,965**
		LexRank	0,507	0,493	**0,966**	0,939	0,215
Görüntü İşleme	7	Bertsum	0,812	0,637	0,859	0,835	0,850
		TextRank	**0,818**	**0,699**	**0,885**	**0,861**	**0,866**
		LexRank	0,620	0,663	**0,885**	0,821	0,214
	8	Bertsum	0,885	0,637	0,826	0,800	0,800
		TextRank	**0,913**	**0,656**	**0,834**	**0,810**	**0,808**
		LexRank	0,688	0,629	**0,834**	0,783	0,199
	9	Bertsum	0,683	0,516	0,750	0,724	0,738
		TextRank	**0,694**	**0,555**	**0,774**	**0,748**	**0,754**
		LexRank	0,582	0,534	**0,774**	0,724	0,187
Deep Learning Architectures	10	Bertsum	0,874	0,880	0,925	0,904	0,918
		TextRank	**0,913**	**0,905**	**0,940**	**0,914**	**0,933**
		LexRank	0,589	0,880	**0,940**	0,881	0,247
	11	Bertsum	0,820	0,613	0,897	0,774	0,733
		TextRank	**0,854**	**0,685**	**0,945**	**0,811**	**0,760**
		LexRank	0,662	0,662	**0,945**	0,747	0,222
	12	Bertsum	0,622	0,655	0,890	0,784	0,461
		TextRank	**0,631**	**0,732**	**0,930**	**0,812**	**0,465**
		LexRank	0,535	0,703	**0,930**	0,776	0,175

Çalışmada, "Lineer Cebir", "Kültürel Miras", "Görüntü İşleme" ve “Deep Learning Architectures” başlığı altında toplam 12 makale incelenmiştir. Her makale için Bertsum, TextRank ve LexRank algoritmaları kullanılarak özetler oluşturulmuş ve bu özetlerin kalitesi beş farklı metrik ile değerlendirilmiştir.

3.4.1. Doğruluk Metriklerinin Değerlendirilmesi

Genel olarak, Bertsum ve TextRank algoritmalarının LexRank'a kıyasla daha yüksek sonuçlar gözlemlenmiştir. Özellikle Rouge-L metriğinde LexRank'ın diğer iki metriğe göre belirgin şekilde düşük skorlar almıştır. Örneğin, 2 numaralı makalede Bertsum ve TextRank sırasıyla 0,873 ve 0,909 Rouge-L skorları alırken, LexRank yalnızca 0,212 almıştır. Bu fark, LexRank'ın uzun bağlantılı cümle yapılarını yakalamada diğer iki algoritmaya göre daha az başarılı olduğunu göstermektedir.

Rouge-1 metriği genellikle en yüksek skorları verirken, Bleu metriği çoğunlukla en düşük skorları vermiştir. Örneğin, 5 numaralı makalede Bertsum algoritması için Rouge-1 skoru 0,921 iken, Bleu skoru sadece 0,827'dir. Bu belirgin fark, Rouge-1'in tek kelime eşleşmelerine odaklanırken, Bleu'nun daha uzun n-gram eşleşmelerini dikkate almasından kaynaklanıyor olabilir. Bu durum, metriklerin farklı özelliklere odaklandığını ve tek bir metriğe bağlı kalmanın yanıltıcı olabileceğini göstermektedir. Dolayısıyla, özetleme performansını değerlendirirken birden fazla metriği birlikte kullanmak daha sağlıklı sonuçlar verecektir.

3.4.2. Konu Bazlı Analiz

"Kültürel Miras" konulu makalelerde (4, 5, 6 numaralı) tüm metriklerin ortalamaları alındığında diğer konulara göre daha yüksek skorlar elde ettiği görülmüştür. Örneğin, 6 numaralı makalede TextRank algoritması Rouge-1'de 0,966, Rouge-2'de 0,961 ve Rouge-L'de 0,965 gibi oldukça yüksek skorlar elde etmiştir. Bu durum, kültürel miras metinlerinin yapısının özetleme algoritmalarına daha uygun olabileceğini düşündürmektedir. Sözel metinlerinin muhtemelen daha betimleyici ve tekrar eden ifadeler içermesi, özetleme algoritmalarının kilit noktaları daha kolay yakalamasını sağlıyor olabilir.

3.4.3. Algoritma Tutarlılığı

Algoritmaların performansı makaleler arasında değişkenlik göstermekle birlikte, bazı tutarlı örüntüler gözlemlenmiştir. LexRank algoritması, özellikle Rouge-L metriğinde sürekli olarak en düşük skorları almıştır. Bu durum, LexRank'ın uzun ve bağlantılı cümle yapılarını yakalamada diğer iki algoritmaya göre daha zayıf olduğunu göstermektedir.

TextRank algoritması, birçok durumda en yüksek skoru elde etmiştir. Özellikle Rouge-1 ve Rouge-2 metriklerinde tutarlı bir şekilde yüksek performans göstermiştir. Örneğin, 2 numaralı makalede TextRank, Rouge-1'de 0,929 ve Rouge-2'de 0,887 gibi yüksek skorlar elde etmiştir. Bu tutarlılık, TextRank'ın farklı konu alanlarında ve metriklerde genel olarak iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bertsum algoritması ise genel olarak iyi performans göstermekle birlikte, makaleler arasında daha fazla değişkenlik göstermiştir. Bazı makalelerde (örneğin 5 numaralı makale) en yüksek Meteor skorunu elde ederken, diğerlerinde daha düşük skorlar almıştır. Bu durum, Bertsum'un performansının metin içeriğine ve yapısına daha duyarlı olabileceğini göstermektedir.

"Deep Learning Architectures" kategorisinde, Bertsum ve TextRank algoritmalarının 10 numaralı makalede benzer performans sergilediği gözlemlenmektedir. Bertsum, 0,874 Meteor skoru ile dikkat

çekerken, TextRank 0,913 Meteor skoru ile bu algoritmayı geçmiştir. Ancak, 11 ve 12 numaralı makalelerde, TextRank yine Rouge-1 ve Rouge-2 metriklerinde en yüksek puanları alarak öne çıkmıştır. Özellikle, 11 numaralı makalede TextRank 0,945 Rouge-1 ve 0,811 Rouge-2 skoru ile Bertsum'un önüne geçmiştir. Bu, TextRank'ın farklı makalelerde daha tutarlı ve güçlü performans gösterdiğinin bir başka örneğidir. Ayrıca, 12 numaralı makalede de TextRank'ın Rouge-1 ve Rouge-2 metriklerinde Bertsum'u geride bıraktığı ve LexRank'ın bu makalede diğer algoritmaların çok gerisinde kaldığı görülmektedir. Bu noktada, çalışma dili ve metinlerin yapısı üzerine yapılan analizler, algoritmaların İngilizce özetleme görevlerinde de başarılı sonuçlar elde edebildiğini göstermektedir. Özellikle "Deep Learning Architectures" alanında incelenen makaleler, İngilizce metinler içermektedir ve algoritmaların farklı dillerdeki performansları kıyaslandığında, İngilizce metinlerde de benzer başarı oranları yakalandığı gözlemlenmiştir. Makale dili otomatik olarak Python programlama dilindeki "langdetect" kütüphanesi ile tespit edilmiş, bu sayede özetleme algoritmaları, dil bağımsız olarak doğru şekilde yönlendirilmiştir. İngilizce metin özetleme görevlerinde Bertsum ve TextRank algoritmaları, Rouge ve Meteor gibi metriklerde yüksek puanlar alarak etkili performans sergilemektedir. Örneğin, İngilizce dilinde oluşturulan özetlerde, metin yapısının daha düzenli ve n-gram tabanlı metriklerin bu yapıyı daha iyi yakalayabilmesi nedeniyle TextRank algoritmasının Rouge-1 ve Rouge-2 metriklerinde öne çıktığı görülmektedir. Bertsum ise, hem İngilizce hem de Türkçe metinlerde genel olarak güçlü bir performans sergilemekte, ancak metinlerin içerik yoğunluğu ve yapısal farklılıklarına daha duyarlı olduğu için bazı İngilizce metinlerde daha değişken sonuçlar verebilmektedir. İngilizce metinlerde elde edilen bu başarı, algoritmaların dil bağımsız bir şekilde özetleme yapabildiği ve özellikle büyük dil modellerinin dil yapısını anlamada etkin olduğu gerçeğini desteklemektedir. Bu durum, gelecekte yapılacak çalışmalarda metin özetleme algoritmalarının dil yetkinliklerinin artırılmasının önemini vurgulamaktadır.

Bu analiz, özetleme algoritmalarının performansının konu alanına ve kullanılan değerlendirme metriğine göre değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bertsum ve TextRank algoritmaları genel olarak daha iyi performans sergilese de, LexRank'ın da belirli durumlarda etkili olabildiği görülmüştür. Gelecekteki çalışmalarda, farklı konu alanlarına özgü özetleme algoritmalarının geliştirilmesi ve metrik seçiminin özetleme performansına etkisinin daha detaylı incelenmesi önerilmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada; akademik araştırma süreçlerinde bilgi edinme ve kaynak bulma verimliliğini artırmayı amaçlayan, Google Scholar platformu üzerinden çalışan ve BERT tabanlı metin özetleme ile benzerlik analizi tekniklerini entegre eden özgün bir prototip geliştirilmiştir. Makine öğrenmesi ve derin öğrenme tabanlı modellerin, literatür taramaları ve metin özetleme süreçlerinde kullanımı, araştırmacılara daha hızlı, verimli ve kapsamlı analizler sunma imkânı sağlamaktadır (Gulati ve ark., 2023; Edrees ve Ortakci, 2024).

Geliştirilen prototip, kullanıcı dostu bir arayüz sunan PyQt5 kütüphanesi ile tasarlanmıştır. Bu arayüz, kullanıcıların araştırma süreçlerini kolaylaştırmak amacıyla Bertsum, LexRank ve TextRank gibi üç

farklı özetleme algoritması arasından seçim yapma olanağı sunmaktadır. Kullanıcılar, arayüz aracılığıyla araştıracakları metinleri ve anahtar kelimeleri sisteme girerek, Google Scholar üzerinden ilgili makaleleri indirebilir, bu makalelerin özetlerini oluşturabilir ve girdikleri metinlerle benzerlik analizlerini gerçekleştirebilirler. Bu çalışmanın en önemli katkısı, metin özetleme ve benzerlik analizini tek bir sistemde bir araya getiren entegre bir çözüm sunmasıdır. Literatürde, metin özetleme ve benzerlik analizi genellikle ayrı ayrı ele alınırken, bu çalışma her iki işlevi birleştirerek, araştırmacılara daha kapsamlı ve verimli bir araştırma deneyimi sunmayı hedeflemektedir. Ayrıca, kullanıcıların özetleme algoritmaları arasında seçim yapabilmesi ve benzerlik analizindeki eşiği belirleyebilmesi uygulamanın esnekliğini artıran önemli bir özellik olarak öne çıkmaktadır. Özellikle, prototipin sunduğu özetleme ve benzerlik analizlerinin doğruluk sonuçları, uygulamanın yüksek kaliteli özetler ürettiğini ve referans metinlerle anlamlı benzerlikler taşıyan cümleleri başarılı bir şekilde tespit edebildiğini göstermektedir. Ayrıca, makale tespiti için kullanılan Python kütüphanesi "langdetect" sayesinde, çalışma dili otomatik olarak algılanarak İngilizce metin özetlemelerinde de başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu sayede, uygulama hem Türkçe hem de İngilizce gibi farklı dillerdeki metinlerde etkin bir şekilde çalışabilmektedir.

Uygulamanın akademik araştırma süreçlerinde kullanımını kolaylaştırmak ve hızlandırmak için geliştirilmiş olmasıyla birlikte, etik kullanımına da dikkat çekilmesi gerekmektedir. Benzerlik analizleri, olası intihal tespitinde kullanılabilir, ancak bu sonuçların tek başına yeterli olmadığının altı çizilmelidir. İntihal değerlendirmeleri yapılırken, bağlam, niyet ve diğer kanıtların da dikkate alınması büyük önem taşır. Bu uygulamanın temel amacı, literatür tarama süreçlerini daha verimli hale getirerek araştırmacılara yardımcı olmak ve kaynak bulma sürelerini optimize etmektir.

Geliştirilen bu prototip çalışma genel bir akademik makale veri kümesi üzerinde test edilmiştir. Ancak, gelecekte daha geniş çaplı ve alana özgü veri kümeleri üzerinde uygulamanın performansı artırılabilir. Metin çıkarma süreçlerinde PDF dosyalarının yapısal farklılıklarından kaynaklanan hatalar oluşabilmekte ve bu durum özetleme ile benzerlik analizlerinin doğruluğunu etkileyebilmektedir. Bu sorunun çözülmesi için daha gelişmiş metin çıkarma algoritmalarının entegrasyonu ve farklı PDF formatlarının daha etkin işlenmesi gerekmektedir.

Gelecekte uygulamanın işlevselliğini artırmak adına farklı akademik dergi platformlarının entegrasyonu, benzer metinlerden otomatik referans ekleme ve daha fazla özetleme algoritmasının karşılaştırılması gibi yenilikler eklenebilir. Ayrıca, hata metriklerinin uygulamaya dahil edilmesi ve kullanıcıların algoritmaların performansını anahtar kelimeler ve metrikler bazında değerlendirmesine imkan sağlayan bir arayüz geliştirilmesi, uygulamanın kullanımını daha verimli hale getirecektir. Böylelikle, araştırmacılar ihtiyaçlarına en uygun özetleme algoritmasını bilinçli bir şekilde seçebilecektir. Bu gelişmeler uygulamanın akademik araştırma süreçlerine daha fazla entegre olmasını sağlayarak, araştırmacılar için daha kapsamlı ve faydalı bir araç haline gelmesine katkı sağlayacaktır. Tablo 2, bu çalışmanın literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırmasını sunmaktadır. Tablo, prototipin özgün katkılarını ve benzer çalışmalardan farklı yönlerini göstermektedir.

Tablo 2. Metin özetleme kapsamında oluşturulan doğruluk sonuçları

Özellik	Literatürdeki Diğer Çalışmalar	Bu Çalışma (Prototip)
Temel Amaç	Edrees ve arkadaşları, Metin özetleme amacıyla cümle kümeleme ve doğal dil işleme tekniklerinden faydalanmıştır (Edrees ve ark., 2024).	Literatür tarama süreçlerini hızlandırmayı, metin analizi ve özetleme işlevlerini Google Scholar platformu ile entegre ederek kullanıcı dostu ve kapsamlı bir araç sunmayı hedeflemektedir.
Veri Kaynağı	Orel ve arkadaşları akademik araştırma süreçlerini hızlandırmak için otomatik özetleme ve literatür inceleme sistemi geliştirilmiştir (Orel ve ark., 2023). Gulati ve arkadaşları Medium bloglarından derlenen bir veri seti üzerinde özetleme gerçekleştirilmiştir. (Gulati ve ark., 2023)	Google Scholar platformu üzerinden, kullanıcının seçtiği konularla ilgili en güncel çalışmalara otomatik olarak erişmesini sağlayan bir yöntem önerilmektedir. Bu yaklaşım, akademik araştırma süreçlerinde daha kapsamlı ve güncel bir bilgi havuzu oluşturmayı hedeflemektedir.
Özetleme Algoritmaları	Aftiss ve arkadaşları PageRank algoritması ve Longformer modeli ile özetleme yapmıştır (Aftiss ve ark., 2024). Thirumahal TF-IDF tabanlı kümeleme yöntemleri kullanılarak özetleme gerçekleştirilmiştir; algoritma kıyaslamasına yer verilmemiştir (Thirumahal, 2024).	Bertsum, TextRank ve LexRank algoritmalarını karşılaştırmalı olarak sunarak, farklı özetleme yöntemlerinin performansını değerlendirme imkânı sağlamaktadır. Araştırmacıların veri kümelerine en uygun algoritmayı seçebilmesi için kullanıcı odaklı bir yaklaşım benimsemektedir.
Değerlendirme Metrikleri	Kahdim ve arkadaşları puanlama içeren bir özetleme modeli önermiştir ve ROUGE-1, ROUGE-2, ROUGE-L ile değerlendirme gerçekleştirmiştir (Kahdim ve ark., 2025).	Rouge, Bleu ve Meteor gibi metrikler aracılığıyla kapsamlı bir özet kalitesi değerlendirmesi yapılmaktadır. Bu metrikler, farklı algoritmaların performansını karşılaştırmayı ve sistem çıktılarını daha detaylı bir şekilde analiz etmeyi mümkün kılmaktadır.
Arayüz ve Kullanım	Naing ve arkadaşları Google Scholar'dan makale toplama süreci için Selenium tabanlı bir sistem geliştirilmiştir; ancak kapsamlı bir arayüz veya özetleme ve benzerlik analizi entegrasyonu bulunmamaktadır (Naing ve ark., 2023)	PyQt5 tabanlı bir arayüz sunarak kullanıcıların anahtar kelime girişi, metin özetleme algoritması seçimi ve benzerlik analizi işlemlerini tek bir platform üzerinden kolayca gerçekleştirmelerine olanak tanımaktadır. Bu kullanıcı dostu yapı, tüm süreçleri entegre bir şekilde yönetmeyi mümkün kılmaktadır.
Benzerlik Analizi	Sofi ve Selamat LDA ve TF-IDF kullanarak duygu analizi gerçekleştirmiştir. (Sofi ve Selamat, 2023) Setiawan ve Adnyana yardım masası sohbet robotlarında TF-IDF ve kosinüs benzerliği yöntemlerini uygulamıştır (Setiawan ve Adnyana, 2023).	Cümle düzeyinde TF-IDF ve kosinüs benzerliği yöntemlerini kullanarak, eşik değerine göre özelleştirilebilen bir benzerlik analizi sunmaktadır. Bu yapı, farklı araştırma ihtiyaçlarına uyarlanabilir bir çözüm sağlamaktadır.

Bu çalışmanın özgün katkısı, literatür taraması, PDF doküman işleme, metin benzerliği analizi, özetleme ve değerlendirme süreçlerini tek bir platformda entegre ederek, akademik araştırmalar için kapsamlı bir çözüm sunmasıdır. Google Scholar entegrasyonu, TF-IDF tabanlı benzerlik analizi ve Bertsum tabanlı

özetleme yöntemlerinin bir arada kullanılması, bu çalışmayı literatürdeki diğer çalışmalardan ayıran temel özelliklerdir.

Geliştirilen prototipin kaynak kodu GitHub platformu üzerinden açık kaynak olarak https://github.com/OnurSahinCeng/Kaynak-Bulma-Arac-Prototip bağlantısında paylaşılmıştır. Bu paylaşım, bilimsel çalışmaların tekrar edilebilirliğini artırmak ve prototipin daha geniş kitleler tarafından kullanılmasını sağlamak amacıyla yapılmıştır. İlerleyen süreçte, kullanıcı geri bildirimlerine dayalı olarak prototipin sürekli güncellenmesi ve daha fazla akademik platformla entegre edilmesi hedeflenmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Bu çalışmanın araştırma, geliştirme ve kodlama süreçleri Yazar1 tarafından, araştırma ve düzenleme süreçleri Yazar2 tarafından yapılmıştır.

Kaynakça

Aftiss A., Lamsiyah S., El Alaoui SO., Schommer C. Biomdsum: an effective hybrid biomedical multi-document summarization method based on pagerank and longformer encoder-decoder. IEEE Access 2024; 12.

Alzahrani SM., Salim N., Abraham A. Understanding plagiarism linguistic patterns, textual features, and detection methods. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews) 2011; 42(2): 133-149.

Banerjee S., Lavie A. Meteor: an automatic metric for MT evaluation with improved correlation with human judgments. In: Proceedings of the ACL Workshop on Intrinsic and Extrinsic Evaluation Measures for Machine Translation and/or Summarization 2005; 65-72.

Beel J., Gipp B., Langer S., Breitinger C. Paper recommender systems: a literature survey. International Journal on Digital Libraries 2016; 17: 305-338.

Bird S., Klein E., Loper E. Natural language processing with python: Analyzing text with the natural language toolkit. O'Reilly Media, Inc. 2009.

Boell SK., Cecez-Kecmanovic D. A hermeneutic approach for conducting literature reviews and literature searches. Communications of the Association for Information Systems 2014; 34(1): 12.

Cao Z., Li W., Wei F., Li S. Retrieve, rerank and rewrite: soft template based neural summarization. In: Proceedings of the Association for Computational Linguistics (ACL) 2018.

Cohan A., Dernoncourt F., Kim DS., Bui T., Kim S., Chang W., Goharian N. A discourse-aware attention model for abstractive summarization of long documents. arXiv preprint arXiv:1804.05685 2018.

Cohan A., Goharian N. Scientific document summarization via citation contextualization and scientific discourse. International Journal on Digital Libraries 2018; 19: 287-303.

Creswell JW., Creswell JD. Mixed methods procedures. In: Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches 2018.

Devlin J. Bert: pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. arXiv preprint arXiv:1810.04805 2018.

Edress Z., Ortakci Y. Optimizing text summarization with sentence clustering and natural language processing. International Journal of Advanced Computer Science & Applications 2024; 15(10).

Erkan G., Radev DR. Lexrank: graph-based lexical centrality as salience in text summarization. Journal of Artificial Intelligence Research 2004; 22: 457-479.

Fabbri AR., Kryściński W., McCann B., Xiong C., Socher R., Radev D. Summeval: re-evaluating summarization evaluation. Transactions of the Association for Computational Linguistics 2021; 9: 391-409.

Fateh Ali N., Mohtasim M., Mosharrof S., Gopi Krishna T. Automated literature review using nlp techniques and llm-based retrieval-augmented generation. arXiv e-prints 2024; arXiv-2411.

Fauzi R., Iqbal M., Haryanti T. Design and implementation of a final project plagiarism detection system using cosine similarity method. International Journal of Applied Information Technology 2021; 59-74.

Ghanem FA., Padma MC., Abdulwahab HM., Alkhatib R. Novel genetic optimization techniques for accurate social media data summarization and classification using deep learning models. Technologies 2024; 12(10): 199.

Gulati V., Kumar D., Popescu DE., Hemanth JD. Extractive article summarization using integrated TextRank and BM25+ algorithm. Electronics 2023; 12(2): 372.

Gusenbauer M., Haddaway NR. Which academic search systems are suitable for systematic reviews or meta-analyses? evaluating retrieval qualities of Google Scholar, PubMed, and 26 other resources. Research Synthesis Methods 2020; 11(2): 181-217.

Hemamou L., Debiane M. Scaling up summarization: leveraging large language models for long text extractive summarization. arXiv preprint arXiv:2408.15801 2024.

Januzaj Y., Luma A. Cosine similarity–a computing approach to match similarity between higher education programs and job market demands based on maximum number of common words. International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET) 2022; 17(12): 258-268.

Kadhim EA., Feizi-Derakhshi MR., Aghdasi HS. Advanced text summarization model incorporating nlp techniques and feature-based scoring. IEEE Access 2025.

Lin CY. Rouge: a package for automatic evaluation of summaries. In: Text Summarization Branches Out 2004; 74-81.

Liu Y., Lapata M. Text summarization with pretrained encoders. arXiv preprint arXiv:1908.08345 2019.

Loper E., Bird S. Nltk: the natural language toolkit. arXiv preprint cs/0205028 2002.

Mihalcea R., Tarau P. Textrank: bringing order into text. In: Proceedings of the 2004 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing 2004; 404-411.

Mihalcea R. Graph-based natural language processing and information retrieval. Cambridge University Press 2011.

Naing I., Funabiki N., Wai KH., Aung ST. A design of automatic reference paper collection system using Selenium and Bert model. In: 2023 IEEE 12th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE) 2023; 267-268.

Nenkova A., McKeown K. Automatic summarization. Foundations and Trends® in Information Retrieval 2011; 5(2–3): 103-233.

Orel E., Ciglenecki I., Thiabaud A., Temerev A., Calmy A., Keiser O., Merzouki A. An automated literature review tool (LiteRev) for streamlining and accelerating research using natural language processing and machine learning: descriptive performance evaluation study. Journal of Medical Internet Research 2023; 25: e39736.

Papineni K., Roukos S., Ward T., Zhu WJ. Bleu: a method for automatic evaluation of machine translation. In: Proceedings of the 40th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics 2002; 311-318.

Ramos J. Using tf-idf to determine word relevance in document queries. In: Proceedings of the First Instructional Conference on Machine Learning 2003; 242(1): 29-48.

See A., Liu PJ., Manning CD. Get to the point: summarization with pointer-generator networks. arXiv preprint arXiv:1704.04368 2017.

Setiawan GH., Adnyana IM. Improving helpdesk chatbot performance with term frequency-inverse document frequency (TF-IDF) and cosine similarity models. Journal of Applied Informatics and Computing 2023; 7(2): 252-257.

Sofi SM., Selamat A. Aspect based sentiment analysis: feature extraction using latent dirichlet allocation (LDA) and term frequency-inverse document frequency (TF-IDF) in machine learning (ML). Malaysian Journal of Information and Communication Technology (MyJICT) 2023; 169-179.

Thirumahal R. TF-IDF vectorization and clustering for extractive text summarization. Journal of Information Technology and Digital World 2024; 6(1): 96-111.

Vaswani A. Attention is all you need. In: Advances in Neural Information Processing Systems 2017.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1427-1452, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1427-1452, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Seismic Risk, Structural Vulnerabilities, and Retrofitting Solutions: Lessons from the 2023 Kahramanmaraş Earthquake

Osman HANSU[1*], Aydın OĞUZ[2]

[1]Gaziantep Islam Science and Technology University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Civil Engineering Department, 27010, Gaziantep
[2]International Dublin University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, 33133, Miami, US

[1]https://orcid.org/0000-0003-1638-4304
[2]https://orcid.org/0009-0003-6124-1844
*Corresponding author: osman.hansu@gibtu.edu.tr

Research Article

Article History:
Received: 04.11.2024
Accepted: 16.03.2025
Published online:16.06.2025

Keywords:
Seismic hazard assessment
Structural vulnerability analysis
Seismic retrofitting strategies
Soil amplification effects
Base ısolation and buckling-restrained braces (BRBs)
Earthquake risk mitigation policies

ABSTRACT

The 7.8 magnitude earthquake in Kahramanmaraş, Türkiye, on February 6, 2023, exposed critical infrastructure deficiencies, particularly in areas near the East Anatolian Fault Zone. This study examines geological and structural factors that intensified the damage, including soil amplification reaching 2.5 in sedimentary basins, significantly increasing ground shaking. Structural assessments show that pre-1999 buildings had over 45% failure rates due to inadequate reinforcement and shear wall deficiencies. Using probabilistic seismic hazard analysis (PSHA) and structural performance assessments, the effectiveness of retrofitting solutions like buckling-restrained braces (BRBs) and base isolation is evaluated. A comparative analysis with Japan, the U.S. (California), and New Zealand highlights best practices for seismic resilience. The findings emphasize the need for integrating site-specific hazard assessments into Türkiye's seismic codes and enforcing large-scale retrofitting programs to mitigate future earthquake risks.

Sismik Risk, Yapısal Zafiyetler ve Güçlendirme Çözümleri: 2023 Kahramanmaraş Depreminden Çıkarılan Dersler

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 04.11.2024
Kabul tarihi:16.03.2025
Online Yayınlanma:16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Sismik tehlike değerlendirmesi
Yapısal zafiyet analizi
Sismik güçlendirme stratejileri
Zemin büyütme etkileri
Taban yalıtımı ve burkulması önlenmiş çaprazlar (BRB'ler)
Deprem riski azaltma politikaları

ÖZ

6 Şubat 2023'te Kahramanmaraş, Türkiye'de meydana gelen 7.8 büyüklüğündeki deprem, özellikle Doğu Anadolu Fayı'na yakın bölgelerde altyapıdaki ciddi eksiklikleri ortaya çıkarmıştır. Bu çalışma, alüvyonlu havzalarda 2.5'e varan zemin büyütmesi ile artan yer hareketi ve yapısal hasar gibi jeolojik ve yapısal faktörleri incelemektedir. Yapısal analizler, 1999 öncesi binaların yetersiz donatı ve kesme duvar eksiklikleri nedeniyle %45'in üzerinde hasar oranına sahip olduğunu göstermektedir. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi (PSHA) ve yapısal performans değerlendirmeleri ile Burkulması Önlenmiş Çaprazlar (BRB'ler) ve taban yalıtımı gibi güçlendirme çözümlerinin etkinliği incelenmiştir. Japonya, ABD (Kaliforniya) ve Yeni Zelanda ile yapılan karşılaştırmalı analiz, sismik dayanıklılığı artırmaya yönelik en iyi uygulamaları vurgulamaktadır. Bulgular, Türkiye'de bölgeye özgü sismik tehlike değerlendirmelerinin yönetmeliklere entegre edilmesi ve geniş ölçekli güçlendirme programlarının zorunlu hale getirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

To Cite: Hansu O., Oğuz A. Seismic Risk, Structural Vulnerabilities, and Retrofitting Solutions: Lessons from the 2023 Kahramanmaraş Earthquake. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1427-1452.

1. Introduction

On February 6, 2023, a 7.8 magnitude earthquake struck Kahramanmaraş, Türkiye, causing significant casualties and extensive infrastructure damage. This seismic event occurred along the East Anatolian Fault Zone (EAFZ), a major left-lateral strike-slip fault where the Arabian and Eurasian tectonic plates converge. Recognized as one of the most seismically active fault systems in the world, the EAFZ has a history of producing destructive earthquakes, highlighting the persistent seismic hazard in the region (Tan and Eyidoğan, 2019). The AFAD (2023) report on the earthquake confirmed that the event led to the most extensive structural damage in the region in recent history.

The Kahramanmaraş earthquake revealed serious deficiencies in the built environment, particularly among structures constructed before the implementation of modern seismic codes. These older buildings, lacking sufficient reinforcement and seismic design considerations, suffered the most extensive damage, leading to a disproportionate number of structural failures (Akıncı and Ünlügenç, 2023). Studies indicate that buildings in Türkiye constructed before 1999 have a significantly higher probability of collapse in a major earthquake due to outdated engineering practices and substandard materials (Akkuş and Kışlalıoğlu, 2023). Given that Türkiye lies within a high seismic risk zone, where both the North Anatolian and East Anatolian fault systems pose ongoing threats, the vulnerability of these structures presents a major public safety concern.

One of the primary geological factors that intensified the earthquake's impact was seismic wave amplification caused by local soil conditions. Soft sedimentary layers, particularly in urban areas developed on alluvial deposits, have been shown to increase ground motion intensity during earthquakes (Balkaya et al., 2021). This phenomenon, known as site response, occurs when seismic waves slow as they travel through loose soil, amplifying their amplitude and increasing destructive potential. Similar effects were observed during the 1985 Mexico City and 2015 Kathmandu earthquakes, where site-specific geological conditions significantly contributed to structural damage (Cárdenas et al., 1997; Chamlagain and Gautam, 2015). In Kahramanmaraş, such amplification likely played a major role in the widespread collapse of older buildings that were not designed to withstand enhanced seismic forces (Güzel and Sarp, 2024).

Beyond geological factors, engineering failures played a critical role in the extent of destruction. Despite revisions to Türkiye's seismic codes following the 1999 İzmit earthquake, enforcement remains inconsistent (AFAD, 2023). Many of the collapsed structures in Kahramanmaraş were built with substandard materials and lacked adequate reinforcement, particularly in their columns and foundations. These vulnerabilities are not unique to Türkiye; similar patterns have been observed in other seismically active regions such as Japan, United States, and New Zealand (Cilek and Ergün, 2023). However, these countries have adopted stringent building codes and extensive retrofitting programs, which have significantly reduced damage from large earthquakes (Anwar and Dong, 2020).

1.1. Comparative Analysis with other Seismic Regions

To gain insight into best practices for seismic risk management, this study compares Türkiye's current strategies with those employed in other high-risk regions. Japan, for instance, has advanced its seismic resilience efforts through the widespread adoption of base isolation systems and damping devices, particularly after the 2011 Tohoku earthquake (Nakamura et al., 2011). The United States, particularly California, implemented strict seismic codes after the 1971 San Fernando earthquake, leading to the adoption of buckling-restrained braces (BRBs) and extensive retrofitting initiatives (Hayes et al., 2024). Similarly, New Zealand introduced substantial regulatory updates following the 2011 Christchurch earthquake, prioritizing retrofitting of older buildings and strengthening critical infrastructure (Palermo et al., 2011). Table 1 presents a comparative summary of seismic mitigation measures across these regions.

Table 1: Key seismic mitigation measures in different regions

Region	Seismic Mitigation Measure	Implementation	References
Türkiye	Seismic Codes (2018 update)	Enforcement remains inconsistent; retrofitting efforts mainly focus on public buildings	(Akıncı and Ünlügenç, 2023)
Japan	Base isolation, damping systems	Extensively implemented in public and private buildings after 2011	(Nakamura et al., 2011)
United States (California)	Buckling-restrained braces (BRBs), retrofitting	Strict enforcement since 1971; BRBs widely used in high-risk areas	(Hayes et al., 2024)
New Zealand	Retrofitting of older buildings	Comprehensive program introduced after the 2011 Christchurch earthquake	(Palermo et al., 2011)

1.2. Study Objective

This study aims to analyze the key factors contributing to the destruction observed in the Kahramanmaraş earthquake, with a focus on geological amplification, engineering deficiencies, and the shortcomings of current seismic codes. Additionally, it evaluates modern seismic-resistant technologies, such as base isolation systems and BRBs, and explores their potential integration into Türkiye's existing infrastructure. By comparing Türkiye's approach to seismic risk management with other high-risk regions, the study seeks to identify strategies for improving disaster preparedness and infrastructure resilience.

The findings of this research are crucial for informing future policies in Türkiye and other earthquake-prone regions, as proactive planning, engineering innovation, and effective disaster mitigation strategies are essential to reducing both human and economic losses. Given the rapid urbanization of Türkiye and the inevitability of future seismic events, the implementation of evidence-based risk reduction measures is imperative to ensure public safety.

2. Literature Review

Seismic activity in Türkiye remains a major concern due to its complex tectonic structure, with the East Anatolian Fault Zone (EAFZ) playing a significant role in the region's seismic hazards. This fault, which forms the boundary between the Arabian and Eurasian plates, is characterized by left-lateral strike-slip motion and has a documented annual slip rate of 9–10 mm. As a result of accumulated tectonic stress, the EAFZ has experienced multiple large-magnitude earthquakes over the past century, including the devastating 7.8 magnitude event that struck Kahramanmaraş in 2023 (Tan and Eyidoğan, 2019). This earthquake was one of the most destructive in Türkiye's recent history, resulting in widespread infrastructure damage and thousands of fatalities (AFAD, 2023). Probabilistic seismic hazard assessments (PSHA) indicate that this region faces some of the highest seismic risks in the country, with peak ground accelerations (PGA) frequently exceeding 0.4g. This intensity of ground shaking significantly increases the probability of structural collapse, particularly in areas with a high density of older, non-reinforced buildings (Akıncı and Ünlügenç, 2023). The seismic hazard mapping for Kahramanmaraş (Figure 1) illustrates the spatial distribution of ground motion intensities, identifying the most vulnerable districts in terms of infrastructure damage potential.

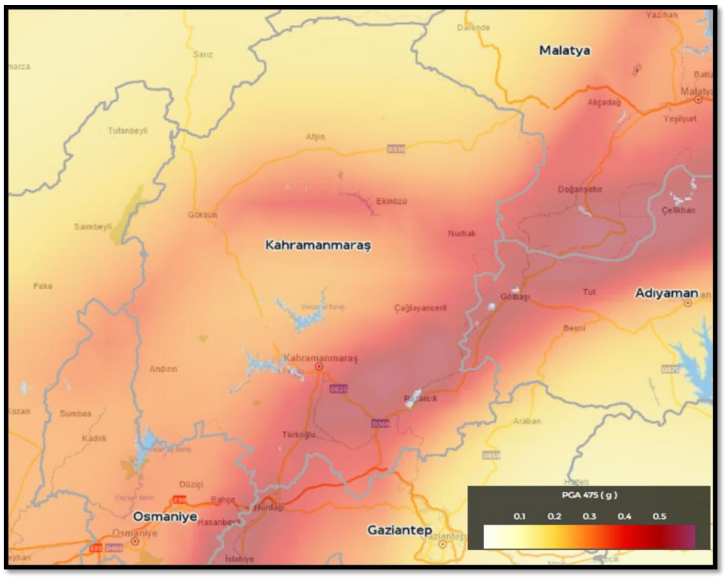


Figure 1. Seismic Hazard Mapping for Kahramanmaraş Region (AFAD, 2024)

One of the primary factors that exacerbated the damage during the 2023 earthquake was the amplification of seismic waves due to local geological conditions. In many urban areas built on soft soils, alluvial deposits, and sedimentary basins, ground shaking was intensified by up to 250% compared to areas with stable bedrock (Balkaya et al., 2021). This phenomenon occurs when seismic waves slow down as they pass through loose sediments, causing an increase in wave amplitude and energy concentration. The amplification factor of 2.5, observed in affected areas, was confirmed through geotechnical site analyses and ground motion prediction equations (GMPEs), as well as simulations using SHAKE software (Bilham, 2019; Özyazıcıoğlu et al., 2020). These findings align with previous

earthquakes where similar geological conditions played a crucial role in intensifying damage, such as the 1985 Mexico City earthquake and the 2015 Nepal earthquake (Chamlagain and Gautam, 2015; Cárdenas et al., 1997). The relationship between soil type and seismic wave amplification is further illustrated in Figure 2, demonstrating the increased hazard levels in areas with soft sedimentary formations.

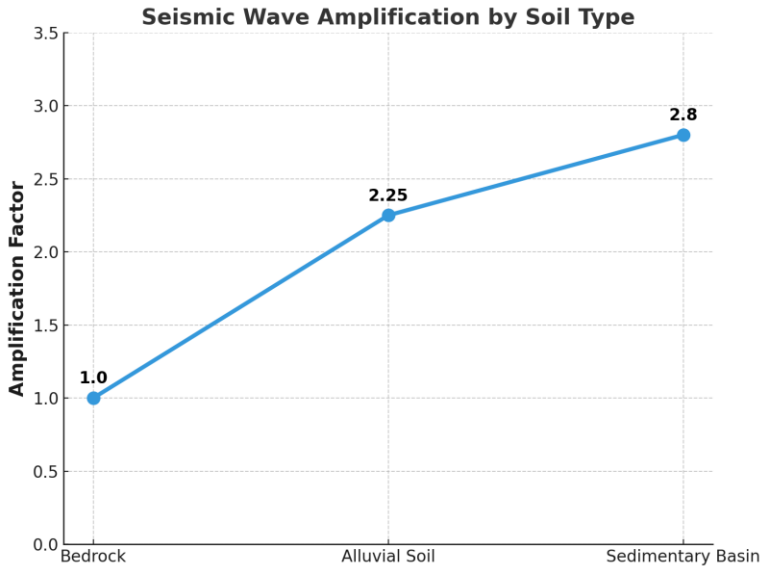


Figure 2. Seismic Wave Amplification by Soil Type (Chamlagain and Gautam, 2015; Cárdenas et al., 1997; Akıncı and Ünlügenç, 2023)

The widespread structural failures observed in Kahramanmaraş highlight long-standing vulnerabilities in Türkiye's building stock, particularly in structures constructed before the enforcement of modern seismic codes. Pre-1999 buildings, which were built before the major regulatory reforms following the 1999 İzmit earthquake, suffered the most extensive damage, with common failure mechanisms including inadequate lateral reinforcement, shear wall collapse, and column buckling (Akıncı and Ünlügenç, 2023). Post-earthquake assessments identified that 45% of structural failures were attributed to insufficient reinforcement in shear walls, while 30% were due to foundation instability and 15% resulted from buckling of poorly designed columns (Pala and Başsürücü, 2024). The prevalence of these structural deficiencies is presented in Table 2, which categorizes the most common failure mechanisms observed in the region.

Table 2. Structural Failures in Kahramanmaraş Post-Earthquake (Akıncı and Ünlügenç, 2023)

Type of Failure	Percentage of Affected Structures	Cause
Shear Failures	45%	Insufficient Reinforcement
Foundation Failures	30%	Inadequate Design
Column Buckling	15%	Substandard Materials

Despite periodic updates to Türkiye's seismic codes, enforcement remains inconsistent, and retrofitting efforts have largely been limited to public buildings. Research has shown that buildings constructed before 1999 are 50% more likely to collapse in a major earthquake compared to those built after seismic

code updates (Yılmaz, 2023). The urgency of addressing these vulnerabilities is critical, as continued reliance on outdated construction practices places thousands of lives at risk.

Comparing Türkiye's seismic mitigation strategies with those of other earthquake-prone countries reveals significant disparities in resilience measures. Japan has successfully implemented base isolation systems in both public and private infrastructure, significantly reducing structural damage in high-rise buildings during large earthquakes. Research has shown that base-isolated buildings in Japan experienced up to 60% lower peak ground accelerations during the 2011 Tohoku earthquake compared to conventional structures (Nakamura et al., 2011). Similarly, California has prioritized the use of Buckling-Restrained Braces (BRBs) for seismic strengthening, particularly in mid-rise and high-rise buildings. These braces prevent buckling under compressive forces, enabling structures to absorb seismic energy more effectively. Research indicates that buildings retrofitted with BRBs exhibit a 35–50% reduction in lateral displacement, significantly enhancing structural stability (Anwar and Dong, 2020). New Zealand has also implemented aggressive retrofitting programs following the 2011 Christchurch earthquake, mandating seismic upgrades for both public and private structures. Retrofitting solutions such as fiber-reinforced polymer (FRP) wraps and steel bracing systems have proven particularly effective in strengthening vulnerable structures without requiring extensive reconstruction (Palermo et al., 2011). The performance benefits of BRBs compared to traditional bracing systems are illustrated in Figure 3, showcasing the substantial improvements in lateral displacement control.

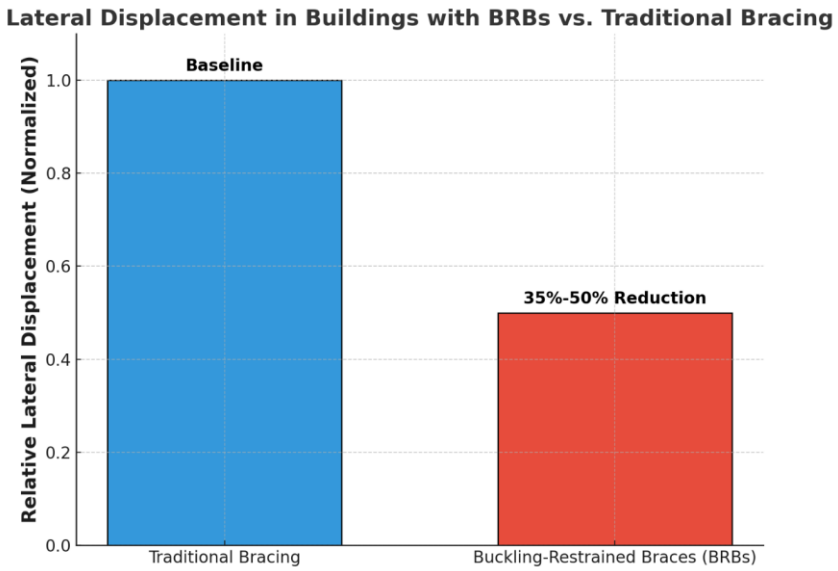


Figure 3. Lateral Displacement in Buildings with BRBs vs. Traditional Bracing (Anwar and Dong, 2020)

Similarly, the comparative effectiveness of base isolation in reducing peak horizontal accelerations and structural damage indices is summarized in Table 3.

Table 3. Structural Failures in Kahramanmaraş Post-Earthquake (Akıncı and Ünlügenç, 2023)

Building Type	Base Isolation	Peak Horizontal Acceleration (g)	Structural Damage Index
High-rise (Non-isolated)	No	0.80g	Severe
High-rise (Base-isolated)	Yes	0.35g	Minimal
Residential (Non-isolated)	No	0.75g	Moderate
Residential (Base-isolated)	Yes	0.30g	Minimal

Despite Türkiye's awareness of the importance of retrofitting in earthquake mitigation, significant gaps remain in policy implementation and funding allocation. Existing retrofitting programs have primarily focused on government buildings, while private residential structures—where the highest risk of casualties exists—remain largely unaddressed. Research suggests that a nationwide retrofitting initiative could drastically reduce earthquake-related fatalities, yet several barriers hinder widespread adoption (Kaatsız et al., 2024; Okumuş and Mangır, 2025). One of the most pressing challenges is the disparity in retrofitting efforts between urban centers and smaller municipalities. While cities such as Istanbul and Ankara benefit from state-funded seismic strengthening initiatives, smaller cities and rural communities near active fault zones receive little financial support. The vulnerability of older masonry structures in these regions remains particularly concerning, as these buildings were often constructed without adherence to modern seismic safety regulations (Güneş and Tümer, 2024; Mokarram et al., 2025). Addressing these regional disparities requires targeted policies that allocate dedicated funding for retrofitting projects in high-risk, under-resourced areas.

Another major constraint is the voluntary nature of Türkiye's current retrofitting policies. Unlike new construction, where compliance with the 2018 Turkish Seismic Code is mandatory, retrofitting remains optional, leading to low participation rates among private property owners. Financial constraints further exacerbate the issue, as the high costs associated with retrofitting deter homeowners from undertaking necessary structural improvements. Studies suggest that implementing government-backed financial incentives—such as tax reductions, low-interest loans, and direct subsidies—could significantly improve participation in retrofitting programs (Yolcu et al., 2021; Yıldırım and Tonguç, 2024). Furthermore, advancements in seismic retrofitting technologies offer cost-effective solutions that can be tailored to Türkiye's diverse building stock. Traditional methods, such as the addition of shear walls, have proven effective but are not always feasible due to cost and architectural constraints. Alternative approaches, including the use of fiber-reinforced polymers (FRPs), Buckling-Restrained Braces (BRBs), and friction dampers, provide high-efficiency solutions that improve earthquake resistance while minimizing structural modifications (Alnajjar, 2024). Friction dampers, in particular, offer an optimal solution for retrofitting industrial structures without requiring building evacuation (Yıldırım and Tonguç, 2024). Additionally, seismic bracing techniques that integrate architectural considerations provide resilience without compromising building aesthetics (Alnajjar, 2024).

Enhancing Türkiye's seismic resilience requires a comprehensive strategy that combines stricter regulatory enforcement, expanded financial assistance, and the integration of advanced engineering solutions. Mandating retrofitting for pre-1999 buildings, introducing government-backed support mechanisms, and investing in research on affordable retrofitting technologies will be essential. Additionally, training programs for engineers and construction professionals specializing in seismic retrofitting should be expanded to ensure the effective application of these solutions across the country. By reinforcing enforcement mechanisms, promoting financial incentives, and advancing state-of-the-art retrofitting technologies, Türkiye can significantly reduce seismic risks, protect human lives, and strengthen the resilience of its aging infrastructure.

3. Material and Methods

3.1. Study Area and Data Sources

This study examines the seismic vulnerability and structural resilience of Kahramanmaraş, a region located along the East Anatolian Fault Zone (EAFZ), characterized by high seismic activity and significant earthquake-induced damage. The 2023 Kahramanmaraş earthquake, with a magnitude of 7.8, underscored the critical need for seismic risk assessments and mitigation strategies in this area. The research employs an integrated methodological approach, combining seismic, geotechnical, and structural data with computational modeling techniques to provide a comprehensive analysis.

This research utilizes a diverse range of data sources to assess seismic hazard and structural vulnerability.

Seismic Data: Historical and real-time seismic records were obtained from AFAD (Disaster and Emergency Management Authority) and USGS (United States Geological Survey). These datasets include earthquake magnitude, depth, rupture characteristics, and recorded ground motion parameters. Strong motion records from regional seismological stations were incorporated to support ground motion prediction equations (GMPEs) and hazard modeling. This expanded dataset provides a robust foundation for assessing the seismic risk profile of the region.

Geotechnical Data: Borehole logs and site-specific geotechnical data, including soil stratigraphy, shear wave velocity (V_{S30}) profiles, and dynamic soil properties, were compiled from previous geotechnical investigations conducted in the region. These data were used for site response analysis and seismic wave amplification modeling, employing SHAKE software to quantify amplification effects in different soil conditions. The incorporation of site-specific V_{S30} profiling ensures a more accurate assessment of local ground motion behavior.

Structural Data: Field surveys were conducted to evaluate residential, commercial, and public buildings within the earthquake-affected districts of Kahramanmaraş. The structural assessment included building typologies, construction materials, compliance with seismic codes, and observed failure mechanisms. GIS-based mapping was employed to spatially analyze damage distributions across varying soil types

and structural configurations. This methodological refinement enhances the accuracy of the vulnerability assessment and aligns with contemporary approaches in seismic hazard research.

Computational Seismic Modeling: Finite element analysis (FEA) was used to simulate nonlinear dynamic behavior of structures under seismic loading. SeismoStruct and OpenSees were employed to model building responses under different seismic scenarios. The models were validated using post-earthquake structural damage reports and field observations.

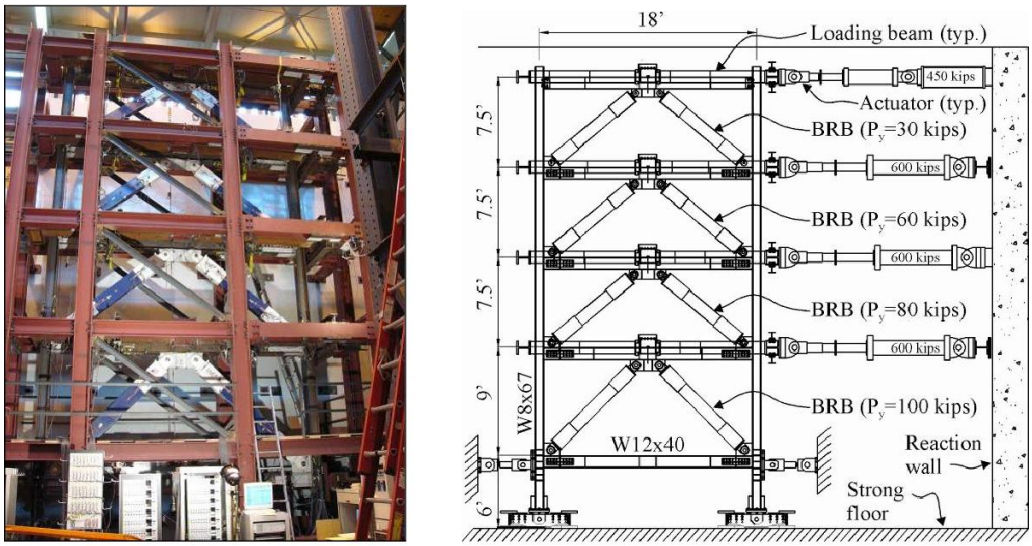
This paper prioritizes pre-1999 buildings due to their higher seismic vulnerability, as they were constructed before Türkiye's 1999 seismic code revisions, which introduced stricter building standards following the 1999 İzmit Earthquake. Conversely, post-2018 buildings were included in the dataset as they comply with the 2018 Turkish Building Seismic Code, which incorporates modern seismic design principles aligned with international standards. Buildings constructed between 1999 and 2018 were not included, as they represent a transitional period with variable compliance levels, making uniform categorization difficult. This methodological choice ensures a focused and clearly defined dataset, avoiding inconsistencies in structural classification.

3.2. Seismic Retrofitting Strategies and Structural Performance Assessment

To evaluate seismic retrofitting strategies, the study incorporates Buckling-Restrained Braces (BRBs) and Base Isolation Systems as key mitigation solutions. Structural performance assessments include computational simulations of retrofitted versus non-retrofitted structures, assessing their effectiveness in reducing lateral displacements and preventing failure mechanisms.

Buckling-Restrained Braces (BRBs) for Structural Reinforcement: BRBs are an advanced seismic retrofitting solution designed to enhance the lateral load resistance of buildings by preventing buckling under compressive forces. These systems function by incorporating a restraining mechanism that limits the local instability of the brace core, thereby improving energy dissipation during seismic events.

Figure 4 illustrates the working mechanism of a Buckling-Restrained Brace (BRB) system, highlighting its core components and structural behavior under seismic loads.



(a) Image **(b) Schematic**

Figure 4. Schematic diagram of a Buckling-Restrained Brace (BRB) system (Coy, 2007)

Base Isolation Systems for Seismic Resilience: Base isolation technology reduces earthquake forces transmitted to a structure by introducing a flexible interface between the building and the ground. Unlike conventional buildings, base-isolated structures can move independently of ground motion, minimizing the impact of seismic forces.

Figure 5 compares a conventional fixed-base structure with a base-isolated structure, demonstrating how base isolation reduces seismic accelerations and prevents structural damage.

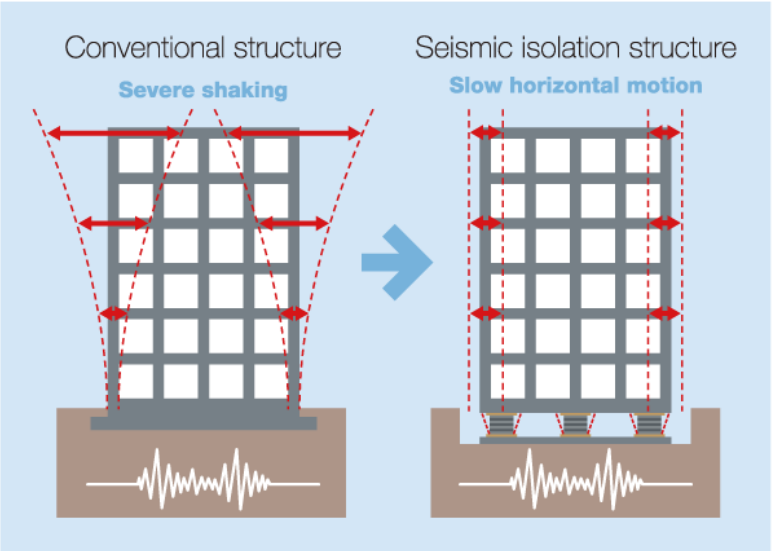


Figure 5. Conceptual illustration contrasting conventional structure and base-isolated system (VEX Education, n.d.)

3.3. Seismic Hazard Assessment

A Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) was conducted to estimate the likelihood of various levels of ground motion across the Kahramanmaraş region. This comprehensive assessment integrated several key components.

The East Anatolian Fault Zone (EAFZ), a significant left-lateral strike-slip fault, exhibits a slip rate of approximately 9–10 mm/year. The fault's geometry and segmentation were meticulously incorporated into the hazard model, as these factors critically influence rupture length and anticipated seismic magnitudes (Reilinger et al., 2006).

A comprehensive compilation of historical earthquake data was undertaken, focusing on events with magnitudes exceeding 5.5 over the past century. The Gutenberg-Richter relationship was applied to this dataset to calculate earthquake recurrence intervals, which facilitated forecasts of future seismic events (AFAD, 2023).

To estimate ground shaking intensity, region-specific Ground Motion Prediction Equations (GMPEs) were employed. The Next Generation Attenuation (NGA-West2) model was used to predict Peak Ground Acceleration (PGA) across various soil types, incorporating regional seismic characteristics (Bozorgnia et al., 2014; Parker et al., 2022).

The results from the PSHA were instrumental in generating seismic hazard curves for the region, delineating the probability of exceeding specific ground motion levels within a given time frame. The hazard maps derived from the PSHA indicated that areas near the fault could experience PGA values exceeding 0.5g during major seismic events (Stein, 1999). These findings are further detailed in Table 4, which presents the key parameters used in the PSHA model.

Table 4. Key Parameters for PSHA Model

Parameter	Value	Source
Fault Slip Rate	9–10 mm/year	(Reilinger et al., 2006)
Maximum Magnitude (Mmax)	7.8	(Stein, 1999)
Seismicity Recurrence	M > 5.5 every 50–100 years	(AFAD database, 2023)
GMPE Used	NGA-West2	(Bozorgnia et al., 2014; Parker et al., 2022)

The PSHA results highlight the critical zones where the probability of strong ground motion is highest, particularly in urban centers situated on soft soils and alluvial deposits, which are prone to amplifying seismic waves.

3.4. Site Response Analysis

A comprehensive site response analysis was conducted to assess how local soil conditions influence seismic wave amplification in the Kahramanmaraş region. This evaluation incorporated shear wave velocity (V_{S30}) measurements, SHAKE software simulations, and comparisons with empirical data from previous studies.

The average shear wave velocity in the top 30 meters of soil (V_{S30}) was measured across multiple locations. Sites with V_{S30} values below 360 m/s were identified as soft soils prone to higher seismic amplification, while areas with V_{S30} exceeding 760 m/s were classified as bedrock, exhibiting minimal amplification effects. This classification aligns with methodologies outlined by the U.S. Geological Survey (USGS, 2024).

The SHAKE2000 program was utilized to simulate the propagation of seismic waves through different soil layers. Input parameters included V_{S30} profiles, soil stratigraphy from borehole data, and recorded

ground motions. SHAKE2000 is recognized for its efficacy in equivalent-linear site response analysis (WCEE, 2017).

An amplification factor of 2.5 was determined through the following approaches:

- V_{S30} Measurements: Soft soil areas (<360 m/s) exhibited significantly higher amplification compared to bedrock sites (>760 m/s).
- SHAKE2000 Simulations: Dynamic analysis indicated that sedimentary basins could amplify seismic shaking by up to 2.5 times.
- Empirical Validation: These findings are consistent with previous studies that have established correlations between low V_{S30} values and increased seismic amplification (Mazanec et al., 2024).

These results underscore the critical importance of accounting for local soil conditions in seismic hazard assessments and have been instrumental in refining seismic hazard maps for the region. Areas identified with high amplification factors, particularly those with dense populations, are prioritized for targeted seismic risk mitigation strategies, as demonstrated in Table 5, which presents seismic wave amplification factors by geological formation.

Table 5. Seismic Wave Amplification Factors by Geological Formation

Geological Formation	V_{S30} (m/s)	Amplification Factor	Source
Bedrock	> 760	~1.0	(USGS, 2019)
Soft Soil	< 360	Up to 2.0	(Midorikawa et al., 1994)
Sedimentary Basin	Variable	Up to 3.0	(Semblat et al., 2005)

By integrating detailed V_{S30} classifications and employing SHAKE2000 simulations, this analysis provides a robust framework for understanding and mitigating seismic risks associated with local geological conditions. The findings further emphasize the need for targeted mitigation efforts in regions with soft soil and sedimentary basins, where seismic amplification poses a significant hazard.

3.5. Structural Vulnerability Assessment

Structural vulnerability was analyzed using a combination of field surveys, numerical modeling, and historical post-earthquake reports. The study focuses on pre-1999 buildings, constructed before modern seismic regulations, and post-2018 buildings, which comply with updated seismic codes. Buildings constructed between 1999 and 2018 were excluded due to inconsistent retrofitting standards and partial enforcement of seismic regulations during that period (Mazanec et al., 2024).

Numerical modeling was conducted using SeismoStruct, incorporating non-linear dynamic simulations to evaluate failure probabilities under different seismic load scenarios (Parker et al., 2022). These simulations accounted for site-specific ground motion effects and local soil amplification factors, improving the predictive accuracy of structural responses during seismic events.

Field surveys were conducted on 100 buildings, including residential and commercial properties, to identify common structural deficiencies. Observed failure mechanisms included shear wall failures,

column buckling, inadequate foundation strength, and poor material quality. The survey results highlighted that 45% of buildings exhibited shear wall deficiencies, while 30% had significant foundation issues. The observed failure patterns are summarized in Table 6 (AFAD, 2023).

Table 6. Structural Performance Analysis Results (Mazanec et al., 2024; AFAD, 2023)

Building Type	Code Compliance	Observed Failures
Pre-1999 Residential	No	Shear wall failure, column buckling
Post-2018 Residential	Yes	Minimal damage, foundation cracking
Pre-1999 Commercial	No	Foundation failure, poor lateral resistance
Post-2018 Commercial	Yes	No significant structural damage

These findings highlight the seismic vulnerability of pre-1999 structures, reinforcing the necessity for comprehensive retrofitting initiatives and improved enforcement of seismic codes in high-risk areas.

3.5. Retrofitting and Engineering Solutions

To mitigate seismic risk, the study evaluated the effectiveness of modern seismic retrofitting techniques through numerical simulations and real-world case studies. The analysis focused on two primary strategies:

1. Buckling-Restrained Braces (BRBs): BRBs are designed to absorb seismic energy by preventing the buckling of braces under compressive forces. Computational models demonstrated that buildings retrofitted with BRBs experienced a reduction in lateral displacement of up to 50% during major seismic events (Wu et al., 2025). This retrofitting method provides stable hysteretic behavior and enhanced energy dissipation capacity, improving the overall seismic resilience of structures. Figure 4 illustrates the working mechanism of BRBs.
2. Base Isolation Systems: Base isolation was evaluated for high-rise structures, where the isolation system decouples the building from ground motion, reducing peak ground accelerations by 40–60% (Ferraioli and Mandara, 2017). The study simulated the implementation of base isolation in both newly constructed and retrofitted buildings, showing significant reductions in structural damage under severe ground motion. Figure 5 presents a base-isolated structure.

Table 7. Comparison of Structural Performance Before and After Retrofitting

Building Type	Retrofitting Method	Lateral Displacement / PGA	Reduction (%)	Reference
Pre-1999 Residential	Buckling-Restrained Braces (BRB)	150 mm	50% reduction	(Wu et al., 2025)
High-rise (Non-Isolated)	Base Isolation	0.80g (PGA)	60% reduction	(Ferraioli and Mandara, 2017)

These findings underscore the importance of implementing advanced retrofitting techniques such as BRBs and base isolation systems to enhance seismic resilience. The integration of these technologies into seismic risk mitigation strategies can significantly improve building performance, particularly for pre-1999 structures that were not designed with modern seismic considerations, as demonstrated in Table 7, which compares the structural performance before and after retrofitting.

4. Results

4.1. Seismic Hazard Results

The Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) conducted for Kahramanmaraş highlights significant seismic risks across different zones of the region. The maximum Peak Ground Acceleration (PGA) in central urban areas, particularly near the East Anatolian Fault Zone (EAFZ), exceeds 0.6g, which is classified as a very high-risk zone (see Figure 6). Suburban areas farther from the fault exhibit moderate seismic risks, with PGA values ranging from 0.2g to 0.4g, emphasizing localized soil amplification effects.

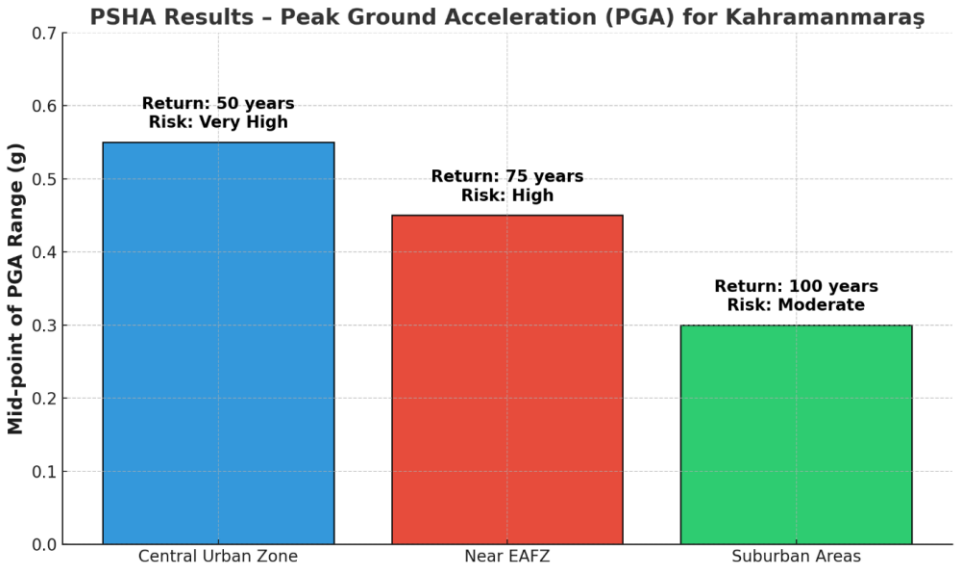


Figure 6. PSHA Results – Peak Ground Acceleration (PGA) for Kahramanmaraş

As illustrated in Figure 6, approximately 45% of the region lies within zones classified as high or very high risk, particularly in densely populated districts built on sedimentary basins and alluvial deposits. These hazard maps indicate critical areas that require targeted mitigation measures, including enhanced retrofitting programs and zoning regulations. The insights gained from the PSHA serve as foundational data for emergency response planning and infrastructure resilience strategies.

4.2. Site Response and Amplification Effects

The site response analysis identified significant amplification effects caused by local geological conditions, underscoring their impact on seismic hazard levels in the Kahramanmaraş region. As demonstrated in Figure 7, areas situated on sedimentary basins and alluvial plains exhibited amplification factors ranging from 2.0 to 3.0, amplifying seismic shaking by two to three times compared to areas with bedrock, which had an amplification factor close to 1.0.

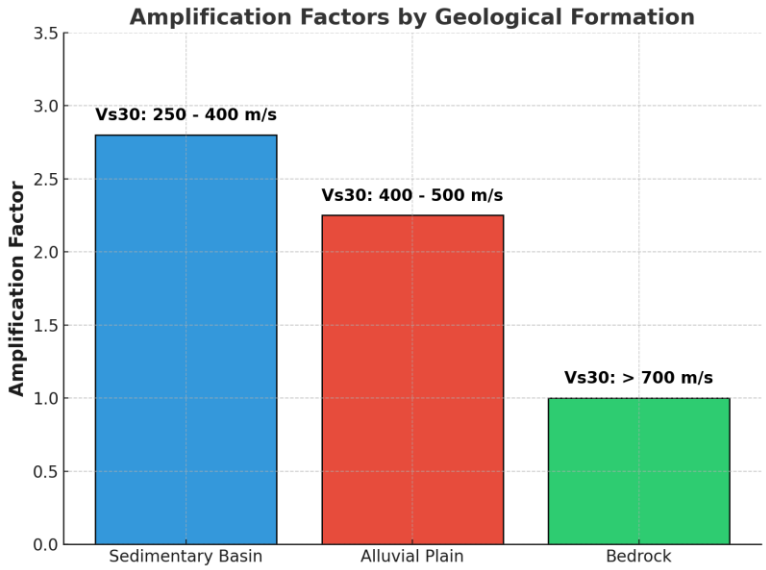


Figure 7. Amplification Factors by Geological Formation

Figure 7 illustrates that the central urban areas of Kahramanmaraş, particularly those built on sedimentary deposits, were found to be the most vulnerable, with an increase in ground shaking by 180% compared to regions with stable geological formations. These findings align with similar global observations in seismic events, such as the 1985 Mexico City earthquake and the 2015 Nepal earthquake, where local geology exacerbated seismic shaking and contributed to extensive damage (Çelebi et al., 1987; Chamlagain and Gautam, 2015).

The amplification factors exceeding 2.5 in several high-density districts highlight the urgent need for tailored engineering solutions, including seismic retrofitting and land-use zoning policies, to mitigate risks. These results reaffirm the necessity of incorporating site-specific soil conditions into seismic design codes and hazard maps for regions like Kahramanmaraş.

4.3. Seismic Hazard Results

The structural performance assessment demonstrated substantial differences between pre-1999 and post-2018 buildings in Kahramanmaraş under seismic loading. Pre-1999 buildings, constructed without modern seismic codes, exhibited high failure rates of 45% for residential and 40% for commercial structures. Failures were primarily attributed to insufficient shear reinforcement, column buckling, and inadequate foundation designs.

As shown in Figure 8, pre-1999 residential buildings experienced lateral displacements of up to 150 mm, while post-2018 structures showed a maximum displacement of 65 mm, with failure rates reduced to under 5%. Similarly, commercial buildings constructed after 2018 demonstrated a significant reduction in failure rates, with only minor non-structural damage observed.

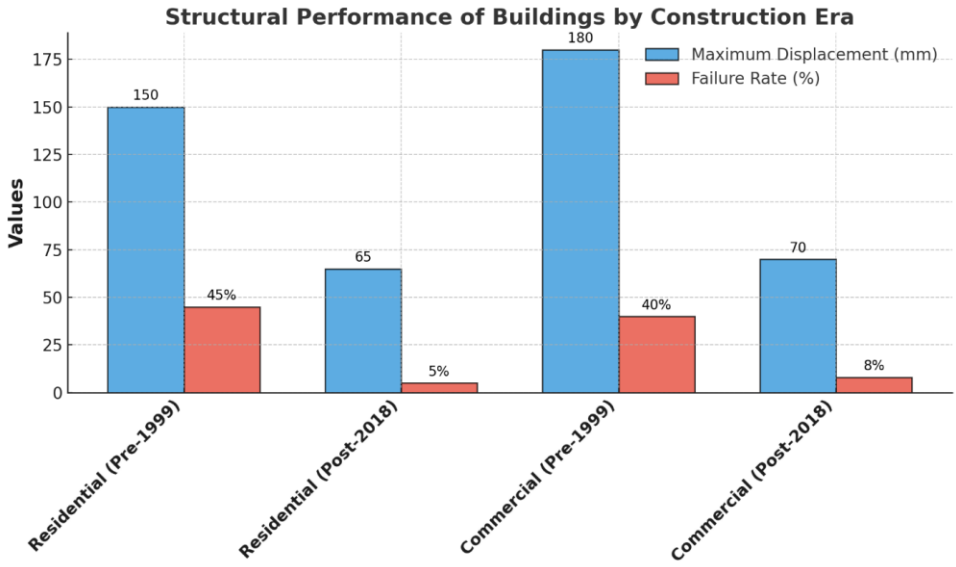


Figure 8. Structural Performance of Buildings by Construction Era

These findings reflect the impact of Türkiye's 2018 seismic code, which introduced improvements in material standards, lateral load-resisting systems, and foundation designs. They align with global observations, such as the reduced vulnerabilities seen in Mexico City after stricter seismic codes were enforced following the 1985 earthquake (Çelebi et al., 1987). This highlights the importance of retrofitting older buildings and strict compliance with modern seismic standards.

4.4. Retrofitting Effectiveness and Simulation Results

The effectiveness of retrofitting strategies in improving the seismic resilience of pre-1999 buildings in Kahramanmaraş was evaluated through simulations incorporating buckling-restrained braces (BRBs) and base isolation systems. The results demonstrated significant reductions in both lateral displacement and peak ground accelerations (PGA) for retrofitted structures.

As shown in Table 8, BRBs reduced lateral displacements by 50%, effectively lowering the risk of shear wall and column failure in mid-rise residential buildings. This retrofitting technique proved to be particularly cost-effective for residential structures, aligning with practices in California following the 1994 Northridge earthquake, where BRBs substantially enhanced the seismic performance of older buildings (Wu et al., 2025).

Base isolation systems, on the other hand, achieved up to a 60% reduction in PGA, significantly enhancing the seismic stability of large commercial and public buildings. This reduction was most pronounced in high-rise structures, where base isolation decouples the building from ground motion, minimizing the forces transmitted to the foundation. The simulation results indicated that retrofitted pre-1999 commercial buildings exhibited performance levels comparable to post-2018 constructions, underscoring the viability of retrofitting as a cost-effective strategy for seismic risk mitigation (Ferraioli and Mandara, 2017).

Table 8. Retrofitting Impact – Pre-1999 vs Retrofitted Buildings

Building Type	Retrofitting Method	Lateral Displacement Reduction (%)	Peak Acceleration Reduction (%)
Pre-1999 Residential	BRBs	50	N/A
Pre-1999 Commercial	Base Isolation	N/A	60

These findings provide critical evidence supporting the large-scale implementation of retrofitting programs in Türkiye. Retrofitted pre-1999 buildings exhibited significant improvements in seismic resilience, effectively reducing the risk of catastrophic failures during major earthquakes. The results emphasize the necessity of integrating BRBs and base isolation systems into retrofitting strategies, particularly for high-risk urban areas with dense populations.

4.5. Comparative Analysis with Global Seismic Regions

The findings from Kahramanmaraş were compared with data from other seismically active regions, such as Japan (Tokyo) and the United States (California), to highlight the differences in seismic mitigation strategies and outcomes. The comparison underscored that advanced engineering practices, such as those adopted in Japan and California, can significantly reduce building collapse rates and casualties.

As shown in Figure 9, regions with comprehensive retrofitting programs exhibit significantly lower building collapse rates and casualties compared to areas with limited mitigation efforts like Türkiye. In Japan, extensive retrofitting efforts following the 1995 Kobe earthquake prioritized base isolation systems for critical infrastructure, achieving a significant reduction in structural failures during subsequent seismic events (Nakamura et al., 2011). Similarly, California's adoption of Buckling-Restrained Braces (BRBs) after the 1994 Northridge earthquake substantially improved the seismic performance of mid-rise and high-rise buildings, reducing building collapse rates by up to 80% (Wu et al., 2025).

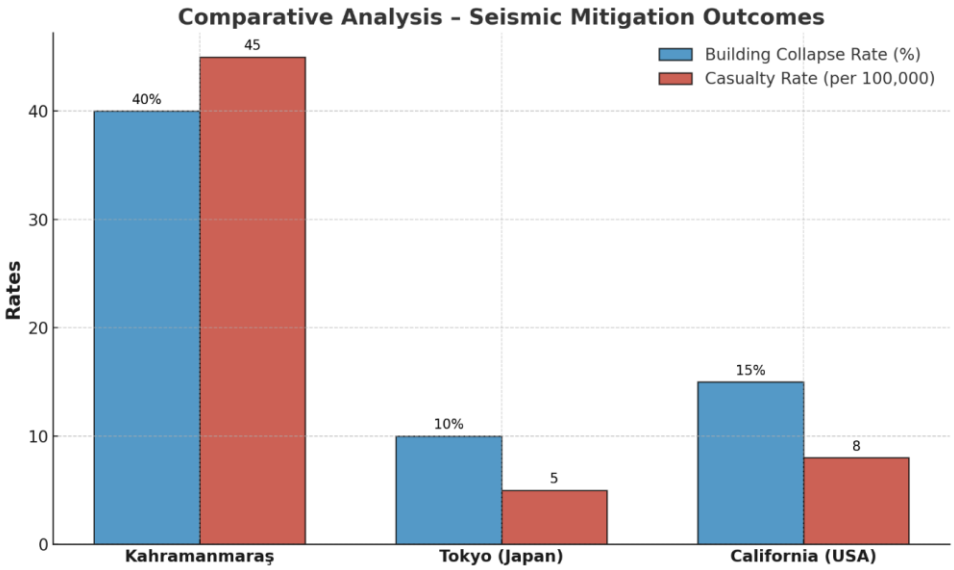


Figure 9. Comparative Analysis – Seismic Mitigation Outcomes

The comparative results also revealed that Türkiye's retrofitting initiatives remain insufficient, especially in rural areas. Unlike Tokyo and California, where government-mandated retrofitting programs have significantly enhanced building resilience, Türkiye's efforts are limited to urban centers, leaving older structures highly vulnerable. This analysis underscores the urgency for Türkiye to expand retrofitting programs nationwide to achieve seismic risk reduction on par with global benchmarks.

5. Discussion

The findings of this study provide a comprehensive evaluation of seismic hazards, structural vulnerabilities, and retrofitting strategies for Kahramanmaraş, a region that faces considerable earthquake risks due to its location along the East Anatolian Fault Zone (EAFZ). By incorporating probabilistic seismic hazard analysis, site-specific amplification modeling, and structural performance assessments, this research identifies critical weaknesses in the existing building stock while underscoring the need for immediate policy and engineering interventions to improve Türkiye's seismic resilience.

Probabilistic seismic hazard assessments indicate that central Kahramanmaraş is subject to peak ground accelerations exceeding 0.6g, comparable to those observed in major seismic events along California's San Andreas Fault (Nakamura et al., 2011; Bozorgnia et al., 2014). This highlights the necessity for stringent zoning regulations and enhanced seismic design requirements. A critical factor contributing to the region's vulnerability is local site amplification; seismic shaking in areas situated on sedimentary basins and alluvial plains is intensified compared to structures built on bedrock, exacerbating structural damage. The impact of site-specific amplification has been well-documented in other catastrophic earthquakes, such as the 1985 Mexico City and 2015 Nepal earthquakes, where soil conditions played a crucial role in the disproportionate destruction of urban districts (Çelebi et al., 1987; Chamlagain and Gautam, 2015). Türkiye's current seismic design codes do not adequately account for these site-specific

effects, leaving many structures insufficiently protected. Implementing hazard models that integrate local geological conditions, as successfully done in countries like Japan and New Zealand, would improve earthquake-resistant construction and provide more precise seismic risk assessments for urban planning (Ferraioli and Mandara, 2017).

Structural simulations reveal that pre-1999 buildings in Kahramanmaraş exhibit severe deficiencies, making them particularly susceptible to collapse during major seismic events. Common failure mechanisms include excessive lateral displacements, shear wall collapse, column buckling, and weak foundation designs. These vulnerabilities are consistent with those observed in the 1999 İzmit earthquake, where thousands of buildings suffered catastrophic failures due to outdated seismic construction practices (Ferraioli and Mandara, 2017). Given that 35–40% of Türkiye's building stock predates modern seismic regulations, these vulnerabilities present a major public safety concern. Without targeted retrofitting efforts, future earthquakes could result in large-scale destruction and human casualties (Tesfamariam and Saatcioglu, 2010; Akıncı and Ünlügenç, 2023).

Retrofitting older buildings has proven effective in reducing earthquake-induced fatalities and economic losses. Various international case studies highlight the success of large-scale government-led retrofitting programs in mitigating seismic risks. For example, California's seismic retrofit program mandates structural reinforcement for high-risk buildings, significantly reducing post-earthquake collapse rates (Parker et al., 2022). Japan has invested heavily in base isolation for public infrastructure, resulting in a substantial reduction in structural damage during major earthquakes (Nakamura et al., 2011). Similarly, New Zealand enforces mandatory retrofitting for critical infrastructure, which has improved overall urban seismic resilience (Ferraioli and Mandara, 2017). Despite growing awareness of the importance of retrofitting, Türkiye's efforts remain limited, with initiatives primarily focused on public buildings, while private residential and commercial structures remain largely unaddressed. Expanding retrofitting programs to target pre-1999 residential buildings, particularly in high-risk urban areas, must become a national priority.

However, the adoption of retrofitting in Türkiye faces significant economic and policy-related barriers. The high costs of structural strengthening make retrofitting financially inaccessible for many property owners, particularly in lower-income urban districts. Additionally, while Türkiye's seismic code mandates strict compliance for new construction, retrofitting remains voluntary, resulting in low participation rates among homeowners (Yıldırım and Tonguç, 2024). Major cities such as Istanbul and Ankara benefit from government-funded retrofitting programs, but rural and smaller urban areas receive minimal financial support, exacerbating regional disparities (Güneş and Tümer, 2024). To address these challenges, Türkiye should implement a structured financial assistance program that includes government-backed subsidies, low-interest loans, and tax incentives for property owners who undertake retrofitting measures. Public-private partnerships could also be leveraged to fund large-scale infrastructure retrofitting, while phased implementation strategies prioritizing the most at-risk structures would allow for a more cost-effective and efficient allocation of resources. These financial strategies

have been successfully implemented in other countries, leading to widespread adoption of retrofitting and long-term cost savings in post-disaster recovery (Wu et al., 2025).

A comparative analysis of global seismic risk reduction measures provides key lessons for Türkiye's earthquake preparedness strategies. Japan's government-mandated base isolation technology has played a crucial role in reducing seismic damage to critical infrastructure (Nakamura et al., 2011). California's strict enforcement of seismic strengthening for mid-rise and high-rise buildings has led to a significant reduction in failure rates (Wu et al., 2025). New Zealand introduced comprehensive building code revisions following the 2011 Christchurch earthquake, mandating retrofitting for all pre-code buildings, which significantly improved urban seismic resilience (Ferraioli and Mandara, 2017). For Türkiye to achieve similar levels of risk reduction, the government must take decisive steps toward making retrofitting a mandatory requirement for pre-1999 structures. Expanding financial support mechanisms would make retrofitting more accessible to a wider range of property owners, while revising zoning regulations to integrate local seismic amplification data would ensure that new and existing buildings meet the necessary structural demands. Public awareness campaigns on earthquake safety and disaster preparedness should also be prioritized to increase community participation in seismic risk reduction efforts.

In conclusion, addressing Türkiye's seismic risk requires a comprehensive, multi-disciplinary approach that combines engineering innovation, regulatory enforcement, and financial investment in retrofitting. By learning from successful international mitigation strategies, Türkiye can significantly reduce the risks associated with future earthquakes and protect both lives and infrastructure in high-risk regions such as Kahramanmaraş. The inevitability of future seismic events underscores the urgent need for proactive measures, ensuring that urban centers and vulnerable communities are adequately prepared for the next major earthquake.

6. Conclusion

This study provides a comprehensive evaluation of seismic hazards, structural vulnerabilities, and retrofitting strategies in Kahramanmaraş, a region at high risk due to its proximity to the East Anatolian Fault Zone. By integrating probabilistic seismic hazard analysis, site-specific amplification modeling, and structural performance simulations, this research offers valuable insights into how Türkiye can enhance its seismic resilience. The findings contribute to the broader discourse on earthquake risk mitigation by identifying key engineering and policy interventions necessary for reducing the risks associated with major seismic events (Nakamura et al., 2011; Bozorgnia et al., 2014; AFAD, 2023).

The results confirm that central Kahramanmaraş experiences peak ground accelerations exceeding 0.6g, placing it among the most seismically active regions in Türkiye (Bozorgnia et al., 2014; AFAD, 2023). In addition to inherent tectonic hazards, the region’s geological characteristics, particularly its sedimentary basins and alluvial plains, further amplify ground shaking. This amplification effect significantly increases the risk of structural damage, particularly for older buildings that were not

designed to withstand such forces. Similar amplification effects were observed in the 1985 Mexico City earthquake, where site-specific geological conditions contributed to widespread destruction (Çelebi et al., 1987). These findings underscore the urgent need for localized seismic hazard assessments and updates to building codes that account for regional amplification effects, as successfully implemented in countries like Japan and New Zealand (Nakamura et al., 2011; Ferraioli and Mandara, 2017).

Structural vulnerability assessments reveal that a significant portion of the building stock in Kahramanmaraş remains highly susceptible to collapse in the event of a major earthquake. Buildings constructed before the implementation of Türkiye's modern seismic codes in 1999 exhibit high failure rates, primarily due to inadequate lateral reinforcement, weak columns, and poor foundation strength (Tesfamariam and Saatcioglu, 2010; Akıncı and Ünlügenç, 2023). The observed structural failures during the 2023 Kahramanmaraş earthquake closely mirror those from the 1999 İzmit earthquake, which led to the collapse of approximately 60,434 buildings and resulted in over 17,000 fatalities (Wikipedia, 2025). Without targeted intervention, future earthquakes could yield similarly devastating consequences.

One of the most critical takeaways from this research is the necessity of large-scale retrofitting initiatives, particularly for mid-rise residential buildings and critical infrastructure such as hospitals, schools, and emergency response facilities. Global case studies have demonstrated the effectiveness of retrofitting in reducing structural failures and human casualties. For example, California's seismic retrofit program has significantly reduced building collapse rates in high-risk areas (Parker et al., 2022). Likewise, Japan's widespread adoption of base isolation systems has resulted in a 90% reduction in structural damage during major seismic events (Nakamura et al., 2011). However, Türkiye faces considerable economic and logistical barriers to the widespread implementation of these strategies (Nakamura et al., 2011; Ferraioli and Mandara, 2017). To overcome these challenges, a multi-faceted approach is necessary. Government-backed financial incentives, including subsidies, low-interest loans, and public-private partnerships, could make retrofitting more accessible, particularly in lower-income urban areas (Yolcu et al., 2021; Yıldırım and Tonguç, 2024). Additionally, fostering public engagement and awareness is essential for promoting a culture of earthquake preparedness and encouraging private property owners to invest in structural resilience (Nakamura et al., 2011; Wu et al., 2025).

Beyond engineering solutions, seismic resilience is also a function of governance and policy enforcement. Lessons from countries with advanced earthquake mitigation frameworks emphasize the importance of integrating seismic risk reduction strategies into urban planning. Following the 1995 Kobe earthquake, Japan implemented extensive retrofitting mandates and base isolation requirements, significantly improving building performance in subsequent seismic events (Nakamura et al., 2011). Similarly, California's seismic retrofitting regulations for mid-rise and high-rise buildings have reduced failure rates by up to 80% (Wu et al., 2025). Türkiye can benefit from adopting similar measures, particularly by making retrofitting mandatory for pre-1999 structures and ensuring that financial support mechanisms enable compliance. Expanding research into cost-effective retrofitting alternatives, such as

fiber-reinforced polymers, could provide practical solutions for under-resourced communities, ensuring that seismic resilience efforts are both effective and financially viable (Mokarram et al., 2025).

In addition to structural interventions, Türkiye must explore the integration of early warning systems and real-time seismic monitoring as part of a broader disaster risk reduction strategy (Parker et al., 2022). Advances in sensor technology and real-time data analytics have proven effective in mitigating casualties and improving emergency response in regions with mature earthquake preparedness frameworks (AFAD, 2023). Implementing similar measures in Türkiye could significantly enhance the country's ability to detect and respond to seismic events, thereby reducing the potential for large-scale human and economic losses (Hayes et al., 2024).

This study underscores the urgent need for Türkiye to strengthen its earthquake preparedness through a combination of policy enforcement, targeted retrofitting programs, and informed urban planning (Tan and Eyidoğan, 2019). The inevitability of future earthquakes necessitates a shift from reactive disaster response to proactive risk mitigation. By integrating best practices from leading earthquake-prone countries, expanding financial support for retrofitting, and fostering a culture of preparedness, Türkiye can significantly reduce the threat posed by seismic hazards. Immediate action is essential to ensure that high-risk regions like Kahramanmaraş are better protected against future earthquakes, ultimately safeguarding lives and critical infrastructure for future generations.

Acknowledgment

We extend our sincere gratitude to all individuals and organizations that provided aid and support to the victims of the Kahramanmaraş earthquake. The devastation caused by this disaster highlighted the urgent need for improved seismic resilience and motivated us to conduct this study. Through this research, we aim to contribute to the development of more effective mitigation strategies, ensuring that future earthquakes do not result in similar losses.

Conflict of Interest Statement

The authors declare that there is no conflict of interest among them.

Statement of Author Contributions

The authors declare that they have contributed equally to this manuscript.

References

AFAD (Disaster and Emergency Management Authority). 2023 Kahramanmaraş earthquake report: Seismic Impact, Structural Failures, and Policy Recommendations. Retrieved from https://tdth.afad.gov.tr. 2023.

AFAD. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması. https://tdth.afad.gov.tr/. 2024

Akıncı AC., Ünlügenç UC. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri: Sahadan jeolojik veriler, değerlendirme ve Adana için Etkileri. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi 2023; 38(2): 553–569. https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1334155

Akkuş HT., Kışlalıoğlu V. Investigating the effects of natural disasters on the stock market on a sectoral basis: The case of 2023 Kahramanmaraş/Türkiye Earthquake. International Journal of Business and Economic Studies 2023; 5(2): 141–151. https://doi.org/10.54821/uiecd.1296562

Alnajjar A. Seismic bracing for earthquake-resistant design: Architectural integration strategies. Journal of Design and Built Environment 2024; 13(1): 25–42. Retrieved from https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/3005568

Anwar GA., Dong Y. Seismic resilience of retrofitted RC buildings. Earthquake Engineering and Engineering Vibration 2020; 19(3): 561–571. https://doi.org/10.1007/s11803-020-0580-z

Balkaya M., Özden S., Akyüz HS. Morphometric and morphotectonic characteristics of Sürgü and Çardak faults (East Anatolian Fault Zone). Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences 2021; 7(2): 1–15. https://doi.org/10.28979/jarnas.939075

Bilham R. The amplification of seismic shaking by soft sediments: Lessons from Mexico City and Kathmandu. Seismological Research Letters 2019; 90(2A): 405–417. https://doi.org/10.1785/0220180232

Bozorgnia Y., Abrahamson NA., Atik LA., Ancheta TD., Atkinson GM., Baker JW., Youngs RR. NGA-West2 research project. Earthquake Spectra 2014; 30(3): 973–987. https://doi.org/10.1193/072113EQS209M

Cárdenas M., Chávez-García FJ., Gusev A. Regional amplification of ground motion in central Mexico: Results from coda-length magnitude data and preliminary modeling. Journal of Seismology 1997; 1(4): 341–355. https://doi.org/10.1023/A:1009738406881

Chamlagain D., Gautam D. Seismic hazard in the Himalayan intermontane basins: An example from Kathmandu Valley, Nepal. In: Nibanupudi H., Shaw R., editors. Mountain Hazards and Disaster Risk Reduction. Springer; 2015. p. 83–96. https://doi.org/10.1007/978-4-431-55242-0_5

Çelebi M., Dietel C., Prince J., Onate M., Chavez G. Site amplification in Mexico City (Determined from 19 September 1985 strong-motion records and from recordings of weak motions). In: Cakmak AS, editor. Developments in Geotechnical Engineering. Elsevier; 1987. Vol. 44, pp. 141–151. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-98956-7.50013-1

Cilek A., Ergün M. The impact of the 2023 Kahramanmaraş earthquake on BIST100 and BIST bank index: Evidence from Toda-Yamamoto causality test. Pressacademia 2023; 10(1): 1–10. https://doi.org/10.17261/Pressacademia.2023.1760

Coy BB. Buckling-restrained braced frame connection design and testing. In: Proceedings of a Conference; 2007. Retrieved from https://www.semanticscholar.org/paper/Buckling-Restrained-Braced-Frame-Connection-Design-Coy/9f485c3ebcb9a6198fc076a1072f7275ade01d58

Ferraioli M., Mandara A. Base isolation for seismic retrofitting of a multiple building structure: Design, construction, and assessment. Mathematical Problems in Engineering 2017. https://doi.org/10.1155/2017/4645834

Güneş O., Tümer R. Performance-based seismic retrofit design for RC frames using FRP composite materials. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 2024; 12(4): 627–642. https://doi.org/10.21923/jesd.1372646

Güzel F., Sarp G. Evaluation of the tectonic activity of faults with mineral alterations: A case of the East Anatolian Fault-Palu segment, Türkiye. Bulletin of the Mineral Research and Exploration 2024; 171: 1–15. https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.1518855

Hayes GP., Sundstrom ASB., Barnhart WD., Blanpied ML., Davis LA., Earle PS., Wolfe CJ. U.S. geological survey earthquake hazards program decadal science strategy, 2024–33. U.S. Geological Survey Circular 1544 2024. https://doi.org/10.3133/cir1544

Kaatsız K., Alıcı FS., Erberik MA. Seismic assessment of electrical equipment in power substations: A case study for circuit breakers. Turkish Journal of Civil Engineering 2024; 35(4): 49–68. https://doi.org/10.18400/tjce.1241107

Mazanec M., Valenta J., Málek J. Does VS_{30} reflect seismic amplification? Observations from the West Bohemia Seismic Network. Natural Hazards 2024; 120: 12181–12202. https://doi.org/10.1007/s11069-024-06679-x

Midorikawa S., Matsuoka M., Sakugawa K. Site effect on strong-motion records observed during the 1987 Chiba-ken-toho-oki, Japan earthquake. In: Proceedings of the 9th Japan Earthquake Engineering Symposium; 1994. 3: 85–90. Retrieved from https://iisee.kenken.go.jp/lna/download.php?cid=S1-090-2012andf=20130319cdbec86d.pdfandn=1_geomorphology_Vs_{30}.pdf

Mokarram V., Banan MR., Kheyri A. A critical evaluation of the coefficient method, capacity spectrum method, and modal pushover analysis for irregular steel buildings in seismic zones. Turkish Journal of Civil Engineering 2025; 36(1): 75–108. https://doi.org/10.18400/tjce.1422919

Nakamura Y., Hanzawa T., Hasebe M., Okada K., Kaneko M., Saruta M. Report on the effects of seismic isolation methods from the 2011 Tohoku–Pacific earthquake. Seismic Isolation and Protection Systems 2011; 2(1): 57–74. https://doi.org/10.2140/siaps.2011.2.57

Okumuş V., Mangır A. Earthquake performance analysis of a masonry school building's retrofitted state by the equivalent frame method. Turkish Journal of Civil Engineering 2025; 36(1): 29–49. https://doi.org/10.18400/tjce.1392529

Özyazıcıoğlu M., Hancılar U., Selçuk SS. Site response analysis for Kahramanmaraş, Türkiye: A seismic hazard study. Journal of Seismology 2020; 24(1): 17–29. https://doi.org/10.1007/s10950-019-09884-7

Pala M., Başsürücü M. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli depremler sonrasında Adıyaman İlindeki betonarme yapılarda oluşan hasarların malzeme ve işçilik problemlerine bağlı olarak incelenmesi.

Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2024; 11(24): 415–427. https://doi.org/10.54365/adyumbd.1550346

Palermo A., Wotherspoon L., Wood J., Chapman H., Scott A., Hogan L., Chouw N. Lessons learnt from 2011 Christchurch earthquakes: Analysis and assessment of bridges. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering 2011; 44(4): 319–333. https://doi.org/10.5459/bnzsee.44.4.319-333

Parker GA., Stewart JP., Boore DM., Atkinson GM., Hassani B. NGA-subduction global ground-motion models with regional adjustment factors. Earthquake Spectra 2022; 38(1): 456–493. https://doi.org/10.1177/87552930211034889

Reilinger R., McClusky S., Vernant P., Lawrence S., Ergintav S., Özgür E. GPS constraints on continental deformation in the Africa–Arabia–Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. Journal of Geophysical Research: Solid Earth 2006; 111(B5): B05411. https://doi.org/10.1029/2005JB004051

Semblat JF., Duval AM., Dangla P. Seismic site effects in a deep sedimentary basin: Numerical analysis and field experiment results. Journal of Seismology 2005; 9(2): 107–131. Retrieved from https://hal.science/hal-00107884/document

Stein RS. The role of stress transfer in earthquake occurrence. Nature 1999; 402: 605–609. https://doi.org/10.1038/45144

Tan A., Eyidoğan H. The kinematics of the East Anatolian Fault Zone, Eastern Turkey and seismotectonic implications. International Journal of Engineering and Applied Sciences 2019; 11(4): 494–506. https://doi.org/10.24107/ijeas.649330

Tesfamariam S., Saatcioglu M. Seismic vulnerability assessment of reinforced concrete buildings using hierarchical fuzzy rule base modeling. Earthquake Spectra 2010; 26(1): 235–256. https://doi.org/10.1193/1.3280115

U.S. Geological Survey. Vs_{30} Models and Data. USGS 2019. Retrieved from https://earthquake.usgs.gov/data/vs30

U.S. Geological Survey. Seismic hazard assessment and site response analysis methods. U.S. Geological Survey Publications 2024. Retrieved from https://pubs.usgs.gov/publication/70041709

VEX Education. San Francisco and seismic isolators. VEX Robotics Education [no date]. Retrieved from https://education.vex.com/stemlabs/iq/stem-labs/tallest-tower/san-francisco-and-seismic-isolators

Wikipedia. 1999 İzmit earthquake. Wikipedia 2025. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/1999_%C4%B0zmit_earthquake

World Conference on Earthquake Engineering. SHAKE2000: Equivalent-linear site response analysis and its applications. 16WCEE, Paper #798. 2017. Retrieved from https://www.wcee.nicee.org/wcee/article/16WCEE/WCEE2017-798.pdf

Wu K., Wei G., Lin C., Zhang L., Yu W., Lan X. Experimental study on the seismic performance of buckling-restrained braces with different lengths. Buildings 2025; 15(2): 154. https://doi.org/10.3390/buildings15020154

Yıldırım S., Tonguç Yİ. An innovative retrofitting technique of an industrial prefabricated building without evacuation. Academic Platform Journal of Natural Hazards and Disaster Management 2024; 5(1): 1–29. https://doi.org/10.52114/apjhad.1328346

Yilmaz DG. Geçmiş depremlerden 2023 Kahramanmaraş depremlerine: Neden afete karşı hazır değiliz? Afet ve Risk Dergisi 2023; 6(3): 1009–1023. https://doi.org/10.35341/afet.1258947

Yolcu A., Tanırcan G., Tüzün C. Acceleration displacement response spectra for design of seismic isolation systems in Turkey. Teknik Dergi 2021; 32(2): 10629–10644. https://doi.org/10.18400/tekderg.511798

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1453-1463, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1453-1463, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Isolation and Identification of Bacteriocin Producers from Bayburt Local Fermented Dairy and Characterization of Bacteriocins

Halil İbrahim KAYA[1*]

[1]Bayburt University, Social Sciences Vocational School, Hotel, Restaurant and Catering Department, 69010, Bayburt

[1]https://orcid.org/0000-0002-1837-5682
*Correspondig author: drhikaya@gmail.com

Research Article

Article History:
Received: 09.08.2024
Accepted: 18.03.2025
Published online:16.06.2025

Keywords:
Antimicrobial
Bacteriocin
Bayburt
Fermented dairy
Lactic acid bacteria (LAB)

ABSTRACT

Lactic acid bacteria (LAB) have antimicrobial activity, in addition to other antimicrobial agents, mainly due to the bacteriocins that they produce. Using bacteriocins in the production of foods has considerable contributions to improving food safety and extending shelf life. One of the essential characteristics of bacteriocins is that they have structural variations according to the variety of producers and, accordingly, they have different antimicrobial activity spectrums. Therefore, new bacteriocins still need to be investigated and characterized. In this study, bacteriocin-producing LAB were isolated from the local fermented dairy of Bayburt and these bacteria were identified. The antimicrobial spectrum of bacteriocin-producing strains was then determined and their sensitivity to different temperatures and enzymes was characterized. Bacteriocin-producing LAB were identified as *Lactobacillus plantarum*, *Pediococcus pentosaceus* and *Enterococuus faecium*, respectively. These strains were found to be antibacterial against 7, 6 and 4 different indicators, respectively. All bacteriocins produced by LAB were found to lose their bacteriocin-derived activity when treated with proteolytic enzymes and to be in protein structure. They were found to be stable after 100 °C for 10 minutes, 80 °C for 10 minutes and 80 °C for 15 minutes heat treatment, respectively, they retained their antimicrobial activity.

Bayburt Yöresel Fermente Süt Ürünlerinden Bakteriyosin Üreticilerinin İzolasyonu, Tanımlanması ve Bakteriyosinlerin Karakterizasyonu

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 09.08.2024
Kabul tarihi: 18.03.2025
Online Yayınlanma:16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Antimikrobiyal
Bakteriyosin
Bayburt
Fermente süt ürünü
Laktik asit bakterileri (LAB)

ÖZ

Laktik asit bakterileri (LAB), diğer antimikrobiyallerin dışında özellikle ürettikleri bakteriyosinler nedeniyle de antimikrobiyal aktiviteye sahiptir. Bakteriyosinlerin gıda üretiminde kullanılması, gıda güvenliğinin iyileştirilmesi ve raf ömrünün uzatılmasına önemli katkılar sağlamaktadır. Bakteriyosinlerin temel özelliklerinden biri, üreticilerin çeşitliliğine göre yapısal varyasyonlara sahip olmaları ve buna bağlı olarak farklı antimikrobiyal aktivite spektrumlarına sahip olmalarıdır. Bu nedenle, yeni bakteriyosinlerin araştırılması ve karakterize edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Bayburt'un yerel fermente süt ürünlerinden bakteriyosin üreten LAB izole edilmiş ve bu bakteriler tanımlanmıştır. Daha sonra bakteriyosin üreten suşların antimikrobiyal spektrumu belirlenmiş ve farklı sıcaklık ve enzimlere karşı duyarlılıkları karakterize edilmiştir. Bakteriyosin üreten LAB sırasıyla *Lactobacillus plantarum*, *Pediococcus pentosaceus* ve *Enterococuus faecium* olarak tanımlanmıştır. Bu suşların sırasıyla 7, 6 ve 4 farklı indikatöre karşı antibakteriyel olduğu bulunmuştur. LAB tarafından üretilen bütün bakteriyosinlerin proteolitik enzimlerle muamele edildiklerinde bakteriyosinlerden kaynaklı aktivitelerini kaybettikleri ve protein yapısında

oldukları belirlenmiştir. Bunların sırasıyla, 100 °C 10 dakika, 80 °C 10 dakika ve 80 °C 15 dakika ısıl işlem sonrasında stabil olduğu, yani antimikrobiyal aktivitelerini koruduğu tespit edilmiştir.

To Cite: Kaya HI. Isolation and Identification of Bacteriocin Producers from Bayburt Local Fermented Dairy and Characterization of Bacteriocins. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1453-1463.

1. Introduction

The use of antimicrobials in the food industry is essential in terms of both reducing microbial load and extending shelf life. These substances prevent the risk of microbial spoilage or disease and enable the production of safer foods. The use of chemical preservatives at an industrial scale in food production is widespread. However, increasing consumer sensitivity to chemical food additives prioritizes studies on the detection of natural antimicrobial substances. Lactic acid bacteria (LAB), the main members of the microflora of many fermented foods, also have important potential for food preservation with the bacteriocins they produce. Due to the rapidly increasing microbial resistance to bacteriocins allowed in food production and the insufficient antimicrobial spectrum of these bacteriocins, identification and characterization of new different bacteriocins has become imperative. All living beings produce antibacterial proteins, many of which are called antibacterial peptides due to their small molecular mass (Chikindas et al., 2018). Bacteriocins are antibacterial metabolites in peptides or proteins synthesized ribosomally by various bacteria and secreted extracellularly into the environment. They generally inhibit closely related species (Zou et al., 2018). Gram-positive, and Gram-negative bacteria and archaea have also been found to produce bacteriocins (Juturu and Wu, 2018). Bacteriocins act by inhibiting or stopping the growth of prokaryotes and are also effective against some antibiotic-resistant pathogens. (Zou et al., 2018). Many different bacteria produce bacteriocins; they have been reported to be effective against bacteria that are pathogenic to humans and animals, especially vancomycin-resistant enterococci (VRE) and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA), and do not show toxicity (Ahmad et al., 2017, Zou et al., 2018). Bacteriocins also promote the growth of beneficial bacteria (Balciunas et al., 2013). The first bacteriocin identified was colicin, an antibacterial protein produced by *Escherichia coli* in a study conducted by Gratia in 1925 (Cavera et al., 2015, Juturu and Wu, 2018). In recent years, the search for alternative bacteriocins to other commercially used bacteriocins has been ongoing. Detailed biochemical and genetic characterization of pediocin and lacticin bacteriocins produced from *Pediococcus acidilactici* and *Lactococcus lactis* strains have been completed and they are two bacteriocins ready for industrial use (Papagianni and Anastasiadou, 2009; Bierbaum and Sahl, 2009). However, the isolation of different bacteriocin-producing strains from fermented foods rich in LAB and the characterization of the bacteriocins produced need to be continued and new bacteriocins need to be discovered.

The use of bacteriocins for food preservation began with their authorization by the US Food and Drug Administration (FDA). Today, nisin is used in the preservation of many foods, especially milk and dairy, canned foods and baby food. However, it has become clear that some fundamental problems limit its use as a preservative in foods. The most important of these problems are; high production costs due to

low production rates by producer strains and rapid resistance to pathogenic and spoilage-causing microorganisms in the microflora of foods. The isolation of LAB with different characteristics from local fermented foods with rich diversity and the determination of their antimicrobial properties is one of the most effective ways to solve this problem. To date, many bacteriocins produced by LAB have been identified. These studies have shown that the antimicrobial activities of bacteriocins have strain specificity and have led to the thesis of using bacteriocins specific to pathogens found in food systems (Hill et al., 2011). Therefore, the identification of new bacteriocins is one of the main targets to stop new pathogens that have developed in recent years. In this study, isolation and identification of bacteriocin-producing LAB from Bayburt local fermented milk products and characterisation of bacteriocins produced by LAB were carried out in the light of suggestions that may constitute a solution to some of the problems listed above.

2. Material and Methods

2.1. Microorganisms and growth conditions

Indicator bacteria (Table 1) used in the study were obtained from Pamukkale University Food Engineering Culture Collection (PUFECC). All strains were stored at -80 °C in glycerol with a final concentration of 30%. Indicators were grown in Brain Hearth Infusion (BHI, Merck, Darmstadt, Germany) medium incubated at 30 and 37 °C for 18 hours. Among LAB strains, lactobacilli were grown in de-Man Rogosa and Sharpe (MRS, Merck, Darmstadt, Germany) and lactococci were grown in M17 Glucose (M17G, 0.5% glucose, Merck, Darmstadt, Germany) medium supplemented with 0.5% glucose at 30 °C.

Table 1. Indicator bacteria used in the study

Code	Indıcator bacteria
PUS1	*Micrococcus luteus* DSM1790
PSC16	*Listeria monocytogenes* ATCC7644
PSC19	*Staphlococcus aureus* ATCC25923
PSC22	*Escherichia coli* ATCC25922
PSC25	*Enterobacter cloacae* ATCC23355
PSC31	*Enterococcus faecalis* ATCC19433
PSC37	*Pseudomonas aeruginosa* ATCC19433

2.2. Isolation of antibacterial LAB strains

A total of 30 cheese samples of 11 different varieties and 4 different village butter samples were used for the isolation of antibacterial-effective LABs. M17G agar and MRS agar media were used for the isolation of lactococci, streptococci and lactobacilli, respectively. MRS and M17G agar media were inoculated with appropriate dilutions and incubated at 30 °C for 48 hours. After this step, soft agar medium inoculated with each indicator bacteria (*Micrococcus luteus* DSM1790-PUS1 and *Escherichia coli* ATCC25922-PSC22) was slowly poured onto the Petri dishes containing approximately 30

colonies. The petri dishes were then incubated at 37 °C for 24 hours. At the end of incubation, the colonies forming a clear zone around the colonies were removed with a sterile core and grown in MRS and M17G liquid medium for 48 hours at 30 °C and stored at -80 °C in glycerol with a final concentration of 30%.

2.3. Identification of LAB with MALDI-TOF-MS

For the identification of LAB, the direct transfer method using MALDI-TOF-MS was preferred (MALDI TOF/TOF-MS Biotyper System, Bruker Autoflex Speed, Billerica, MA, USA). The identification analysis was carried out by Bolu Abant İzeet Baysal University, BETUM (Scientific, Industrial and Technological Application and Research Center). Identification was performed from fresh colonies grown on a solid medium (12-18 hours). A single colony selected from the solid medium was smeared as a thin layer on the target spot and then allowed to dry at room temperature. Then 1 µL of matrix solution (HCCA Matrix Solution, Sigma Aldrich, St. Louis, Missouri, USA) was added and allowed to dry at room temperature. The spots prepared in this way was loaded into the device and the reading was performed (Nacef et al., 2017; Karasu-Yalcin et al., 2021).

2.4. Determination of the antibacterial spectrum of LAB isolates

The antibacterial activity of 3 LAB isolates, which were isolated from different cheeses and village butter and whose highest antibacterial activity was confirmed, against 7 different indicators was determined by well diffusion method (Tagg and McGiven 1971, Kaya and Simsek 2019). LAB isolates grown in the medium for 18 hours at 30 °C were subjected to centrifugation (Hettich Universal 30 RF, Kirchlengern, Germany) at 6000 g for 15 min. The cell-free culture supernatant (contain active substances and bacteriocins) was transferred to new tubes, taking care not to mix the precipitated solid phase, adjusted to pH 6 using 6N NaOH and passed through a 0,45 µm pore diameter membrane filter (Merck, Millipore, Burlington, Massachusetts, USA). Suspensions of indicator bacteria grown separately in BHI liquid medium were inoculated into 7 mL of soft BHI agar medium containing 0,7% agar and poured homogeneously as a second layer on plates containing Nutrirent agar (Merck, Darmstadt, Germany). Following the solidification of the agar, wells with a diameter of 5 mm were made using a sterile glass Pasteur pipette, and the filtered bacterial cell-free culture supernatant were filled into the wells at the rate of 100 µL. At the end of the incubation periods, the inhibition zone formation around the wells was examined and the results were recorded.

2.5. Determination of the sensitivity of antibacterial metabolites produced by LAB isolates to enzymes

Advanced identification of bacteriocins produced in bacteriocin-producing LAB strains was based on their behavior against different enzymes. The effect of enzymes on bacteriocin activity was characterized using the cell-free culture supernatant of these media. Trypsin (pH 7.0 Merck, Germany), α-chemotrypsin (pH 7.0 Sigma Chem. Co., St. Louis, Missouri, USA), proteinase K (pH 7.0 Sigma

Chem. Co., St. Louis, Missouri, USA), pepsin (pH 3.0 Sigma Chem. Co., St. Louis, Missouri, USA) and catalase (pH 7.0 Sigma Chem. Co., St. Louis, Missouri, USA) enzymes were added to neutralized culture cell-free culture supernatants at a final enzyme concentration of 1 mg mL-1 and incubated at 30 °C for 2 hours. Enzyme activities were terminated by heat treatment at 100 °C for 5 minutes. The effect of the enzymes was determined by testing samples of these mediums against susceptible indicator bacteria. Cell-free culture supernatant s without enzyme treatment were used as controls. The effect of enzymes on bacteriocin activity was determined by well diffusion method (Tagg and McGiven 1971; Kaya and Simsek, 2019). Bacteriocin activity was determined as described in section 2.4.

2.6. Determination of the sensitivity of antibacterial metabolites produced by LAB isolates to temperature

Advanced identification of bacteriocins produced in bacteriocin-producing LAB strains was based on their behavior against different temperature treatments. The effect of temperature on bacteriocin activity was determined by subjecting the medium to temperature treatment in a water bath (Memmert, Schwabach, Germany) at 80, 90, 100 °C for 5, 10, 15 minutes and in an autoclave (Hirayama HV-50L, Minato City, Tokyo, Japan) at 121 °C for 15 minutes and then testing the samples taken from this medium against susceptible indicator bacteria. Untreated cell-free culture supernatants were used as controls. The effect of temperature on bacteriocin activity was determined by the well diffusion method (Tagg and McGiven, 1971; Kaya and Simsek, 2019). Bacteriocin activity was determined as described in section 2.4.

3. Results

3.1. Isolation and identification of LABs

Milk and dairy constitute the most important source of bacteriocin-producing LAB. Many bacteriocin-producing LAB have been isolated from milk and fermented dairy from the past to the present. Our country has a very rich variety of milk and dairy. For this reason, cheese varieties and butter produced traditionally in Bayburt province were preferred for the isolation of bacteriocin-producing LAB in this study. LAB was isolated from 34 different fermented dairy. These consisted of 8 different farm cheeses, 4 different Civil cheeses, 4 different Göğermiş cheese, 4 different Kerti Lor cheese, 3 different Tulum cheese, 2 different fresh lor cheese, Kavram lor cheese, Kol cheese, Acı cheese, Sinop cheese, Kuymak cheese and 4 different farm butter.

As a result of the isolations, 2 isolates with antimicrobial activity against *E. coli* and 1 isolate with antimicrobial activity against *M. luteus* were obtained in MRS and M17G media (Table 2, Figure 1). These isolates were obtained from Civil and Tulum cheeses.

Table 2. Isolates with antibacterial activity

Dairy-Code	Isolation Code	Indicator
Civil Cheese P14	P14	PUS1
Tulum Cheese P22	P22-1	PSC22
Tulum Cheese P22	P22-2	PSC22

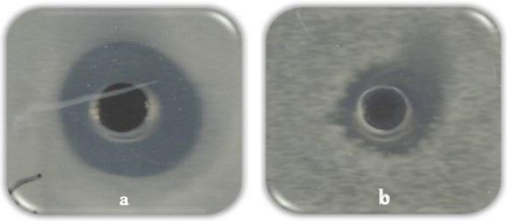


Figure 1. Antibacterial effect of cell-free culture supernatants of P14 (a) ve P22-1 (b) isolates against indicator bacterial strains (*M. luteus,* and *E. coli*)

LAB counts of cheese and butter samples were also performed on the medium used for the isolation of LAB. As a result of the counting performed for this purpose, the lowest number of lactococci and streptococci in M17G medium was 4.35, the highest was 7.69 and the average was 6.28 log CFU/g, while the lowest number of lactobacilli in MRS medium was 4.19, the highest was 7.36 and the average was 5.59 log CFU/g.

The MALDI BioTyper software, version 3.1 (Bruker Daltonics, Bremen, Germany) was used to process the raw spectra and to compare the spectra in order to classify the LAB strains. Strain P14 isolated from Civil cheese was identified as *Lactobacillus plantarum* (1.722 Score Value, NCBI Identifier 1590), while strains P22-1 and P22-2 isolated from Tulum cheese were identified as *Pediococcus pentosaceus* (1,989 Score Value, NCBI Identifier 1255) and *Enterococuus faecium* (2,002 Score Value, NCBI Identifier 1352).

3.2. Antibacterial spectrum of LAB strains

The antibacterial activity spectrum of 3 different isolates isolated from various fermented dairy against 7 different indicator bacterial species is given in Table 3.

Table 3. Antibacterial spectrum of the LAB strains

	Indicator bacteria diameter zone (mm)						
Isolate code	***M. luteus***	***L. monocytogenes***	***S. aureus***	***E. coli***	***E. cloacae***	***E. faecalis***	***P. aeruginosa***
L. plantarum	8.5	15	12.5	15	15	10.5	10.25
P. pentosaceus	-	10	10	11.5	10.5	9.5	9
E. faecium	-	8.5	-	9	9.25	-	8

Zone diameters: <1mm (no effect), 1-5 mm (low effect), 5-10 mm (medium effect),> 15 mm (high effect)

The cell-free culture supernatant of *L. plantarum* isolate from Civil cheese was found to be highly antibacterial against *L. monocytogenes, E. coli* and *E. cloacae* and moderately antibacterial against *M. luteus, S. aureus, E. faecalis* and *P. aeruginosa* strains. *P. pentosaceus* isolate isolated from Tulum cheese was found to be moderately antibacterial against six different indicators except *M. luteus* strain. *E. faecium* isolate, another isolate isolated from Tulum cheese, was found to be moderately antibacterial against *L. monocytogenes, E. coli, E. cloacae* and *P. aeruginosa*.

3.3. Effect of enzymes on cell-free culture supernatants *of LAB strains*

The activity changes of the antimicrobial metabolite produced by LAB strains isolated from Bayburt local dairy after treatment with different enzymes are shown in Table 4. Accordingly, the antimicrobial activity of the cell-free culture supernatants of all strains was found to decrease when treated with one or more of the proteolytic enzymes. On the contrary, the antimicrobial activity of the cell-free culture supernatant of all strains was maintained after treatment with the catalase enzyme. As a result of treatment with protease enzymes, activity losses occurred in cell-free culture supernatant and even disappeared completely. In particular, the loss of antimicrobial activity upon treatment with proteinase K enzyme indicates that this antimicrobial metabolite contains a protein-containing structure. Similarly, pepsin, trypsin and α-chemotryptipsin caused a decrease in antimicrobial activity in some cell-free culture supernatants, confirming the protein nature of the antimicrobial metabolite.

Table 4. Antibacterial activity of LAB strains after enzyme treatments.

Application→ / **Isolates ↓**	**Control**	**α Chemotrypsin**	**Pepsin**	**Proteinase K**	**Trypsin**	**Catalase**
L. plantarum	12.65	10.50	5.50	10.50	6.00	12.50
P. pentosaceus	17.15	12.50	13.50	12.50	14.50	17.25
E. faecium	8.65	7.50	7.50	8.50	7.50	8.50

Zone diameters: <1mm (no effect), 1-5 mm (low effect), 5-10 mm (medium effect),> 15 mm (high effect)

3.4. *Effect of temperatures on* cell-free culture supernatant*s of LAB strains*

The antimicrobial activity changes of the metabolite in the cell-free culture supernatant of LAB strains isolated from Bayburt local dairy at 80, 100 and 121°C temperatures and different time combinations are given in Table 5. As seen from this table, the antimicrobial metabolite in the cell-free culture supernatant of *L. plantarum* was stable at 80 and 100°C, and activity was lost at 121°C. The decrease in antimicrobial activity was also valid for the culture cell-free culture supernatants of *P. pentosaceus* and *E. faecium* strains. The antimicrobial activity of the cell-free culture supernatants of *P. pentosaceus* and *E. faecium* strains was lost at the end of all temperatures applied at 100 and 121°C.

Table 5. Antibacterial activity of LAB strains after heat treatment

		80˚C			100˚C			121˚C
Application→	**Control**	**5 min**	**10 min**	**15 min**	**5 min**	**10 min**	**15 min**	**15 min**
Isolates ↓								
L. plantarum	12.8	10.55	9.9	8.85	8	6	0	0
P. pentosaceus	10	8	6	0	0	0	0	0
E. faecium	19	15	13.5	11	0	0	0	0

Zone diameters: <1mm (no effect), 1-5 mm (low effect), 5-10 mm (medium effect),> 15 mm (high effect)

4. Discussion

In this study, isolation and identification of bacteriocin-producing LAB from Bayburt local fermented dairy was carried out for the first time. In this context, the activity spectrum of these bacteria was first determined and then the stability of bacteriocins against various temperature and enzyme treatments was investigated.

It has been reported in many studies that LAB isolated from different sources have various levels of antibacterial activity due to the various metabolites (lactic acid, H_2O_2, diacetyl and bacteriocin) they produce (De Vuyst and Leroy, 2007; Kaya and Simsek, 2019; Wang et al. 2024). However, the antimicrobial activity of LAB has generally been attributed to two main modes, including the effect of organic acid and bacteriocin. (Hassan et al., 2012; Chen et al. 2022). Due to the bacteriocins produced by LAB, research has focused on this subject, many studies have been carried out by researchers and thousands of bacteriocins and bacteriocin producers have been reported so far. On the other hand, the antibacterial spectrum varies depending on the diversity of bacteriocins produced by lactic strains. This is because bacteriocins show strain-specific properties depending on the mechanism of action (Dobson et al., 2012; Darbandi et al. 2022). In particular, the fact that three different isolates were effective against gram-negative indicator bacteria at medium and above levels shows that this study has achieved the desired results. It was determined that bacteriocins were similar to other bacteriocins reported in the literature with their behavior against temperature and enzyme applications. In various studies, it has been reported that bacteriocins are sensitive to proteolytic enzymes in bacteriocin characterization steps and decrease in antimicrobial activity, especially when treated with proteolytic enzymes (Lü et al., 2014; Woraprayote et al., 2015; Hu et al., 2017; Zangeneh et al., 2020). When compared with bacteriocin characterisation studies in the literature, metabolites in cell-free culture supernatants contained peptide or protein structures and thus supported that they were bacteriocins.

5. Conclusion

In this study, identification of bacteriocin-producing LAB isolated from Bayburt local fermented milk products, antimicrobial spectrum and characterization of bacteriocins were carried out for the first time. The use of bacteriocins or bacteriocin producers in foods has been recognized as one of the alternative natural preservation methods to ensure consumer and product safety. Especially since these strains are

isolated from fermented food products, they can be used in the preparation of various fermented products that are very important in terms of nutrition. The data obtained will both contribute to the literature and serve as a source for future studies. The identified LAB strains were preserved in the culture collection. The genes associated with bacteriocins have been protected.

Acknowledgement

This study was carried out with the support provided by Bayburt University, Scientific Research Projects Unit, project number 2020/01-69001-10.

Authors contribution

The design, execution, and interpretation of experimental studies, as well as the writing of the article, were done by the corresponding author.

Declaration of ethical code

The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethics committee approval and/or legal-special permission.

Conflicts of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

References

Ahmad V., Khan MS., Jamal QMS., Alzohairy MA., Karaawi MAA., Siddiqui MU. Antimicrobial potential of bacteriocins: in therapy, agriculture and food preservation. International Journal of Antimicrobial Agents 2017; 49: 1-11.

Balciunas EM., Martinez FAC., Todorov SD., Franco BDGM., Converti A., Oliveira RPS. Novel biotechnological applications of bacteriocins: A review. Food Control 2013; 32: 134-142.

Bierbaum G., Sahl HG. Lantibiotics: mode of action, biosynthesis and bioengineering. Current Pharmaceutical Biotechnology, 2009; 10(1): 2-18.

Cavera VL., Arthura TD., Kashtanov D., Chikindas ML. Bacteriocins and their position in the next wave of conventional antibiotics. International Journal of Antimicrobial Agents 2015; 46: 494–501.

Chen J., Pang H., Wang L., Ma C., Wu G., Liu Y., Guan Y., Zhang M., Qin G., Tan Z. Bacteriocin-producing lactic acid bacteria strains with antimicrobial activity screened from Bamei Pig feces. Foods 2022; 11(5): 709.

Chikindas ML., Weeks R., Drider D., Chistyakov VA., Dicks LMT. Functions and emerging applications of bacteriocins. Current Opinion in Biotechnology 2018; 49: 23–28.

De Vuyst L., Leroy F. Bacteriocins from lactic acid bacteria: production, purification, and food applications. Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology 2007; 13: 194–199.

Darbandi A., Asadi A., Mahdizade Ari M., Ohadi E., Talebi M., Halaj Zadeh M., Darb Emamie A., Ghanavati R., Kakanj M. Bacteriocins: Properties and potential use as antimicrobials. J Clin Lab Anal 2022; 36: 24093.

Dobson A., Cotter PD., Ross RP., Hill C. Bacteriocin production: a probiotic trait? Applied and Environmental Microbiology 2012; 78(1): 1-6.

Gratia A. Sur un remarquable exemple d'antagonisime entr deux souches do Colibacille. Comptes Rendus des séances de la Société de Biologie 1925; 93: 1040–1041.

Hassan M., Kjos M., Nes IF., Diep DB., Lotfipour F. Natural antimicrobial peptides from bacteria: characteristics and potential applications to fight against antibiotic resistance. Jounal of Applied Microbiology 2012; 113: 723-736.

Hill C., Nes IN., Ross RP. Bacteriocins. The 10th LAB Symposium: Thirty years of research on lactic acid bacteria, August 28-September 1, 2011, 37-56, Netherlands.

Hu Y., Liu X., Shan C., Xia X., Wang Y., Dong M., Zhou J. Novel bacteriocin produced by *Lactobacillus alimentarius* FM-MM4 from a traditional Chinese fermented meat Nanx Wudl: purification, identification and antimicrobial characteristics. Food Control 2017; 77: 290-297.

Juturu W., Wu JC. Microbial production of bacteriocins: Latest research development and applications. Biotechnology Advances 2018; 36: 2187–2200.

Karasu-Yalcin S., Soylemez-Milli N., Eren O., Eryasar-Orer K. Reducing time in detection of *Listeria monocytogenes* from food by MALDI-TOF mass spectrometry. Journal of Food Science and Technology 2021; 58(11): 4102–4109.

Kaya HI., Simsek Ö. Characterization of pathogen-specific bacteriocins from lactic acid bacteria and their application within cocktail against pathogens in milk. LWT Food Science and Technology 2019; 115: 108464.

Lü X., Hu P., Dang Y., Liu B. Purification and partial characterization of a novel bacteriocin produced by *Lactobacillus casei* TN-2 isolated from fermented camel milk (Shubat) of Xinjiang Uygur Autonomous region, China. Food Control 2014; 43: 276-283.

Nacef M., Chevalier M., Chollet S., Drider D., Flahaut C. MALDI-TOF mass spectrometry for the identification of lactic acid bacteria isolated from a French cheese: The Maroilles. International Journal of Food Microbiology 2017; 247: 2–8.

Papagianni M., Anastasiadou S. Pediocins: The bacteriocins of pediococci. sources, production, properties and applications. Microbial Cell Factories 2009; 8: 3.

Tagg JR., McGiven AR. Assay system for bacteriocins. Applied Microbiology 1971; 21: 943.

Wang W., Dong H., Chen Q., Chang X., Wang L., Miao C., Chen S., Chen L., Wang R., Ge S., Xiong W. Antibacterial efficacy of feline-derived lactic acid bacteria against enteropathogenic *Escherichia coli*: A comprehensive ın vitro analysis. Fermentation 2024; 10(10): 514.

Woraprayote W., Pumpuang L., Tosukhowong A., Roytrakul S., Pres RH., Zendo T., Kenji S., Benjakul S., Visessanguan W. Two putatively novel bacteriocins active against Gram-negative food borne pathogens produced by *Weissella hellenica* BCC 7293. Food Control 2015; 55: 176-184.

Zangeneh M., Khorrami S., Khaleghi M. Bacteriostatic activity and partial characterization of the bacteriocin produced by *L. plantarum* sp. Isolated from traditional sourdough. Food Science & Nutrition 2020; 8(11): 6023-6030.

Zou J., Jiang H., Cheng H., Fang J., Huang G. Strategies for screening, purification and characterization of bacteriocins. International Journal of Biological Macromolecules 2018; 117: 781–789.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1464-1477, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1464-1477, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Ağır Metal Stresi Altındaki Buğday Bitkisinde Kurkuminin Antioksidan Enzim Profiline Etkisi

Filiz AYGÜN ERTÜRK[1*], Eren SUYABATMAZ[2]

[1,2] Bayburt Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, 69000, Bayburt

[1]https://orcid.org/0000-0002-9973-5669
[2]https://orcid.org/0009-0006-8787-2398
*Sorumlu yazar: filizayerturk@bayburt.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 28.03.2025
Kabul tarihi:28.05.2025
Online Yayınlanma: 16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Kurkumin
Antioksidan enzim
Oksidatif stres
Ağır metal

ÖZ

Ağır metaller, bitkilerde çeşitli fizyolojik ve biyokimyasal süreçleri olumsuz etkileyerek büyüme ve gelişim üzerinde toksik etkilere yol açabilen çevresel kirleticilerdir. Bu çalışmada, *Triticum aestivum* (buğday) bitkisinde kurşun (Pb, 3 mM) kaynaklı ağır metal stresinin neden olduğu oksidatif hasarın hafifletilmesinde kurkuminin (0, 10 ve 20 µM) olası koruyucu etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, kurkuminin, stres altındaki bitkide antioksidan enzim aktiviteleri [süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz (CAT)] ile lipit peroksidasyonunun bir göstergesi olan malondialdehit (MDA) düzeyleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bulgular, ağır metal stresi altındaki buğdayda kurkumin uygulamasının SOD ve CAT aktivitelerini anlamlı şekilde artırdığını ve MDA seviyelerini azalttığını ($p<0,05$) göstermiştir. 20 µM kurkumin dozunun en yüksek koruyucu etkiyi sağladığı ve oksidatif stresin azaltılmasında belirgin bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, kurkuminin ağır metal kaynaklı oksidatif hasarı hafifletme ve bitkilerin savunma mekanizmalarını güçlendirme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Effect of Curcumin on Antioxidant Enzyme Profile in Wheat Plants Under Heavy Metal Stress

Research Article

Article History:
Received: 28.03.2025
Accepted: 28.05.2025
Published online: 16.06.2025

Keywords:
Curcumin
Antioxidant enzyme
Oxidative stress
Heavy metal

ABSTRACT

Heavy metals are environmental pollutants that can adversely affect various physiological and biochemical processes in plants, leading to toxic effects on growth and development. In this study, the potential protective effects of curcumin (0, 10, and 20 µM) against lead (Pb, 3 mM)-induced heavy metal stress and consequent oxidative damage in *Triticum aestivum* (wheat) were investigated. For this purpose, the effects of curcumin on antioxidant enzyme activities [superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT)] as well as on malondialdehyde (MDA) levels, an indicator of lipid peroxidation, were evaluated under stress conditions. The results demonstrated that curcumin treatment significantly increased SOD and CAT activities and decreased MDA levels in wheat subjected to heavy metal stress ($p < 0.05$). The 20 µM curcumin dose showed the highest protective effect and had a significant role in reducing oxidative stress. These results suggest that curcumin has the potential to alleviate heavy metal-induced oxidative damage and strengthen plant defense mechanisms.

To Cite: Aygün Ertürk F., Suyabatmaz E. Ağır Metal Stresi Altındaki Buğday Bitkisinde Kurkuminin Antioksidan Enzim Profiline Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1464-1477.

1. Giriş

Çevre kirliliği boyutlarının hızla artması; dünyadaki dengeleri bozarken, çevreye bağımlı olan canlıların da bu durumdan olumsuz etkilenmelerine neden olmaktadır. Bu etki ekosistemlerin primer

üreticileri konumundaki bitkiler üzerinde çok daha fazladır. Etmeni ne olursa olsun çevre kirliliği bitkilerde strese yol açmaktadır. Ağır metal stresi; bitkilerde verim ve kalite kaybına dolayısıyla ekonomik kayba da neden olan en önemli abiyotik stres faktörlerinden biridir. Bugün ağır metallerin neden oldukları oksidatif stresin, pek çok hücrede moleküler değişimlere ve gen mutasyonlarına yol açtığı artık iyi bilinmekte olup yaşlanma, hücresel hasar ve doku yıkımında rol aldığı önemle vurgulanmaktadır (Sevgi ve Leblebici 2022). Ağır metallerin toksik etkileri, metalin türüne, konsantrasyonuna, maruz kalma süresine ve bitkinin genetik yapısına bağlı olarak değişmekle birlikte, bitkilerde ağır metal toksisitesi olduğunu gösteren en yaygın etki tohum çimlenmesi, bitki biyokütlesi ve klorofil biyosentezinde azalma gibi etkilerle bitki gelişimindeki inhibisyondur. Kurşun (Pb), arsenikten sonra en zararlı ikinci çevresel toksindir ve endüstriyel faaliyetler, madencilik, boya ve yakıt kullanımı ile ekolojik sisteme en fazla zarar veren ağır metallerden biridir. Bitki dokularındaki aşırı kurşun, membran geçirgenliğini bozarak hücresel bütünlüğü tehdit ederken, fotosentez reaksiyonlarını da olumsuz etkilemektedir. Diğer ağır metallerden farklı olarak, mitotik iğ ipliklerindeki mikrotübüllerin yapısını bozarak hücre döngüsünü aksatmaktadır. Kısacası bitkinin pek çok morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerini etkileyerek oksidatif hasara neden olurken antioksidan savunma mekanizmalarına zarar vermektedir (Dalyan ve ark., 2020; Mfarrej ve ark., 2024).

Canlılar abiyotik çevresel streslere maruz kaldıklarında oluşan oksidatif hasara karşı onları bu sitotoksik etkilerden koruyan bir dizi antioksidan enzim bulundururlar. Antioksidanlar serbest radikal oluşumunu önleyerek doku hasarını önler ya da azaltırlar. Stres koşullarında süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz (CAT) gibi antioksidan enzimler, hücrede temel savunma sistemlerini oluşturmakta ve oksidatif hasarın neden olduğu hasara karşı kilit rol oynamaktadırlar (Ahmad ve ark., 2010; Aslankoç ve ark., 2019). Malondialdehit (MDA) seviyesi ise serbest radikallerin hücre membranındaki lipit peroksidasyonunun (oksidatif stres) bir göstergesi olarak sıklıkla kullanılmaktadır (Navabpour ve ark., 2020).

Buğday; dünyada ve Türkiye'de stratejik bir bitki olup, insanların temel enerji ve protein kaynağı durumundadır. Türk ekonomisinin dayandığı temel mahsul buğdaydır. Türkiye'de tahılların ekim alanlarının da yaklaşık %70'ini buğdayın oluşturduğu bilinmektedir (Güleç vd., 2010). Yeni alanların tarıma açılmasının mümkün olmadığı düşünüldüğünde, üretimi artırmanın en etkili yolu birim alandan alınan verimin yükseltilmesidir. Bunun için buğdayın, yüksek verimli, üstün kaliteli, biyotik ve abiyotik stres şartlarına dayanıklı çeşitler kullanılarak uygun kültürel tekniklerle yetiştirilmesi gerekmektedir. Buğdayın maruz kaldığı çeşitli streslerden biri olan ağır metal stresi, dolaylı olarak tüm insanlığı etkileyen bir durumdur. Ağır metale maruz kalan buğday bitkisinde ve farklı tahıllarda, hücre oksidasyon seviyeleri ile antioksidan savunma sisteminin anahtar enzim aktivitelerini ve bazı genlerin ifadesinin arttığını gösteren, enzimatik ve genomik/epigenomik değişimleri belirten pek çok çalışma bulunmaktadır (Kaur ve ark., 2013; Erturk ve ark., 2014; Thakur ve ark., 2017; Navabpour ve ark., 2020; Aslam ve ark., 2021; Bakır ve Ağar, 2021; Awaad ve ark., 2023; Taspinar ve ark., 2023).

Oksidatif stres kaynaklı olumsuz etkilerin azaltılması veya yok edilmesi amacıyla son yıllarda yapılan pek çok çalışma; kurkuminin metal kaynaklı lipid peroksidasyonuna karşı koruma sağladığını ve antioksidan sistem üzerindeki olumsuz etkileri hafiflettiğini göstermiştir. Yanı sıra, antioksidan potansiyeli ve kanseri baskılayıcı özelliği nedeniyle son yıllarda kanser araştırmalarında da kurkumin oldukça dikkat çekmektedir (Daniel ve ark., 2004; El-Demerdash ve ark., 2009; Wang ve ark., 2017; Abubakar ve ark., 2019; Kalefetoğlu Macar ve ark., 2022). Kurkumin, Zencefilgiller familyasına ait zerdeçal (*Curcuma longa*) bitkisinin rizomlarından elde edilen major biyoaktif bileşenlerin en önemlisidir. Asya ülkelerinde bir baharat olarak kullanılan ve geleneksel tıpta değer verilen zerdeçalın temel bileşeni kurkumin, efektif bir antioksidan olarak dikkat çekmektedir. Düşük moleküler ağırlıklı ve hidrofobik bir polifenolik flavonoid olup, güçlü antioksidan özelliği, içerdiği polifenol yapısından kaynaklanmaktadır. Yapılan araştırmalar, kurkuminin antioksidan kapasitesinin E vitaminine kıyasla birkaç kat daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu etkisinin yanı sıra hücre membranında lipit peroksidasyonunu inhibe etmektedir (Kumar ve ark., 2009). Ayrıca, inflamatuvar enzimlerin aktivitesini baskılayarak veya glutatyon sentezini artırarak dolaylı yoldan antioksidan etki göstermektedir (Rajasekaran ve ark., 2011). Bu özelliği ile çeşitli kanserler, antilipidemi, gastrointestinal hastalıklar, Parkinson, Alzheimer, kardiyovasküler hastalıklar, diyabet, obezite gibi pek çok sağlık sorununda koruyucudur (Mudduluru ve ark., 2011; Hejazi ve ark., 2016; Erkul ve ark., 2021). Farmakolojik etkilerine ek olarak, metal toksisitesinin neden olduğu oksidatif hasara karşı koruyucu olduğu bildirilmiştir (Cheraghi ve ark., 2017; Zhang ve ark., 2024; Tofan ve ark., 2025).

Kurkuminin metal şelatlama aktivitesi yoluyla bitkilere stres toleransı sağlayan güçlü bir polifenol olduğu biliniyor olmasına rağmen kurkuminin ağır metal ile ilişkili sito-genotoksisiteye karşı terapötik etkileri hakkında özellikle bitki dokularındaki etkileri ile ilgili çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu nedenle, çalışmamızda ağır metal ile indüklenen oksidatif stresi önlemek amacıyla, antioksidan etkileri bilinen kurkuminin bitki dokularındaki lipit peroksidasyonu ve antioksidan enzimler üzerine olası koruyucu etkileri araştırılmıştır. Çalışma ile kurkuminin ülkemiz insanına daha fazla tanıtılması, tarım, gıda/besin endüstrisi ve sağlık gibi farklı kullanım alanlarında daha fazla değerlendirilmesine katkı sağlanması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmamızda bitkisel materyal olarak, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesinden temin edilen buğday (*Triticum aestivum* L. Ayyıldız) tohumları, oksidatif stres ajanı olarak bir ağır metal [kurşun sülfat ($PbSO_4$)] kullanılmıştır. %1'lik sodyum hipoklorit (NaOCl) çözeltisinde 10 dakika bekletilerek yüzeysel sterilizasyonu sağlanmış, ardından en az 5 kez saf su ile yıkanıp kurutulmuş eşit büyüklükteki buğday tohumları, içerisinde iki kat steril Whatman No. 1 filtre kağıdı olan 12 cm çapındaki steril petrilere ekilmiştir (Ortalama 15 tohum ve 3 paralel) (Arslan ve ark., 2019). 0, 10, 20µM kurkumin [Cur, ((1E, 6E) -1,7-bis (4-hidroksi3-metoksifenil)-1,6-heptadien-3,5-dion] içeren çözeltilerle muamele edilen petrilere ağır metal stresi için 3mM kurşun (Pb) olacak şekilde toksik

dozlar uygulanmıştır. Kontrol için sadece Tween 20 içeren saf su kullanılmıştır. Örnekler daha sonra oda sıcaklığına (25ºC) ayarlanmış etüve alınarak çimlenmeye bırakılmıştır. İnkübasyonun ardından 14 günlük fidelerden kök ve gövde örnekleri alınmış ve örnekler SOD, CAT ve MDA analizleri için çalışmanın yapılacağı zamana kadar -20 ºC'de bekletilmiştir.

Kurşun (Pb) ve kurkumin dozlarının belirlenmesi, literatür taraması, ön denemeler ve bitkinin fizyolojik tepkileri dikkate alınarak yapılmıştır. İlk olarak, kurkumin dozları (0, 10 ve 20 µM), literatürde benzer çalışmalarda kullanılan ve bitkilerde toksik etki oluşturmadan antioksidan etki gösterdiği belirlenen konsantrasyon aralıklarına dayanılarak seçilmiştir (Khan ve ark., 2024; Zhang ve ark., 2024). Aynı şekilde, kurşun (Pb) konsantrasyonu (3 mM), literatürde buğday (*Triticum aestivum*) gibi model bitkilerde belirgin ancak öldürücü olmayan bir toksik etki oluşturduğu rapor edilen (Lamhamdi ve ark., 2013) değerler göz önünde bulundurularak ön denemeler kapsamında farklı kurşun konsantrasyonları (örneğin, 1, 3 ve 5 mM) test edilmiş ve 3 mM Pb, buğday için uygun bir stres seviyesi olarak belirlenmiştir. Araştırmada kullanılan uygulama gruplarına ait detaylar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Araştırmada Kullanılan Uygulama Grupları

Grup adı	Kurkumin	Kurşun
Kontrol	-	-
Pb	-	3 mM
Cur1	10 µM	-
Cur2	20 µM	-
Cur1 Pb	10 µM	3 mM
Cur2 Pb	20 µM	3 mM

Ağır metal stresi (Pb) ve kurkumin varlığında buğday tohumlarındaki SOD, CAT ve MDA seviyesi spektrofotometrik olarak üç tekerrürle ölçülerek ortalamaları alınmıştır.

MDA Miktarının Belirlenmesi; Bitki dokularından MDA tayini, Madhava ve Stresty (2000) yönteminden modifiye edilerek yapılmıştır. Taze bitki dokuları (0,5 mg) bir havana alınarak trikloroasetik asit (TCA) ile homojenize edildikten sonra 10.000 rpm'de santrifüj edilip süpernatant (enzim ekstraktı) alınarak MDA ölçümü için kullanılmıştır. Tiyobarbiturik asit (TBA) ilave edilmiş olan karışımın spektrofotometrede 532 ve 600 nm'de absorbansı okunarak lipid peroksidasyonunun son ürünü olan MDA miktarı ölçülmüştür. MDA düzeyleri, nmol/mg protein cinsinden ifade edilmiştir.

SOD Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi; Bitki dokularından SOD enzim aktivite tayini, Roy ve ark. (2020) çalışmasından modifiye edilerek yapılmıştır. Taze bitki dokuları (0,3 mg) bir havana alınarak 50 mM KH_2PO_4 (pH=7,8), polivinilpirolidon (PVP) ve etilendiamin tetra asetik asit (EDTA) kullanılarak homojenleştirilip 10.000 rpm'de santrifüj edilmiştir. Süpernatant ve reaksiyon karışımının

560 nm dalga boyunda NanoDrop Spektrofotometrede absorbansı okunarak SOD enzim aktivitesi belirlenmiştir. Enzim aktivitesi, U/mg protein cinsinden ifade edilmiştir.

CAT Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi; Katalaz enziminin aktivite tayini, Roy ve ark. (2020) yönteminden modifiye edilerek yapılmıştır. Taze bitki dokuları (0,3 mg) bir havana alınarak 50 mM KH_2PO_4 (pH=7,8), PVP ve EDTA kullanılarak homojenleştirilip 10.000 rpm'de santrifüj edilmiştir. Süpernatant ve reaksiyon karışımının 240 nm dalga boyunda NanoDrop Spektrofotometrede absorbansı okunmuştur. CAT enzim aktivitesini ölçmek amacıyla, absorbans değerlerindeki birim zamandaki değişimler değerlendirilmiştir. Enzim aktivitesi, U/mg protein cinsinden ifade edilmiştir.

İstatistiksel Analizler: Verilerin değerlendirilmesinde "SPSS 20.0 Windows" paket programı ile GraphPad Prism kullanılmıştır. Deney grupları arasındaki farklar, tek yönlü varyans analizi (One-Way ANOVA) ile değerlendirilmiş ve $p < 0,05$ önem derecesinde istatiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, ağır metal (Pb) stresinin ve kurkumin uygulamasının antioksidan savunma sistemi üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla, *Triticum aestivum* tohumlarında SOD ve CAT gibi temel antioksidan enzimlerin düzeyleri ile oksidatif stres göstergesi olan MDA düzeyi analiz edilmiştir. Elde edilen veriler, GraphPad Prism yazılımı kullanılarak görselleştirilmiş ve Şekil 1'de karşılaştırmalı grafik halinde sunulmuştur. Grafikte yer alan istatistiksel karşılaştırmalar (****$p < 0.0001$, ***$p < 0.001$, **$p < 0.01$, *$p < 0.05$) gruplar arasındaki farkların anlamlılığını göstermektedir.

Kontrol (C) grubunda SOD aktivitesi 68,47 U/mg protein, CAT aktivitesi 27,67 U/mg protein ve MDA seviyesi 18,18 nmol/mg protein olarak bulunmuştur. Pb maruziyeti (Pb grubu), SOD aktivitesini kontrol grubuna göre anlamlı şekilde azaltmış (64,79 U/mg; $p < 0,05$), CAT aktivitesini ise anlamlı olarak artırmıştır (30,78 U/mg; $p < 0,05$). Ayrıca Pb grubunda MDA seviyeleri, kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede yükselmiştir (51,74 nmol/mg; $p < 0,001$). Bu artış, Pb'nin membran yapısına zarar vererek oksidatif hasara neden olduğunu, lipid peroksidasyonunu önemli ölçüde artırdığını ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, kurşunun mitokondriyal oksidatif stres mekanizmalarını tetikleyerek hücresel antioksidan savunma sistemini zorladığını ortaya koymaktadır. CAT aktivitesindeki artış, Pb maruziyeti sırasında hücrenin artan hidrojen peroksit yüküyle başa çıkma mekanizması olarak yorumlanabilirken, SOD aktivitesindeki azalma kurşunun bu enzime yönelik toksik etkisini yansıtmaktadır (Sharma ve ark., 2012). Benzer şekilde, Tofan ve ark. (2025) tarafından yapılan çalışmada Pb ve/veya As stresine maruz kalan marul bitkilerine uygulanan kurkuminin su alımı ve fotosentez verimliliğinin yanı sıra antioksidan enzim kapasitesini artırarak reaktif oksijen türleri (ROS) birikimini azalttığı bildirilmiştir. SOD, ROS'a karşı ilk savunma hattını oluşturmaktadır. Pb grubunda SOD aktivitesindeki azalma nedeninin, antioksidan sistemin kapasitesini aşan çevresel strese maruz kalan bitkilerde fizyolojik işlev bozukluğuna ve enzim hasarına neden olan aşırı ROS

üretimi olabileceği; bu azalmanın ise serbest radikallere karşı diğer bir savunma hattı olan CAT artışı ile telafi edilmiş olabileceği düşünülmektedir.

Kurşun (Pb), insan faaliyetleri ile çevreye yayılan ve bitkilerde ciddi toksik etkilere neden olan en önemli ağır metallerden biridir. Bitkilerde fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeylerde metabolik yolları etkileyerek büyüme ve gelişimi olumsuz yönde etkileyen kurşun, özellikle ROS üretimini artırarak oksidatif strese yol açmaktadır. Bu nedenle kurşun kirliliği, bitkisel üretim ve ekosistem sağlığı açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır (Sharma ve Dubey, 2005). Ertürk ve ark (2014) kurşunun bitki dokularında hormon seviyesini etkilediğini, genetik ve epigenetik değişikliklere neden olduğunu belirtirken, pek çok çalışmada da bitkilerde ağır metal (Pb) kaynaklı toksisitenin başlıca nedeninin oksidatif stres oluşumu olduğu bildirilmiştir (Navabpour ve ark., 2020; Aslam ve ark., 2021; Taspinar ve ark., 2023). Çalışma verileri de, Pb'nin hücresel oksidatif dengenin bozulmasına yol açtığını ve lipid peroksidasyonunu artırarak oksidatif hasara sebep olduğunu desteklemektedir. Pb toksisitesinin, özellikle mitokondriyal işlev bozuklukları ve serbest radikal üretimi yoluyla oksidatif stresin artmasına sebep olduğu daha önceki çalışmalarla da uyumludur (Ibrahim ve Bafeel, 2009; Giannakoula ve ark., 2021).

Kurkumin uygulanan gruplarda (Cur1 ve Cur2), SOD aktivitelerinde kontrol grubuna göre anlamlı bir değişiklik gözlenmezken, CAT aktivitelerinde hafif ancak anlamlı bir artış olmuştur (sırasıyla 28,36 / 29,25 U/mg; $p < 0,05$). Kurkumin ve Pb kombine gruplarında (Cur1Pb, Cur2Pb) SOD aktiviteleri Pb grubuna göre anlamlı olarak artmış (sırasıyla 73,46 / 69,40 U/mg; $p < 0,05$), CAT aktiviteleri de benzer şekilde yükselmiştir (sırasıyla 34,67 / 35,56 U/mg; $p < 0,01$). Bu durum, kurkuminin Pb kaynaklı oksidatif hasara karşı hücresel antioksidan savunma sistemini desteklediğini ve toksisiteyi hafiflettiğini göstermektedir 20 µM kurkumin (Cur2) uygulaması, 10 µM kurkumin dozuna kıyasla daha belirgin bir koruyucu etki göstermiştir. Bu bulgular, kurkuminin serbest radikalleri süpürücü etkileri ile uyumludur (Gupta ve ark., 2012). Aynı gruplarda MDA düzeyleri, Pb grubuna göre anlamlı olarak düşmüş ancak kontrol seviyelerinin üzerinde kalmıştır (sırasıyla 38,57 / 35,25 nmol/mg; $p < 0,05$). Özellikle 20 µM kurkumin (Cur2Pb) dozu en belirgin iyileştirici etkiyi göstermiştir. MDA düzeylerinde gözlenen düşüş, lipid peroksidasyonunun azalmasıyla, hücresel membranların korunmasına işaret etmektedir. Bu sonuçlar, kurkuminin oksidatif stres kaynaklı hücre hasarını azaltarak hücre fonksiyonlarının korunmasında etkin rol oynadığını ve bu etkinliğin önceki çalışmalarla da desteklendiğini göstermektedir. Kurkuminin bu koruyucu etkisi, güçlü antioksidan özellikleri ile açıklanmaktadır (Aggarwal ve Harikumar, 2009; Khan ve ark., 2024). Kurkuminin bu koruyucu etkisi serbest radikalleri nötralize etmesine ve metallerle şelat oluşturma özelliklerine atfedilmektedir. Kurkumin, kimyasal yapısı yüksek stabiliteye sahip şelat kompleksleri oluşturmaya olanak tanır, böylece toksik metal iyonlarını uzaklaştırır (Farzaei ve ark., 2018).

Farmakolojik etkilerinin yanı sıra, metal toksisitesinin neden olduğu oksidatif hasara karşı koruyucu olduğu biliniyor olmasına rağmen (Cheraghi ve ark., 2017) kurkuminin bu toksisite üzerindeki iyileştirici etkisini özellikle bitkisel dokularda ele alan çalışmaların literatürde sınırlı olduğu

görülmektedir. Çalışmamızın bulguları, kurkuminin metal şelatlama kapasitesine dair literatürdeki mevcut verilerle örtüşmektedir (Upadhyaya, ve ark., 2014; Farzaei ve ark., 2018; Pratyusha, 2022).

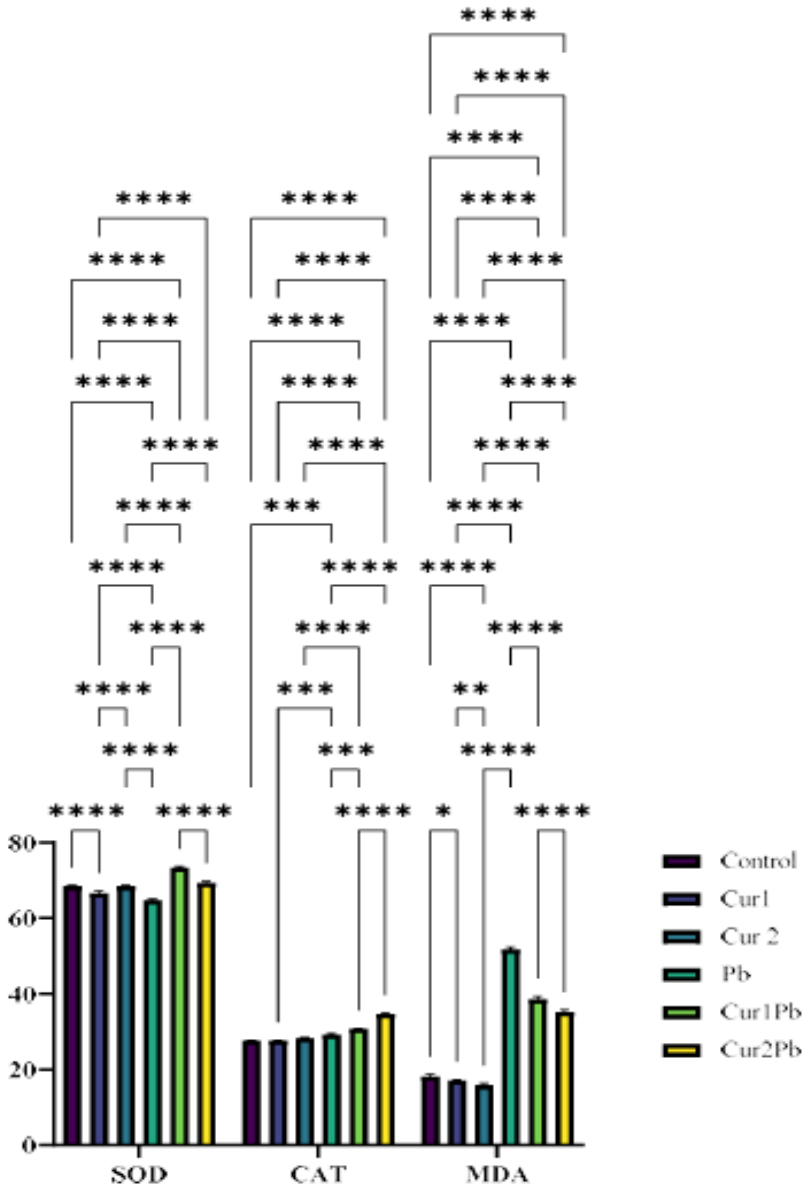
Kurkuminin farklı çevresel stres faktörlerine karşı bitkisel sistemlerde gösterdiği koruyucu etkiler, mevcut çalışmamızın bulgularıyla da örtüşmektedir. Khan ve ark. (2024) tarafından yapılan arsenik ve kurkumin etkileşimli çalışmada, kromozomal bozukluklar, mitotik indeks, oksidatif stres belirteçleri ve histokimyasal parametrelerde önemli değişimler gözlenmiştir. Zhang ve ark. (2024) tarafından arsenik toksisitesine maruz kalan ıspanak (*Spinacia oleracea* L.) bitkisi üzerinde yapılan çalışmada, kurkuminin oksidatif stres göstergelerini (H_2O_2 ve MDA) azaltarak ve antioksidan kapasiteyi artırarak arsenik kaynaklı zararı önemli ölçüde hafiflettiği gözlenmiştir. Kurşun toksisitesinin de benzer şekilde reaktif oksijen türleri aracılığıyla hücresel düzeyde hasara yol açtığı göz önünde bulundurulduğunda, kurkuminin antioksidatif özelliklerinin kurşun stresine karşı da etkili olabileceği düşünülmektedir. Bu doğrultuda, arsenik stresine karşı gözlenen iyileşmelerin benzer mekanizmalarla kurşun toksisitesinde de gerçekleşebileceği öngörülmekte olup, kurkuminin kurşun kaynaklı stres koşullarında hem oksidatif zararı azaltmada hem de bitkisel adaptif savunma yanıtlarını desteklemede potansiyel bir biyokoruyucu ajan olarak değerlendirilebileceği sonucuna varılabilir.

Kurkumin kapsüllü kitosan nanopartiküllerinin tuz ve kuraklık stresi altındaki buğday fidelerinde de toksisiteyi azalttığı belirlenmiştir (Hameed ve ark., 2024;2025). Tarımda sürdürülebilir verimlilik için ağır metal toksisitesindeki iyileştirici etkilerinin yanında tuzluluk ve kuraklık stresine karşı da kurkuminin çevre dostu bir antioksidan olarak kullanılabileceği bilinmektedir. Acar ve ark. (2022) tarafından *Allium cepa* bitkisi üzerinde yürütülen çalışmada, pestisit (pendimetalin) kaynaklı genetik ve biyokimyasal toksisiteye karşı kurkuminin koruyucu etkisi gözlenmiştir. Çalışmada kurkumin uygulamasının, kök gelişimini desteklediği, mitotik indeks, glutatyon redüktaz aktivitesi ve hücre sağlığı üzerinde olumlu etkiler gösterdiği bildirilmiştir. Çalışmalarda, oksidatif stres altındaki dokularda kurkumin uygulamasının MDA düzeyinde azalmaya ve antioksidan enzim düzeyinde artışa neden olduğunun bildirilmesi, araştırma sonuçlarımızla paralellik göstermektedir.

Literatür bulguları, hayvansal dokularda da kurkuminin çeşitli toksik etmenlere karşı benzer mekanizmalarla koruyucu etki gösterdiğini desteklemektedir. Cheraghi ve arkadaşları (2017), farelerin üreme sisteminde kurkuminin alüminyumun toksik etkilerinin neden olduğu doku hasarını antioksidan gücü sayesinde iyileştirdiğini bildirmişlerdir. Akkaya ve ark. (2021) tarafından sıçanlarda akrilonitril kaynaklı oksidatif stres modeli kullanılarak yürütülen çalışmada, kurkumin ve timokinonun karaciğer ve böbrek dokularında oksidatif hasarı azalttığı, özellikle MDA seviyelerini düşürürken SOD ve CAT gibi endojen antioksidan enzim aktivitelerini artırdığı bildirilmiştir. Seriner ve ark. (2022), diyetilnitrozamin ile oluşturulan deneysel karaciğer hasarında kurkuminin, SOD, CAT aktiviteleri ile GSH, MDA ve ileri oksidasyon protein ürünleri (AOPP) seviyeleri üzerindeki etkilerini incelemişler ve kurkumin uygulamasının MDA ve AOPP seviyelerini azaltırken, SOD ve CAT aktivitelerini artırdığını tespit etmişlerdir. Bu sonuçlar, kurkuminin hayvansal sistemlerde oksidatif dengeyi yeniden kurma potansiyelini ortaya koymakla birlikte, çalışmamızda bitkisel sistemde gözlenen benzer

etkilerle de paralellik göstermektedir. Böylece kurkuminin hem hayvansal hem de bitkisel organizmalarda benzer mekanizmalarla etki gösterdiği ve oksidatif stres kaynaklı hasarı azaltma potansiyelinin evrensel bir özellik taşıdığı söylenebilir.

Buradan hareketle, literatürde doz ve uygulama süresindeki farklılıklardan kaynaklanan farklılıklar olabilse de kurkuminin çevresel bir kirletici olan kurşunun toksik etkilerini azaltarak ağır metal kaynaklı oksidatif hasarın giderilmesinde etkili olduğunu ifade etmek gerekir. Dolayısıyla kurkumin, yalnızca antioksidan savunma sistemlerini güçlendirmekle kalmayıp, aynı zamanda hücre yapısının korunması, metabolik düzenin sürdürülmesi ve genel bitki sağlığının iyileştirilmesinde de etkili olabilecek çok yönlü bir doğal bileşiktir. Ancak, kurkuminin etkili doz aralıkları, uygulama yöntemleri ve farklı bitki türlerindeki tepkileri üzerine yapılacak daha kapsamlı moleküler ve genetik düzeyde çalışmalar, bu bileşiğin sürdürülebilir tarım uygulamalarındaki kullanım potansiyelini daha güçlü şekilde ortaya koyacaktır.



Şekil 1. Buğdayda kurkuminin biyokimyasal parametreler (SOD, CAT ve MDA) üzerine etkileri
Control, kontrol; Cur1, 10µM kurkumin; Cur2, 20 µM kurkumin; Pb, 3mM kurşun; Cur1Pb, 10µM kurkumin + 3mM kurşun; Cur2Pb, 20µM kurkumin + 3mM kurşun; (*p < 0.05, **p < 0.01, ***p < 0.001, ****p < 0.0001).

4. Sonuçlar

Artan dünya nüfusu ve değişen iklim koşulları, küresel ölçekte besin talebini her geçen gün artırmaktadır. Bu bağlamda, biyotik ve abiyotik strese dayanıklı bitkilerin geliştirilmesi tarımsal verimliliğin sürdürülebilirliği için kritik bir gereklilik haline gelmiştir. Yapılan analizlerle, *Triticum aestivum* tohumlarında ağır metal ile indüklenen oksidatif stres altında kurkuminin (özellikle 20 µM dozu), antioksidan enzim aktivitesini artırdığı ve malondialdehit düzeyini azalttığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma, kurkuminin bitkilerde ağır metal kaynaklı oksidatif stres üzerindeki etkilerini ortaya koyarak, kurkuminin, bitkilerde oksidatif stresin azaltılmasında ve savunma sistemlerinin güçlendirilmesinde potansiyel bir doğal bileşik olduğunu ortaya koymaktadır. Yanı sıra

gelecekte bu molekülün biyolojik aktivitesine yönelik araştırmalara ışık tutmakta ve sürdürülebilir tarım uygulamalarında kullanım potansiyelini vurgulamaktadır. Ayrıca, kurkuminin bu koruyucu ve iyileştirici özellikleri, sentetik antioksidanlara doğal bir alternatif olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, tarımsal uygulamalarda bitki sağlığını koruma ve verimliliği artırma açısından değerlendirilebilir. Ancak, bu doğal bileşiğin toksik metal kaynaklı hücresel hasarın önlenmesinde potansiyeli göz önünde bulundurularak, ilerleyen çalışmalarda farklı doz ve uygulama süreleri ile moleküler etki mekanizmalarının daha kapsamlı bir şekilde incelenmesi önerilmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK (1919B012337493/2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı) tarafından desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Tüm yazarlar makaleye katkı sağladıklarını beyan ederler.

Kaynakça

Abubakar K., Muhammad Mailafiya M., Danmaigoro A., Musa Chiroma S., Abdul Rahim EB., Abu Bakar Zakaria MZ. Curcumin attenuates lead-induced cerebellar toxicity in rats via chelating activity and inhibition of oxidative stress. Biomolecules 2019; 9(9): 453-479.

Acar A., Singh D., Srivastava AK. Assessment of the ameliorative effect of curcumin on pendimethalin-induced genetic and biochemical toxicity. Scientific Reports 2022, 12(1): 2195.

Aggarwal BB., Harikumar KB. Potential therapeutic effects of curcumin, the anti-inflammatory agent, against neurodegenerative, cardiovascular, pulmonary, metabolic, autoimmune and neoplastic diseases. The International Journal of Biochemistry & Cell Biology 2009; 41(1): 40-59.

Ahmad P., Jaleel C., Salem M., Nabi G., Sharma S. Roles of enzymatic and nonenzymatic antioxidants in plants during abiotic stress. Critical Reviews in Biotechnology 2010; 30: 161-175

Akkaya K., Yıldırım M., Değirmenci U., Ünal ND. Sıçanlarda akrilonitril ile oluşturulmuş oksidatif strese karşı timokinon ve kurkuminin olası koruyucu etkileri. Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Lokman Hekim Tıp Tarihi ve Folklorik Tıp Dergisi 2021; 11(3): 596-604.

Arslan E., Agar G., Aydın M. Putrescine as a protective molecule on DNA damage and DNA methylation changes in wheat under drought. Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series C Biology 2019*; 28*(2): 170-187.

Aslam M., Aslam A., Sheraz M., Ali B., Ulhassan Z., Najeeb U., Gill RA. Lead toxicity in cereals: Mechanistic insight into toxicity, mode of action, and management. Frontiers in Plant Science 2021; 11: 587785.

Aslankoç R., Demirci D., İnan Ü., Yıldız M., Öztürk A., Çetin M., Savran EŞ., Yılmaz B. The role of antioxidant enzymes in oxidative stress - Superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPx). Medical Journal of Süleyman Demirel University 2019; 26(3): 362-369.

Awaad HA., Alzohairy AM., Morsy AM., Moustafa ESA., Mansour E. Genetic analysis of cadmium tolerance and exploration of its inheritance nature in bread wheat (Triticum aestivum L.). Indıan Journal of Genetıcs And Plant Breedıng 2023; 83(1): 41-51.

Bakır Ö., Ağar G. Investigation of DNA methylation level in wheat genome exposed to vanadium by Using CRED-RA technique. Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi 2021; 31(1): 36-46.

Cheraghi E., Golkar A., Roshanaei K., Alani B. Aluminium-induced oxidative stress, apoptosis and alterations in testicular tissue and sperm quality in Wistar rats: Ameliorative effects of curcumin. International Journal of Fertility & Sterility 2017; 11(3): 166.

Dalyan E., Yüzbaşıoğlu E., Akpınar I. Physiological and biochemical changes in plant growth and different plant enzymes in response to lead stress. Lead in Plants and the Environment. Radionuclides and Heavy Metals in the Environment 2020; 129–147.

Daniel S., Limson JL., Dairam A., Watkins GM., Daya S. Through metal binding, curcumin protects against lead-and cadmium-induced lipid peroxidation in rat brain homogenates and against lead-induced tissue damage in rat brain. Journal of İnorganic Biochemistry 2004; 98(2): 266-275.

El-Demerdash FM., Yousef MI. Radwan FM. Ameliorating effect of curcumin on sodium arsenite-induced oxidative damage and lipid peroxidation in different rat organs. Food and Chemical Toxicology 2009; 47(1): 249-254.

Erkul C., Özenoğlu A., Reis E. Zerdeçalın genel sağlık üzerine etkileri. Türkiye Sağlık Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi, 2021; 4(2): 76-87.

Erturk FA., Agar G., Arslan E., Nardemir G., Aydin M., Taspinar MS. Effects of lead sulfate on genetic and epigenetic changes and endogenous hormone levels in corn (Zea mays L.). Polish Journal of Environmental Studies 2014; 23(6): 1925-1932.

Farzaei MH., Zobeiri M., Parvizi F., El-Senduny FF., Marmouzi I., Coy-Barrera E., Abdollahi M. Curcumin in liver diseases: a systematic review of the cellular mechanisms of oxidative stress and clinical perspective. Nutrients 2018; 10(7): 855.

Giannakoula A., Therios I., Chatzissavvidis C. Effect of lead and copper on photosynthetic apparatus in citrus (Citrus aurantium L.) plants. The role of antioxidants in oxidative damage as a response to heavy metal stress. Plants 2021; 10(1): 155.

Gupta SC. Discovery of curcumin, a component of golden spice, and its miraculous biological activities. Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology 2012; 39(3): 283-299.

Güleç TE., Sönmezoglu ÖA., Yıldırım A. Makarnalık bugdaylarda kalite ve kaliteyi etkileyen faktörler. Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University 2010; 1: 113-120.

Hameed A., Maqsood W., Hameed A., Qayyum MA., Ahmed T., Farooq T. Chitosan nanoparticles encapsulating curcumin counteract salt-mediated ionic toxicity in wheat seedlings: An ecofriendly and sustainable approach. Environmental Science and Pollution Research 2024; 31(6): 8917-8929.

Hameed A., Zahid M., Hameed A., Noreen R., Ibrahim M., Farooq T., Kanwal P. Curcumin-based priming agent confers drought tolerance in wheat seedlings: A climate-smart approach. Industrial Crops and Products 2025; 224: 119451.

Hejazi J., Rastmanesh R., Taleban FA., Molana SH., Hejazi E., Ehtejab G., Hara N. Effect of curcumin supplementation during radiotherapy on oxidative status of patients with prostate cancer: a double blinded, randomized, placebo-controlled study. Nutrition and Cancer 2016; 68(1): 77-85.

Ibrahim Mohamed M., Bafeel Sameera O. Alteration of gene expression, superoxide anion radical and lipid peroxidation induced by lead toxicity in leaves of Lepidium sativum. Journal of Animal and Plant Sciences 2009, 4: 281-288.

Kaur G., Singh HP., Batish DR., Kohli RK. Lead (Pb)-induced biochemical and ultrastructural changes in wheat (Triticum aestivum) roots. Protoplasma 2013; 250: 53–62.

Kalefetoğlu Macar T., Macar O., Çavuşoğlu K., Yalçin E., Yapar K. Turmeric (Curcuma longa L.) tends to reduce the toxic effects of nickel (II) chloride in Allium cepa L. roots. Environmental Science and Pollution Research 2022; 29(40): 60508-60518.

Khan Z., Thounaojam TC., Rajkumari JD., Deka BK., Rahman R., Upadhyaya H. Arsenic induced chromosomal aberrations, biochemical and morphological changes in *Vigna radiata* L.(Mung bean) seedlings and its amelioration by Curcumin. Vegetos 2024; 37(3): 1185-1194.

Kumar A., Dogra S., Prakash A. Protective effect of curcumin (*Curcuma longa*), against aluminium toxicity:Possible behavioral and biochemical alterations in rats. Behavioural Brain Research 2009; 205: 384-390.

Lamhamdi M., El Galiou O., Bakrim A., Novoa-Munoz JC., Arias-Estevez M., Aarab A., Lafont R. Effect of lead stress on mineral content and growth of *wheat (Triticum aestivum) and spinach (Spinacia oleracea) seedlings*. Saudi Journal of Biological Sciences 2013; 2*0*(1): 29-36.

Madhava RKV., Sresty TVS. Antioxidative parameters in the seedlings of pigeonpea (Cajanus cajan L. Millspaugh) in response to Zn and Ni stresses. Plant Science 2000; 157: 113-120.

Mfarrej MFB., Javed R., Almeer R., Alsaidalani M., Kamel MH., Saleem S. Phosphorus sources enhance barley growth and mitigate lead stress via antioxidant responses, proline metabolism, and gene expression. South African Journal of Botany 2024; 174: 138-151.

Mudduluru G., George-William JN., Muppala S., Asangani IA., Kumarswamy R., Nelson LD., Allgayer H. Curcumin regulates miR-21 expression and inhibits invasion and metastasis in colorectal cancer. Bioscience Reports 2011; 31(3): 185-197.

Navabpour S., Yamchi A., Bagherikia S., Kafi H. Lead-induced oxidative stress and role of antioxidant defense in wheat (*Triticum aestivum* L.). Physiology and Molecular Biology of Plants 2020; 26: 793-802.

Pratyusha S. Phenolic compounds in the plant development and defense: An overview. Plant Stress Physiology- Perspectives in Agriculture 2022; 125–140.

Rajasekaran SA. Therapeutic potential of curcumin in gastrointestinal diseases. World Journal of Gastrointestinal Pathophysiology 2011; 2(1): 1-14.

Roy R., Mostofa MG., Wang J., Sikdar A., Sarker T. Improvement of growth performance of Amorpha fruticosa under contrasting regime of water and fertilizer in coal-contaminated spoils using response surface methodology. BMC Plant Biology 2020; 20: 1-15.

Seriner R., Dağlıoğlu K., Coşkun G., Bilgin R. Examination of the effect of curcumin in experimental liver damage created by diethylnitrosamine in Swiss albino mice to superoxide dismutase and catalase activities and glutathione, malondialdehyde, and advanced oxidation protein products levels. Biotechnology and Applied Biochemistry 2022; 69(3): 1217-1225.

Sevgi K., Leblebici S. Bitkilerde ağır metal stresine verilen fizyolojik ve moleküler yanıtlar. Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences 2022; 7(4): 528-536.

Sharma P., Dubey RS. Lead toxicity in plants. Brazilian Journal of Plant Physiology 2005; 17: 35-52.

Sharma R., Samant S., Sharma P., Devi S. Evaluation of antioxidant activities of *Withania somnifera* leaves growing in natural habitats of North-west Himalaya, India. Journal of Medicinal Plants Research 2012, 6(5): 657-661.

Thakur S., Singh L., Zularisam AW., Sakinah M., Din MFM. Lead induced oxidative stress and alteration in the activities of antioxidative enzymes in rice shoots. Plant Biology 2017; 61: 595–598.

Taspinar MS., Kuloglu SS., Aydin M., Agar G. Physiological-biochemical and molecular change in *Triticum aestivum* L. exposed to lead stress. Research Square 2023; 10.21203/rs.3.rs-2529649/v1

Tofan A., Gurkan E., Arikan-Abdulveli B., Balci M., Yildiztugay E., Ozfidan-Konakci C. Curcumin, a secondary metabolite, activates the defense system by regulating water status, PSII photochemistry, and antioxidant capacity in lactuca sativa exposed to lead and/or arsenic stresses. Food and Energy Security 2025; 14(1): e70027.

Upadhyaya H., Shome S., Roy D., Bhattacharya MK. Arsenic induced changes in growth and physiological responses in *Vigna radiata* seedling: effect of curcumin interaction. American Journal of Plant Sciences 2014; 5(24): 3609.

Wang XN., Zhang CJ., Diao HL., Zhang Y. Protective effects of curcumin against sodium arsenite-induced ovarian oxidative injury in a mouse model. Chinese Medical Journal 2017; 130(09): 1026-1032.

Zhang X., Yan L., Liu J., Zhang Z., Tan C. Removal of diferent kinds of heavy metals by novel PPG-nZVI beads and their application in simulated stormwater infltration facility. Applied Sciences 2019; 9(20): 4213.

Zhang L., Zengin G., Ozfidan-Konakci C., Yildiztugay E., Arikan B., Ekim R. Lucini L. Exogenous curcumin mitigates As stress in spinach plants: A biochemical and metabolomics investigation. Plant Physiology and Biochemistry 2024; 211: 108713.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1478-1487, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1478-1487, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Mitokondrinin İşlevsel Rolleri

İlknur GÜÇ[1*]

[1]Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Bölümü, 28200, Giresun

[1]https://orcid.org/0000-0002-9927-1200
*Sorumlu yazar: ilknur__guc@hotmail.com

Derleme

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 16.09.2024
Kabul tarihi:20.01.2025
Online Yayınlanma:16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
ATP
Mitokondri
Mitokondriyal işlev
ROS
TCA döngüsü

ÖZ

Mitokondri; ATP üretimi, apoptozis, kalsiyum homeostazisi ve amino asitlerin, nükleotidlerin ve lipitlerin sentezi olmak üzere birçok hücresel metabolik süreçte rol alır. Her mitokondrinin kendi genomu olmasına rağmen birçok mitokondriyal proteini nükleer DNA kodlamaktadır. Çoğu ökaryotik hücrenin hücre altı organelleri olarak bilinen mitokondri, oksidatif fosforilasyon (OXPHOS), trikarboksilik asit döngüsü (TCA döngüsü), yağ asidi oksidasyonu ve amino asit metabolizması dahil olmak üzere birçok metabolik süreçten sorumludur. Bu süreçler içinde besinleri oksitleyerek ATP üretmek, mitokondrinin en önemli fizyolojik işlevidir. Adenozin 5′-trifosfat (ATP) üretimine katılmak için mitokondri, serbest radikallerin üretildiği bu metabolik ağ süreciyle etkileşime giren karmaşık bir sistem kullanır. Genellikle, mitokondriyal reaktif oksijen türleri (ROS), mitokondriyal iç membran üzerindeki elektron taşıma zinciri bölgesinde üretilmektedir ve kompleks I ile kompleks III'ten sızan elektronlar oksijen tüketimine neden olmaktadır. Mitokondriyal fonksiyonun temelini oluşturan ROS üretimi ve süpürme arasındaki denge, mitokondriyal redoks homeostazisi olarak ifade edilmektedir. Bu derleme, mitokondrinin işlevsel rollerini özetlemektedir.

Functional Roles of Mitochondria

Reviews

Article History:
Received: 16.09.2024
Accepted: 20.01.2025
Published online:16.06.2025

Keywords:
ATP
Mitochondria
Mitochondrial function
ROS
TCA cycle

ABSTRACT

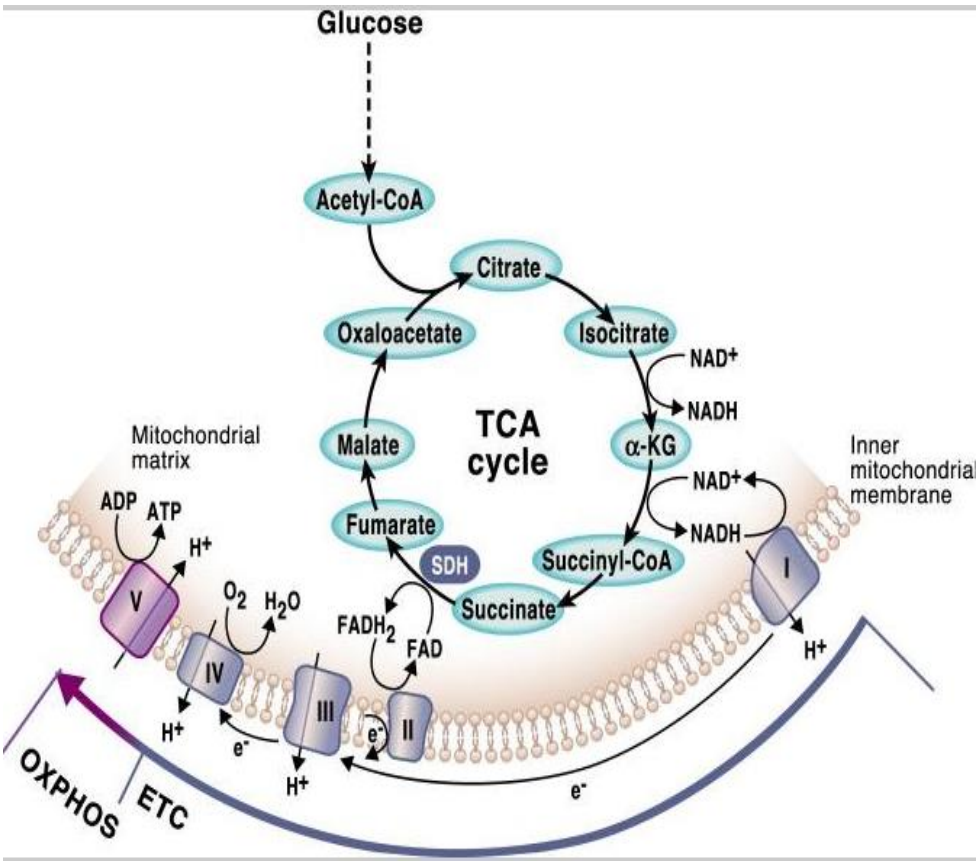
Mitochondria play a role in many cellular metabolic processes including ATP production, apoptosis, calcium homeostasis and synthesis of amino acids, nucleotides and lipids. Though each mitochondrion has its own genome, nuclear DNA encodes many mitochondrial proteins. Known as the subcellular organelles of most eukaryotic cells, mitochondria are responsible for many metabolic process including oxidative phosphorylation (OXPHOS), tricarboxylic acid cycle (TCA cycle), fatty acid oxidation and amino acid metabolism. In these processes, foremost momentous physiological function of mitochondria is to produce ATP by oxidizing nutrients. To join the production of adenosine 5′-triphosphate (ATP), mitochondria use a complex system that interacts with this metabolic network process, where free radicals are produced. Generally, mitochondrial reactive oxygen species (ROS) are generated at the site of the electron transport chain on the inner mitochondrial membrane, and electrons leaking from complex I and complex III cause oxygen consumption. The balance between ROS manufacture and scavenging, which forms the basis of mitochondrial function, is referred to as mitochondrial redox homeostasis. This review summarizes the functional roles of mitochondria.

To Cite: Güç İ. Mitokondrinin İşlevsel Rolleri. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1478-1487.

1. Giriş

Mitokondri, ökaryotik hücrelerin sitoplazmasında bulunan ve ana oksijen tüketen enerji santralleri olarak işlev gören küçük, çift membranlı organellerdir. Mitokondri, elektron taşıma zinciri ve oksidatif fosforilasyon ile birleştirilmiş trikarboksilik asit döngüsü yoluyla hücresel enerjinin ana kaynağıdır. Her bir mitokondri için mitokondriyal genomun yaklaşık 2-10 kopyası ve her bir hücre için onlarca-yüzlerce mitokondri sayılır. Bir ökaryotik hücre birkaç bine kadar mitokondriyal genom içerebilir (Azzam ve ark., 2012).

Mitokondri, hücrenin hayatta kalmasını ve homeostazisini sürdürmek için oksidatif fosforilasyon (OXPHOS) yoluyla genel hücresel metabolizmayı ve Adenozin 5′-trifosfat (ATP) formunda yüksek enerji teminini sağlar (Şekil 1). Mitokondrinin, simbiyotik bakterilerin ilk hücre ataları tarafından hücre içine alınmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Mitokondri, hücresel metabolik ağa sıkı bir şekilde gömülü olmasına rağmen mtDNA'nın replikasyonu ve onarımı, dinamik fisyon ve füzyon mekanizmaları, antioksidanlar tarafından korunma ve serbest radikal temizleme gibi önemli kalite kontrol işlemlerinden sorumludur. Yüksek enerji (ATP) tüketimi yapan dokular, daha fazla sayıda mitokondri ve mitokondriyal kütle sergiler (Onishi ve Okamoto, 2021).

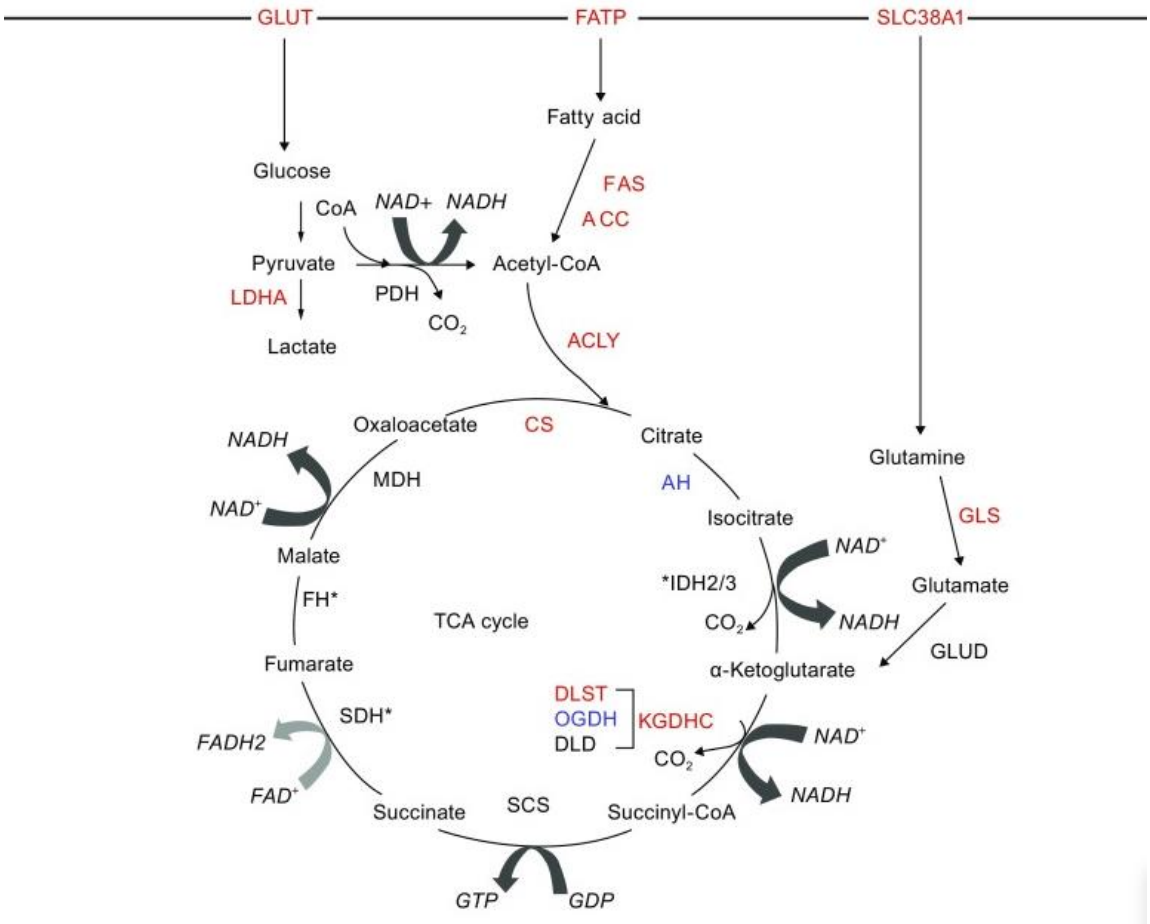


Şekil 1. TCA döngüsü ve OXPHOS (Martinez-Reyes ve Chandel, 2020).

2. Mitokondrinin Hücresel İşlevleri

2.1. Mitokondriyal Metabolizma

Mitokondrinin ana işlevlerinden biri, oksidatif fosforilasyonu gerçekleştirmek ve ATP üretmektir. Oksidatif fosforilasyon, ATP üretimi için oldukça etkili bir mekanizmadır ve çeşitli substratların oksidasyonu tarafından yönlendirilen bir elektron transfer zincirini kullanır. Nikotinamid adenin dinükleotit (NADH2) ve flavin adenin dinükleotit (FADH2), elektron taşıma zinciri tarafından elektron üretmek için kullanılır (Martinez-Reyes ve Chandel, 2020). TCA döngüsü, TCA döngüsüne girmeden önce sırasıyla beta-oksidasyon ve piruvat dehidrojenaz yoluyla asetil-CoA'ya dönüştürülen yağ asitleri ve piruvat gibi çeşitli substratlar tarafından beslenir. Piruvat, glikozun piruvata dönüştürüldüğü glikoliz yoluyla üretilir. Piruvat, TCA tarafından kullanılabilir, ancak aynı zamanda laktata da indirgenebilir (aerobik glikoliz), bu da hızlı ancak nispeten verimsiz ATP üretimi ve laktat üretimi ile sonuçlanır. Glikoliz aynı zamanda nükleotidleri ve NADPH'yi verimli bir şekilde sentezleyen Pentoz Fosfat Yolunu da besler. Glutamin gibi amino asitler , glutaminoliz yoluyla alfa-ketoglutarata dönüştürüldükten sonra TCA tarafından da kullanılabilir (O'Neill ve ark., 2016). Hücrenin metabolik durumuna bağlı olarak, TCA döngüsü elektron taşıma zincirini besler veya TCA ara maddeleri mitokondriden sitozole taşınır; burada yağ asitleri veya nükleotidler oluşturmak için kullanılabilir veya önemli sinyal molekülleri olarak işlev görebilir. ROS bu tür sinyal molekülleridir ve mitokondrinin çeşitli bölgelerinde üretilirler. Aşırı ROS üretimi hücrelere de zarar verebileceğinden, hücrelerde süperoksit dismutaz (SOD) veya katalaz gibi önemli ROS temizleme sistemleri mevcuttur. Mitokondriyal aktivitedeki değişiklikler veya ROS temizleme sistemindeki değişiklikler, mitokondriyal ROS üretimini belirler (Starkov, 2008; Krylatov ve ark., 2018) (Şekil 2).



Şekil 2. TCA döngüsü reaksiyonları (Anderson ve ark., 2018).

2.2. Mitokondrinin Organel Temasları ve Mitokondri Dinamikleri

Mitokondri, birçok hücre tipinde oldukça ayrıntılı ve dinamik ağsı modeller oluşturur. Mitokondriyal ağın yapısı ve dinamikleri kısmen organelin bölünmesi ve füzyonu ile korunur. Hem maya hem de memeli hücrelerinde endoplazmik retikulum (ER), mitokondriyal bölünme olaylarının büyük çoğunluğunda mevcuttur. ER-Mitokondri Karşılaşma Yapısı (ERMES), mayada mitokondriyal bölünme bölgelerinde mitokondri ile ER arasındaki temasa aracılık eder ve yüksek ökaryotlardaki işlevsel olarak eşdeğer bağın kimliği henüz belirlenmemiştir (Friedmann ve ark., 2011; Lackner, 2014). Bölünme noktalarındaki ER-mitokondri temasları, nükleoidlere, mitokondriyal DNA komplekslerine (mtDNA) ve ilgili proteinlere mekansal olarak bağlıdır. Mayadaki çalışmalar ilk olarak ER ile ilişkili mitokondriyal bölünme ile nükleoidlerin bakımı ve dağıtımı arasında bir bağlantı olduğunu gösterdi; bu, daha yakın zamanda memeli hücrelerinde de tarif edilmiştir. Spesifik olarak, bölünmeye devam eden ER-mitokondri temas bölgelerinin küçük alt kümesi, aktif olarak kopyalanan nükleoidlere mekansal ve zamansal olarak bağlıdır. ER ile ilişkili mitokondriyal bölünmenin mtDNA replikasyonu ile birleştirilmesinin, yeni replike edilmiş mtDNA'yı yavru mitokondriye dağıtacak ve nükleoidlerin hücrelerde doğru dağılımını kolaylaştıracak bir mekanizma olarak hizmet etmesi

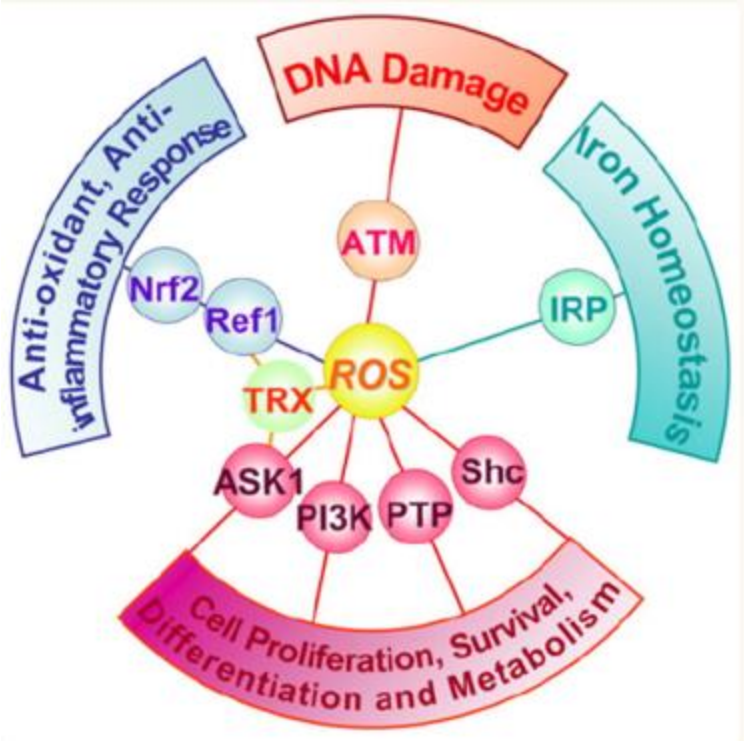
önerilmiştir. Mitokondri matriksinde meydana gelen mtDNA replikasyonunu ve ER-mitokondri temaslarını şu aşamada açıklamak pek mümkün değildir (Murley ve ark., 2013; Lewis ve ark., 2016).

2.3. Metabolik Sinyal Merkezi Olarak İşlevi

Mitokondriyal hastalıkların çeşitli doğası, mitokondrinin hücrelerde ve dokularda oynadığı birçok rolü vurgulamaktadır. Mitokondrinin en iyi oksidatif fosforilasyon yoluyla ATP ürettiği bilinmektedir. Matriste trikarboksilik asit döngüsü enzimleri, elektron taşıma zincirine elektron transferi yapan elektron taşıyıcıları (NADH ve FADH2) üretir. Elektron taşıma zinciri, sıralı redoks reaksiyonları yoluyla protonları matristen pompalamak için konformasyonel değişikliklere uğrayan dört protein makinesinden (I-IV) oluşur. Solunum komplekslerinin ilki ve en büyüğü olan kompleks I, 45 çekirdek alt birimden oluşan karmaşık bir mikro ölçekli pompadır. Kompleks I, III ve IV tarafından üretilen proton gradyanı, ADP'nin ATP'ye fosforilasyonunu yönlendiren döner türbin benzeri ATP sentaz makinesi veya kompleks V aracılığıyla serbest bırakılır. ATP üretiminin ötesinde, OXPHOS tarafından üretilen iç zar elektrokimyasal potansiyeli organelin hayati bir özelliğidir. Membran potansiyeli, mitokondriyal fonksiyonlar için kullanılır ve mitokondriyal fonksiyon bozukluğuna yanıt olarak mitokondriyal davranışları değiştiren moleküler düzeyde değişiklikleri tetiklemek için kullanılır (Diaz ve ark., 2011; Efremov ve Sazanov, 2011).

Kompleks I ve III aynı zamanda lipidler, nükleik asitler ve proteinler dahil hücrelerin temel bileşenlerine zarar verebilen oksijen radikalleri ve hidrojen peroksit dahil olmak üzere reaktif oksijen türlerini de üretir. ROS'un nörodejenerasyon da dahil olmak üzere mitokondriyal fonksiyon bozukluğu ile ilişkili hastalıklara katkıda bulunduğu öne sürülmüştür (Murphy, 2009).

Çok sayıda kanıt, mitokondriyal ROS'un hücre çoğalmasını ve farklılaşmasını kontrol etmek için homeostatik sinyal yollarını da (Şekil 3) etkilediğini ve hipoksi gibi adaptif stres sinyal yollarına katkıda bulunduğunu göstermektedir. Erken yaşlanan fare modellerinde yapılan gözlemler, hematopoietik progenitörlerin, proliferasyonu teşvik eden ve sessizliği önleyen ROS ve/veya redoks durumu değişikliklerine karşı özellikle duyarlı olduğunu göstermektedir. Bu gözlemler, ROS/redoks sinyallemesinin somatik kök hücre fonksiyonunu etkilediğini ve progeroid semptomlara neden olduğunu ve somatik kök hücrelerdeki mitokondriyal fonksiyon bozukluğunun yaşlanmaya bağlı dejenerasyona katkıda bulunabileceğini ortaya koymaktadır (Hamanaka ve Chandel, 2010; Ahlqvist ve ark., 2012).



Şekil 3. ROS hücresel sinyal yolları (Ray ve ark., 2012).

2.4. Mitokondriyal Proteom ve Düzenleme

Mitokondri, enerji üreticileri olarak birincil rolünün yanı sıra bir dizi işleve de katılır. Kalsiyum(Ca^{2+}) depolama alanları olarak önemlidirler ve kalsiyum tepkilerini düzenleyebilirler. Ayrıca diğer rollerin yanı sıra hücre çoğalmasına, farklılaşmasına ve ölümüne aracılık edebilirler. Bu çok sayıda temel fonksiyon, bir dizi mitokondriyal proteine veya sıkı bir şekilde düzenlenen mitokondriyal proteoma dayanır. Mitokondriyal proteom, hasar görmüş veya yanlış katlanmış proteinler açısından sürekli olarak araştırılır ve bu proteinler, büyük ölçüde çeşitli hücresel aktivitelerle ilişkili ATPaz (AAA) proteazların etkisiyle uzaklaştırılır. Mitokondriyal AAA proteazlar, ATP hidrolizinden türetilen enerjiyi çok yönlü işlevlere dönüştürür (Opalinska ve Janska, 2018; Annesley ve Fisher, 2019).

Birkaç AAA proteazının ökaryotik hücrelerde mevcut olduğu bilinmektedir ve bu hücrelerde yalnızca mitokondri ve kloroplastlarda lokalize olmuş gibi görünmektedirler. (Arnold ve Langer, 2002). Mitokondriyal AAA proteazları, kalite kontrol aktivitelerinin geniş çeşitliliği nedeniyle dikkat çekicidir (Glynn, 2017). Oksidatif olarak hasar görmüş proteinler, birleştirilmiş OXPHOS komplekslerinin biyogenezindeki hatalar düzensiz ROS oluşumuna yol açtığında ortaya çıkabilir (Khalimonchuk ve ark., 2007; Bode ve ark., 2013). Anormal OXPHOS bileşenlerini uzaklaştıran AAA proteazlar OXPHOS'un optimal oluşumuna ve bakımına katkıda bulunurlar. Bu proteazlardaki bir eksiklik, mitokondriyal translasyonda bozulmaya, mitokondriyal morfolojide bozukluklara, kalsiyum serbestleşmesine ve mitokondriyal taşınmanın işlevsizliğine neden olabilir. Bütün bu bozukluklar hücre ölümüyle sonuçlanabilir (Annesley ve Fisher, 2019).

2.5. Enerji Sensörleri Olarak Mitokondri

Mitokondrilerin metabolizmadaki merkezi rolleri, onları küresel enerji modülasyonunda kilit aktörler olarak konumlandırmaktadır. Artan ATP ihtiyacı, mitokondriyal kütlenin arttırılması ve OXPHOS'un uyarılmasıyla karşılanır. Örneğin dayanıklılık egzersizi sonrasında mitokondriyal kütle ve aktivitede artış gözlenmektedir. Mitokondriyal biyogenezin düzenlenmesi, vaskülarizasyonu indükleyen, dokulara oksijen dağıtımını artıran ve glikoz ve yağın verimli mitokondriyal oksidasyonunu kolaylaştırmak için oksijen tedarikini sağlayan yollarla sıkı bir şekilde koordine edilir (Hoppeler ve Fluck, 2003; Arany ve ark., 2008).

Mitokondriler ve yaşayabilirlikleri öncelikle sitozolik reaktif oksijen türlerinin üretim seviyesine, adenozin monofosfat protein kinaz (AMPK) sinyallemesine ve kalsiyum dengesine bağlıdır (Walker ve Moraes, 2022). Mitokondriyal dağılım genel olarak heterojendir ve yüksek enerji ihtiyacı olan bölgelerde daha fazla bulunmaktadır (Cunniff ve ark., 2016). ROS mitokondriyal dağılımın fizyolojik düzenleyicisi olarak çalışmakta ve gerektiğinde bu organellerin göçünü geçici olarak yavaşlatabilmektedir. Mitokondri tarafından kalsiyum tüketimi hücre yaşamında önemli bir etkendir ve hücre döngüsü kontrol mekanizması, genom kopyalanması ve hücre bölünmesini sağlamalıdır (Casanova ve ark., 2023). Mitokondriyal Ca^{2+}alımı öncelikle mitokondriyal Ca^{2+}uniporter'a (MCU) bağlıdır ve MCU aracılı etkiler hücre döngüsünü, ATP' yi ve ROS üretimini yönlendirir (Zhao ve Pan, 2021).

Metabolik durumun iki önemli hücresel sensörü, adenozin monofosfat (AMP) ile AMPK ve bir NAD^+ bağımlı deasetilaz olan sirtuin 1 (Sirt1)'dir. AMPK, AMP: ATP oranındaki bir artış ve artan ADP konsantrasyonları ile aktive edilir; bunların her ikisi de kalori alımında bir azalmaya veya enerji harcamasında bir artışa eşlik eder. Çeşitli hedeflerin fosforilasyonu yoluyla, glukoneogenez, OXPHOS ve otofaji dahil katabolik yolları düzenlerken hücre büyümesi ve proliferasyonu dahil anabolik yolları inhibe eder. Sirt1, açlık durumunda ortaya çıkan yüksek NAD + seviyelerine yanıt verir ve AMPK ile birlikte, mitokondriyal kütleyi, besin oksidasyonunu ve ATP üretimini, transkripsiyon kofaktörü, peroksizom proliferatörüyle aktifleştirilen reseptör gama koaktivatörü 1 alfa yoluyla bir hücrenin özel ihtiyaçlarına uyacak şekilde koordineli olarak düzenler (Jager ve ark., 2007; Jeninga ve ark., 2010; Mihaylova ve Shaw, 2011).

3. Tartışma

Bu derlemede, mitokondrinin işlevsel rolü ortaya konmuştur. Mitokondri temelde hücrenin enerji ihtiyacını karşılamakla görevli bir organel olmakla birlikte birçok fonksiyondan sorumludur. Mitokondrinin gerçekleştirdiği bu fonksiyonel işlevinden dolayı hücresel yaşlanma, kanserleşme, hücresel fonksiyon bozuklukları gibi pek çok sorunla yakından ilişkilidir. Mitokondride gerçekleşen aksaklık yetersiz enerji tedariki ile birlikte başlayan süreci beraberinde getirecektir. Mitokondri geçmişten günümüze birçok araştırmaya konu olmuş ve halen açıklanması gereken birçok olgusu

bulunmaktadır. Bununla birlikte bu zamana kadar yapılan araştırmalar hücresel yaşlanma ve kanserleşmenin önlenebilmesi adına önemli sonuçları elde etmemizi sağlamıştır.

4. Sonuç

Sonuç olarak, mitokondri üzerine yapılan araştırmalar halen yeterli seviyede değildir. Hücresel işlev başta olmak üzere hücresel yaşlanma, kanserleşme gibi pek çok alanın aydınlatılabilmesi için mitokondri araştırmalarına hız kesmeden devam edilmeli ve daha çok bulgu elde edilmelidir. Bu sayede insan hayatının kalitesini artırma yönündeki çalışmalar olumlu ilerleyebilecektir.

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

Ahlqvist KJ., Hamalainen RH., Yatsuga S., Uutela M., Terzioğlu M., Götz A., Forsström S., Salven P., Angers-Loustau A., Kopra OH., Tyynismaa H., Larsson NG., Wartiovaara K., Prolla T., Trifunovic A., Suomalainen A. Somatic progenitor cell vulnerability to mitochondrial DNA mutagenesis underlies progeroid phenotypes in polg mutator mice. Cell Metabolism 2012; 15(1): 100–109.

Anderson NM., Mucka P., Kern JG., Feng H. The emerging role and targetability of the TCA cycle in cancer metabolism. Protein Cell 2018; 9(2): 216–237.

Annesley SJ., Fisher PR. Mitochondria in health and disease. Cells 2019; 8(7): 680.

Arany Z., Foo SY., Ma Y., Ruas JL., Bommi-Reddy A., Girnun G., Cooper M., Laznik D., Chinsomboon J., Rangwala SM., Baek KH., Rosenzweig A., Spiegelman BM. HIF-independent regulation of VEGF and angiogenesis by the transcriptional coactivator PGC-1 alpha. Nature 2008; 451: 1008–1012.

Arnold I., Langer T. Membrane protein degradation by AAA proteases in mitochondria. Biochimica et Biophysica Acta 2002; 1592(1): 89-96.

Azzam EI., Jay-Guerin JP., Pain D. Ionizing radiation-induced metabolic oxidative stress and prolonged cell injury. Cancer Letters 2012; 327(1-2): 48–60.

Bode M., Longen S., Morgan B., Peleh V., Dick TB., Bihlmaier K., Herrmann JM. Inaccurately assembled cytochrome c oxidase can lead to oxidative stress-induced growth arrest. Antioxid Redox Signal 2013; 18(13): 1597–612.

Casanova A.,Wevers A., Navarro-Ledesma S., Pruimboom L. Mitochondria: It is all about energy. Frontiers in Physiology 2023; 14: 1114231.

Cunniff B., McKenzie AJ., Heintz NH., Howe AK. AMPK activity regulates trafficking of mitochondria to the leading edge during cell migration and matrix invasion. Molecular Biology of The Cell 2016; 27(17): 2662–2674.

Diaz F., Kotarsky H., Fellman V., Moraes CT. Mitochondrial disorders caused by mutations in respiratory chain assembly factors. Semiars in Fetal and Neonatal Medicine 2011; 16(4): 197–204.

Efremov RG., Sazanov LA. Respiratory complex I: 'steam engine' of the cell. Current Opinion in Structural Biology 2011; 21(4): 532–540.

Friedmann JR., Lackner LL., West M., DiBenedetto JR., Nunnari J., Voeltz GK. ER tubules mark sites of mitochondrial division. Science 2011; 334(6054): 358–362.

Glynn SE. Multifunctional mitochondrial AAA proteases. Frontiers in Molecular Biosciences 2017; 4: 34.

Hamanaka RB, Chandel NS. Mitochondrial reactive oxygen species regulate cellular signaling and dictate biological outcomes. Trends in Biochemical Sciences 2010; 35(9): 505–513.

Hoppeler H., Fluck M. Plasticity of skeletal muscle mitochondria: structure and function. Medicine and Science in Sports and Exercise 2003; 35(1): 95–104.

Jager S., Handschin C., St-Pierre J., Spiegelman BM. AMP-activated protein kinase (AMPK) action in skeletal muscle via direct phosphorylation of PGC-1 alpha. Proceedings of The National Academy of Sciences of the United States of America 2007; 104(29): 12017–12022.

Jeninga EH., Schoonjans K., Auwerx J. Reversible acetylation of PGC-1: connecting energy sensors and effectors to guarantee metabolic flexibility. Oncogene 2010; 29: 4617–4624.

Khalimonchuk O., Bird A., Winge DR. Evidence for a pro-oxidant intermediate in the assembly of cytochrome oxidase. The Journal of Biological Chemistry 2007; 282(24): 17442–17449.

Krylatov AV., Maslov LN., Voronkov NS., Boshchenko AA., Popov SV., Gomez L., Wang H., Jaggi AS., Downey JM. Reactive oxygen species as intracellular signaling molecules in the cardiovascular system. Current Cardiology Reviews 2018; 14(4): 290-300.

Lackner LL. Shaping the dynamic mitochondrial network. BMC Biology 2014; 12: 35.

Lewis SC., Uchiyama LF., Nunnari J. ER-mitochondria contacts couple mtDNA synthesis with mitochondrial division in human cells. Science 2016; 353(6296).

Martinez-Reyes I., Chandel NS. Mitochondrial TCA cycle metabolites control physiology and disease. Nature Communications 2020; 11: 102.

Mihaylova MM., Shaw RJ. The AMPK signalling pathway coordinates cell growth, autophagy and metabolism. Nature Cell Biology 2011; 13: 1016–1023.

Murley A., Lackner LL., Osman C., West M., Voeltz GK.,Walter P., Nunnari J. ER-associated mitochondrial division links the distribution of mitochondria and mitochondrial DNA in yeast. Elife 2013; 14: 2.

Murphy MP. How mitochondria produce reactive oxygen species. The Biochemical Journal 2009; 417(1): 1–13.

O'Neill LA., Kishton RJ., Rathmell J. A guide to immunometabolism for immunologists. Nature Reviews Immunology 2016; 16: 553-565.

Onishi M., Okamoto K. Mitochondrial clearance: mechanisms and roles in cellular fitness. FEBS Letters 2021; 595: 1239–1263.

Opalinska M., Janska H. AAA proteases: guardians of mitochondrial function and homeostasis. Cells 2018; 7(10): 163.

Ray PD., Huang BW., Tsuji Y. Reactive oxygen species (ROS) homeostasis and redox regulation in cellular signaling. Cell Signal 2012; 24(5): 981–990.

Starkov AA.The role of mitochondria in reactive oxygen species metabolism and signaling.Annals of the New York Academy of Sciences 2008, 1147: 37-52.

Walker BR., Moraes CT. Nuclear-mitochondrial interactions. Biomolecules 2022; 12(3): 427.

Zhao H., Pan X. Mitochondrial Ca2+ and cell cycle regulation. International Review of Cell and Molecular Biology 2021; 362: 171–207.

OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
8(3): 1488-1524, 2025

OKU Journal of The Institute of Science and Technology, 8(3): 1488-1524, 2025

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Fall Detection and Prevention Systems: Sensor Type Perspective

Mehmet Akif BUZPINAR[1*]

[1]Sivas Cumhuriyet University, Gemerek Vocational School, 58840, Sivas, Türkiye

[1]https://orcid.org/0000-0001-6568-9636
*Sorumlu yazar: mbuzpinar@cumhuriyet.edu.tr

Review Article

Article History:
Received: 05.07.2024
Accepted: 04.03.2025
Published online:16.06.2025

Keywords:
Fall detection
Fall prevention
Machine learning
Deep learning
Fall sensor types

ABSTRACT

Falls among older adults pose significant health risks, making their prevention and detection critical areas of research. This review examines fall detection and prevention systems, categorizing them based on sensor types and utilization methods: wearable sensors, environmental sensors, radio-frequency-based sensors, and hybrid systems. Additionally, it explores the methods employed within these systems. Given the limitations of traditional linear approaches in accurately detecting falls, recent research emphasizes artificial intelligence (AI) techniques, particularly machine learning (ML) and deep learning (DL), to enhance detection accuracy and system functionality. The review provides an overview of the sensors and algorithms used in fall detection and prevention systems, alongside their outcomes. Key findings and challenges related to specific sensors and systems are discussed in detail. This analysis offers researchers a comprehensive understanding of current technologies, highlights the contributions of AI methods, and outlines potential future directions in the field. By evaluating sensors, methodologies, and system sensitivities, the aim is to contribute to the development of effective solutions tailored to specific sensitivities.

Sensör Tipleri Perspektifinden: Düşme Algılama ve Önleme Sistemleri

Derleme Makalesi

Makale Tarihçesi:
Geliş tarihi: 05.07.2024
Kabul tarihi: 04.03.2025
Online Yayınlanma:16.06.2025

Anahtar Kelimeler:
Düşme algılama
Düşme önleme
Makine öğrenmesi
Derin öğrenme
Düşme sensör tipleri

ÖZ

Yaşlı bireylerde düşmeler, önemli sağlık riskleri oluşturmakta ve bu durum, önleme ve tespit çalışmalarını kritik bir araştırma alanı haline getirmektedir. Bu derleme, düşme tespit ve önleme sistemlerini kullanılan sensör türleri ve yöntemlerine göre sınıflandırarak incelemektedir: giyilebilir sensörler, çevresel sensörler, radyo frekansı tabanlı sensörler ve hibrit sistemler. Ayrıca, bu sistemlerde kullanılan yöntemler ele alınmaktadır. Geleneksel doğrusal yaklaşımların düşme olaylarını doğru bir şekilde tespit etmedeki sınırlamaları göz önüne alındığında, son yıllarda makine öğrenmesi (ML) ve derin öğrenme (DL) gibi yapay zeka (YZ) teknikleri üzerine yapılan araştırmalar ön plana çıkmaktadır. Bu derleme, düşme tespit ve önleme sistemlerinde kullanılan sensörler ve algoritmalar ile bunların sonuçlarına dair kapsamlı bir bilgi sunmaktadır. Belirli sensörler ve sistemlerle ilgili temel bulgular ve zorluklar detaylı bir şekilde tartışılmaktadır. Çalışma, mevcut teknolojiler hakkında araştırmacılara geniş bir bakış açısı kazandırmayı, YZ yöntemlerinin katkılarını vurgulamayı ve alanın gelecekteki yönelimlerini ortaya koymayı hedeflemektedir. Sensörler, metodolojiler ve sistem duyarlılıkları değerlendirilerek, etkili ve hassasiyetlere uygun çözümlerin geliştirilmesine katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

To Cite: Buzpinar MA. Fall Detection and Prevention Systems: Sensor Type Perspective. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2025; 8(3): 1488-1524.

1. Introduction

Advancements in medicine and global population growth contribute to an increase in the proportion of the elderly population. The World Health Organization (WHO) predicts that by 2050, the number of elderly individuals will exceed 1.5 billion. According to a report from 2015 by WHO, the elderly population (aged 60 and above), which was 900 million at the time, accounted for 22% of the world's population. Furthermore, it is indicated that the annual fall rate among adults aged 70 and above is expected to increase from 32% to 42%. Falls have both physical and psychological effects that restrict the quality of life for the elderly (Qiu et al. 2019). Serious injuries resulting from falls, such as fractures, bruises, and head traumas, or even mild injuries that limit daily activities, can diminish a person's quality of life (Faes et al. 2010). The fear of falling leads to a decrease in engaging in physical activities, resulting in a decline in mobility and muscle strength, and an increased risk of falling. The development of a fear of falling can reduce one's joy of life and diminish their commitment to life (Kuzuya et al. 2006), (Zhu et al.2021). Consequently, it is an essential need for the elderly to detect falls in order to provide timely assistance if falls cannot be prevented or to issue warnings by predicting falls in order to improve overall quality of life (Yu et al. 2008).

Falls can be divided into two main categories: fall detection and prevention. Fall detection involves using data obtained from sensors or cameras to detect a fall event and make a distress call. Fall prevention aims to predict and prevent falls by observing human movements. Various strategies, such as combinations of different sensors, artificial intelligence methods, and threshold-based approaches, are being explored in fall detection and prevention studies.

Over the past twenty years, fall detection and prevention strategies have become a significant focus in addressing the issue of falls among the elderly. Particularly, fall detection methods have been extensively investigated by researchers. These systems aim to obtain more data by utilizing different types of sensors and process the data using statistical and artificial intelligent methods. Efforts have been made to achieve more successful results through the use of artificial intelligence algorithms and analysis techniques. Sensor types used in fall detection and prevention systems are classified and shown in Figure 1.

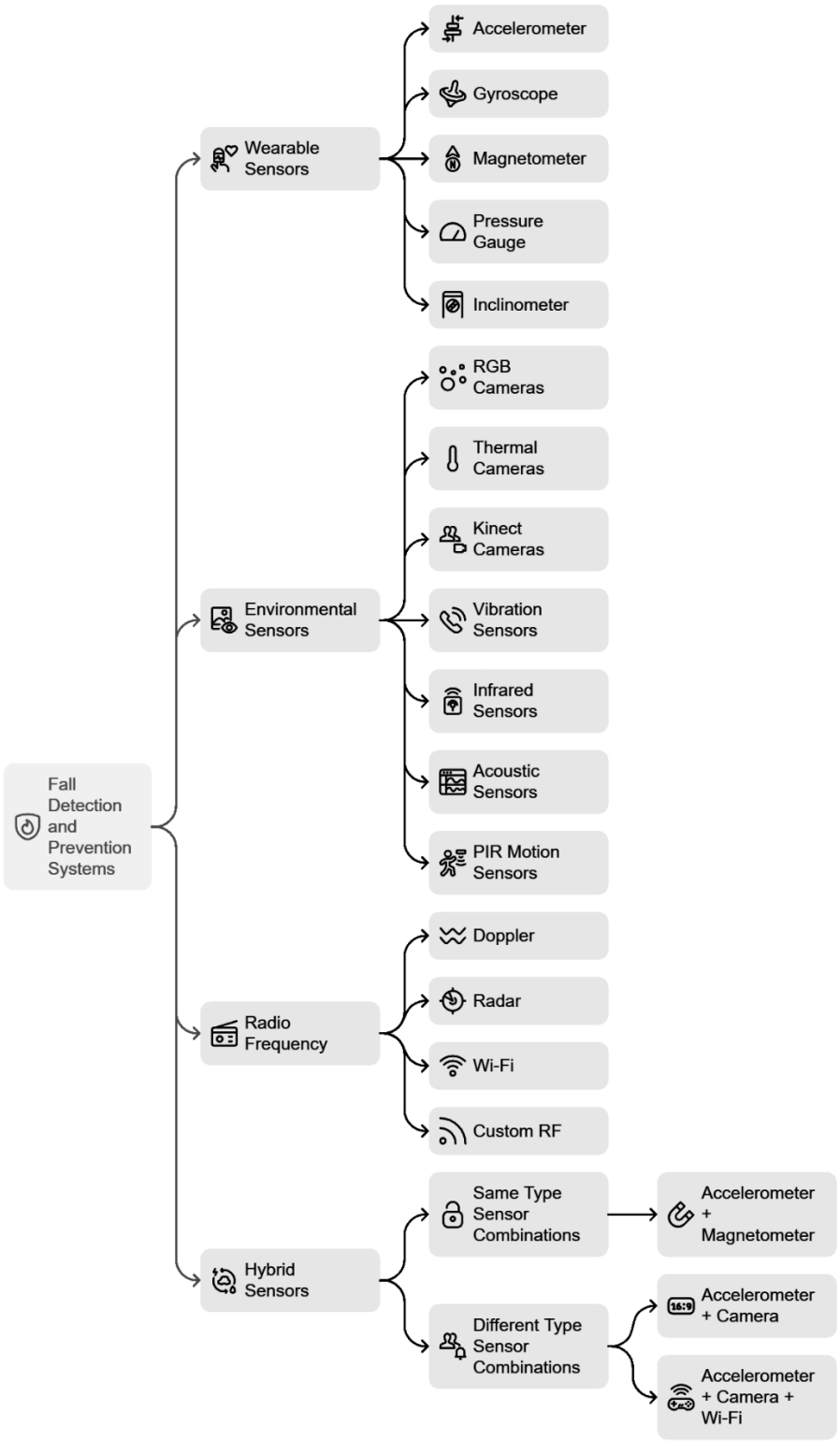


Figure 1. Fall detection and prevention systems classified with sensor type.

Fall detection and prevention systems work by measuring sensor data in three basic time periods: before the fall, during the fall and after the fall. While fall prevention systems generally focus on pre-fall sensor data from these time intervals, fall detection systems focus on sensor data during and after the fall. One of the fall detection studies only considers the large acceleration effect (Hwang et al. 2004). In some

systems, more successful results have been achieved with different combinations of sensor number and type. Among these, studies were found in which a three-axis accelerometer and gyroscope were preferred for fall detection (Li et al. 2009). In another study, to improve the performance, the authors proposed a multi-modal fall detection, which is a three-step fall detection strategy consisting of multiple signal sources, including an accelerometer, audio and video techniques (Zhang et al. 2013). Fall detection studies have been carried out using different sensors such as accelerometer and microphone sensors in the smartphone (Shakeri 2017). In articles (Shahzad et al. 2018) and (Quadros et al. 2018), the authors effectively detected falls using machine learning, one of the artificial intelligence methods. Finally, in recent years, attention has been drawn to studies using Radio Frequency (RF)-based Wi-Fi and Bluetooth technologies, which are carried out on the principle of measuring the strength of the signal weakened after the absorption of wireless network signals (Wang et al. 2016; Yusuf et al. 2021).

The categorization of sensor types and combinations applied to enhance the efficacy of fall detection systems is examined in this review under the following subcategories:

- Studies utilizing wearable (inertial) sensors,
- Studies employing environmental sensors, which include both image-based approaches (RGB, depth sensors, Kinect cameras) and non-image-based methods (such as passive infrared (PIR) sensors and vibration sensors),
- Measurements and studies based on Radio Frequency (RF) signals, including Wi-Fi and custom RF configurations,
- Studies employing combined sensor systems, involving various sensor types and combinations, such as cameras, accelerometers, PIR sensors, and pressure sensors.

In the second section, sensors are described in terms of their material properties, while the methodology section outlines the literature review approach. The third section classifies fall detection and sensing systems based on the types of sensors employed. The reviewed studies are analyzed to identify the strengths and limitations of each sensor type and system approach. In the fourth section, a comprehensive discussion is provided on the advantages and disadvantages of these studies. Finally, the fifth section presents recommendations derived from the review findings and proposes future research directions in this field.

2. Materials and Methods

This section explains the types of sensors encountered in the literature review and their fundamental operating principles. The methodology section provides an overview of the study's position within the literature along with some explanation.

2.1 Materials

The fundamental definitions, sensor types, primary categorization, and working principles of fall detection and prevention systems are detailed in this section.

2.1.1 Sensor Types

In studies on fall detection and prevention systems, various approaches have been proposed using different sensor types and artificial intelligence (AI) techniques. The sensor types frequently encountered in literature can be divided into four main categories: wearable sensors, environmental sensors, radio frequency (RF)-based sensors, and hybrid systems (Figure 2).

Wearable sensors directly measure body movements using sensors such as accelerometers, gyroscopes, and magnetometers. These sensors are placed on different parts of the body to detect joint movements and body dynamics.

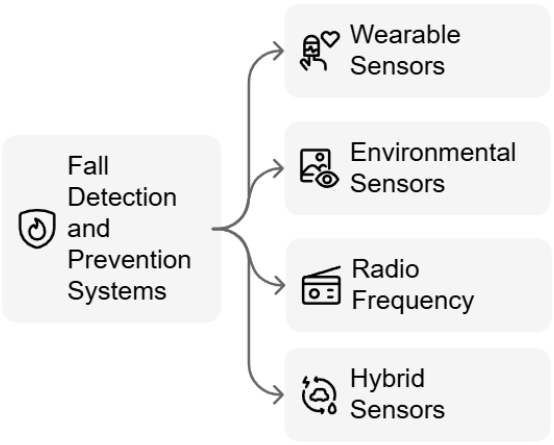


Figure 2. Fall detection and prevention systems classified with sensor type.

Wearable sensors, which are commonly used in fall detection systems, are attached to the body to continuously monitor and analyze movements (Fig. 3).

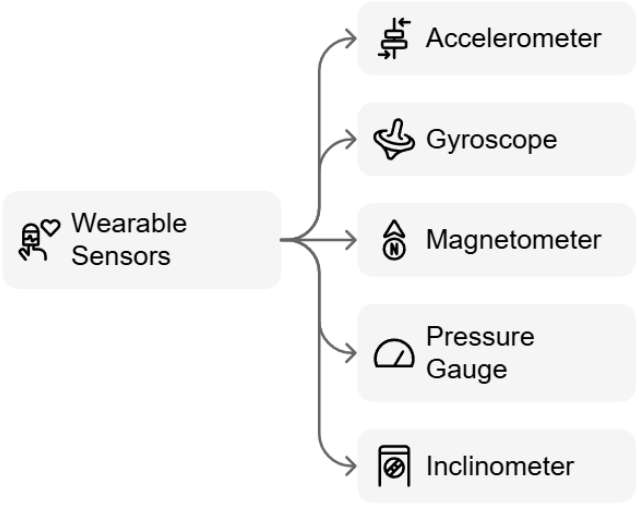


Figure 3. Wearable sensors in fall detection and prevention systems

Accelerometers are sensors that measure body movement acceleration along three axes (x, y, z). In fall detection systems, they are used to continuously monitor an individual's movement dynamics and identify fall events. Accelerometers can analyze parameters such as step count, duration of physical

activity, energy expenditure, and posture changes (Kangas et al., 2012). Due to their lightweight, low cost, low power consumption, and small size, they are widely used in wearable devices.

Gyroscopes measure the angular velocity of the body and are typically used in conjunction with accelerometers to enable a more detailed analysis of movements. They play a crucial role in detecting sudden rotational movements during falls, helping to determine the direction and intensity of the motion. Studies indicate that integrating gyroscopes with accelerometers enhances the accuracy of fall detection systems (Liu et al., 2020). However, gyroscopes have high power consumption and, when used alone, may result in a high rate of false positives (Najafi et al., 2003).

Magnetometers measure magnetic fields to provide orientation information. In fall detection systems, they are used to determine the body's spatial orientation and detect sudden position changes during a fall (Ojetola et al., 2015). Magnetometers are commonly found in smartphones and wearable devices. However, they can be influenced by environmental magnetic fields, which limits their accuracy when used alone. For more reliable results, they are typically combined with accelerometers and gyroscopes (Yang and Hsu, 2010).

Pressure sensors measure the force applied to the body and are used to detect pressure changes that occur during a fall. They are particularly placed in shoe soles or other body regions to detect impact forces and assess fall severity (Tong et al., 2018). In fall detection systems, pressure sensors are often integrated with other sensors to analyze physical contact and pressure distribution. However, their accuracy may vary depending on their placement on the body.

Barometers are sensors that measure atmospheric pressure to detect changes in altitude. In fall detection systems, they are used to identify sudden drops in elevation. Rapid altitude changes occurring during a fall can be detected by barometric sensors, contributing to fall event identification. They play a significant role in detecting falls in environments with elevation differences, such as multi-story buildings and staircases (Ejupi et al., 2016). However, their sensitivity can be affected by atmospheric conditions, limiting their reliability when used alone. Therefore, they are often integrated with accelerometers and gyroscopes to develop more accurate fall detection systems (Lin et al., 2017).

Inclinometers are sensors that measure the tilt angle and deviation from the vertical axis. In fall detection systems, they are used to detect sudden angular changes in body posture. By utilizing gravity-based measurements, they analyze postural changes and detect angular differences during a fall. Additionally, they can be employed to monitor postural abnormalities and balance disorders (Sun et al., 2018).

Due to their low power consumption and small size, these sensors can be easily integrated into portable devices. However, their sensitivity to movement can lead to a high rate of false positive alarms, and their accuracy in fall detection is limited when used alone. Therefore, they are typically combined with other sensors, such as accelerometers and gyroscopes, to achieve more reliable results.

Environmental sensors that are not positioned on the body, include camera-based (RGB, depth, thermal) systems and passive infrared (PIR) sensors. Camera-based systems detect falls using image

processing techniques, while PIR sensors operate by detecting thermal changes caused by the movement of living beings. They are strategically placed in living spaces (e.g., residences, care facilities) to detect falls and identify factors that increase the risk of falls. The performance and features of different camera types used in fall detection systems play an important role in increasing the effectiveness of these systems. In this context, RGB cameras, Kinect cameras (depth cameras), and thermal cameras, which are evaluated within the scope of environmental sensors, are among the basic imaging systems used in the detection of falls (Figure 4).

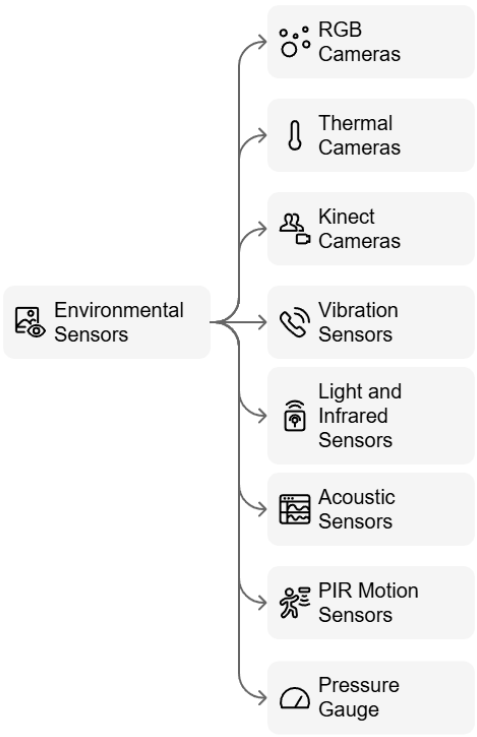


Figure 4. Fall detection and prevention systems classified with environmental sensors.

RGB cameras are widely used in fall detection systems due to their low cost and widespread availability (Mastorakis and Makris, 2014). These cameras provide three-channel (red, green, blue) imaging, allowing for a detailed visual analysis of the environment. In studies utilizing a single camera, fall detection is achieved by analyzing changes in the human silhouette over time (Rougier et al., 2011). Image processing techniques are used to detect fall instances, analyze movement patterns, and identify abnormal situations. However, RGB cameras are sensitive to ambient lighting conditions, and their detection accuracy decreases under low or variable light levels (Kwolek and Kepski, 2014). To address these limitations, they have been integrated with deep learning-based object detection algorithms such as YOLOv5, resulting in more reliable fall detection systems (Redmon et al., 2016). Additionally, to mitigate privacy concerns, techniques such as 2D skeleton estimation are employed instead of raw RGB images (Shotton et al., 2011). To improve reliability, multi-camera systems capable of capturing images from different angles have been proposed (Stone and Skubic, 2011).

Thermal cameras operate solely based on temperature distribution data and offer high accuracy rates regardless of ambient lighting conditions (Feng et al., 2014). These systems detect falls by recognizing body temperature variations and allow the use of simpler deep learning models due to their low-resolution thermal images (Feng et al., 2014). Thermal imaging systems provide significant advantages in privacy-sensitive environments since they do not contain personal identifying information such as facial recognition and rely solely on heat distribution data (Feng et al., 2014). However, due to their low resolution, detailed body movement analysis becomes challenging. Therefore, integrating thermal cameras with additional sensors or other imaging systems is recommended for fall detection.

Kinect Cameras (Depth Cameras) provide RGB-D data, enabling distance measurements between a person and the ground, as well as motion analysis (Zhang, 2012). Depth sensors generate three-dimensional maps of the environment using active infrared light projection to obtain distance information. This enhances accuracy by analyzing body posture and key joint movements during a fall (Stone and Skubic, 2011). Microsoft Kinect is one of the most widely used depth cameras and serves as a valuable tool for detailed analysis of fall events by performing 3D skeleton joint estimation (Shotton et al., 2011). Kinect systems address some privacy concerns associated with RGB cameras by utilizing depth information. However, these systems require high computational power, while their low-cost versions allow for in-home gait assessments (Clark et al., 2012). Nevertheless, the primary drawbacks of Kinect systems include higher costs compared to RGB cameras and their superior performance at shorter distances (Khoshelham and Elberink, 2012).

Vibration sensors detect vibrations caused by falls or sudden movements. They are used to identify vibrations occurring on the ground during a fall and to analyze an individual's gait pattern. Vibration data can provide information on step length, walking speed, and balance (Jenkins et al., 2016). These sensors offer comfortable, contact-free monitoring but may generate false alarms depending on the surface characteristics. Additionally, installation costs can be high.

Light sensors measure ambient light levels and help assess fall risk. They can analyze fall risks under low-light conditions since inadequate lighting can cause elderly individuals to lose their balance (Santos et al., 2013). These sensors can also track daily activities by analyzing light variations to estimate wake-up and sleep times or movements between rooms. Although light sensors are easy to install and cost-effective, they may be affected by external factors such as sunlight and artificial lighting. Their accuracy in fall detection is limited when used alone.

Pressure sensors analyze fall events by measuring pressure applied to the surface. They can detect sudden pressure changes on the ground during a fall and work in conjunction with vibration sensors. Additionally, they are used for monitoring in-bed movements, analyzing sleep duration, sleep patterns, and mobility levels (Al-Nashash et al., 2015). Pressure sensors can also assess gait balance by analyzing step pressure changes and provide reliable data since they directly measure pressure variations. However, they have a limited detection area, and the presence of pets or other individuals may lead to false alarms.

Motion sensors are used to detect an individual's movements, with passive infrared (PIR) sensors being the most used type. They are employed for:

- Detecting falls by identifying sudden movement changes,
- Evaluating an individual's mobility level,
- Identifying prolonged inactivity, which may indicate a potential fall (Pannurat et al., 2014).

These sensors can cover large areas, are easy to install, and are cost-effective. However, they may generate false alarms due to pet movements or other individuals and can be affected by environmental factors such as temperature changes.

In contrast, non-body-worn environmentally positioned sensors include camera-based (RGB, depth, thermal) systems and passive infrared (PIR) sensors. Camera-based systems detect falls using image processing techniques, while PIR sensors work by detecting thermal changes resulting from the movements of living beings.

RF-based systems, which use wireless communication technologies, track the movements of individuals and detect falls using Wi-Fi signals. Hybrid systems integrate different sensor types to provide more comprehensive monitoring and detection capabilities. RF sensors utilize radio frequency waves to analyze transmitted and received waveforms during communication. Additionally, they leverage channel state information (CSI) obtained from Wi-Fi wireless networks to detect movements. These detection systems can be categorized into three primary groups (Figure 5).

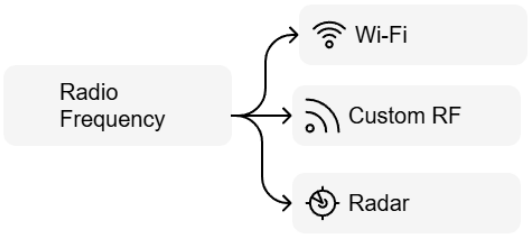


Figure 5. RF sensors for Fall detection and prevention systems

Wi-Fi is an RF-based technology that operates within the framework of IEEE 802.11 standards, enabling wireless data transmission (IEEE, 2020). This widely used technology functions in the 2.4 GHz and 5 GHz frequency bands to facilitate local network and internet access. However, wireless data exchange in such networks is continuously subjected to signal attenuation, reflections, and occasional data packet loss (Figure 6).

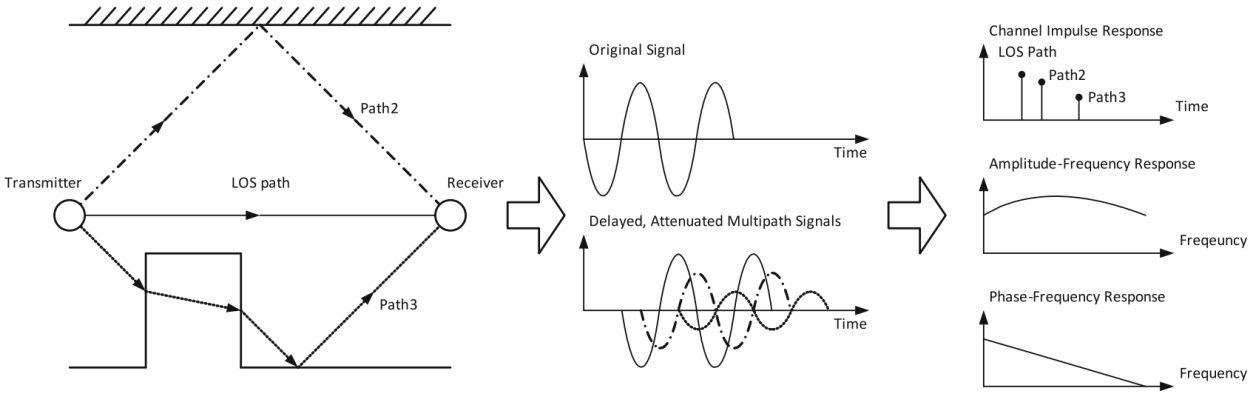


Fig.6 Multipath propagations, received signals, and channel responses (Yang et al., 2013)

Channel State Information (CSI) is used to determine wireless channel characteristics. CSI represents a set of parameters that define the amplitude and phase properties of a wireless channel. On the receiver side, it measures the impact of the signal on different subcarriers, thereby reflecting the physical state of the channel (Xie et al., 2019). CSI data is applied in various domains, including environmental sensing, indoor localization, motion recognition, and wireless communication optimization (Wang et al., 2017).

2.2. Method

In this section, existing literature on sensor-based fall detection and prevention systems has been evaluated based on review articles published by leading academic publishers (Mohan et al., 2024; Costa Junior et al., 2021; Purwar and Chawla, 2024; Usmani et al., 2021; Anonymous, 2022). Each cited paper in these reviews was assessed for accessibility and content, and similar or unavailable studies were excluded from the scope. Additionally, the literature was expanded and updated by searching for articles published after the review papers through Google Scholar. When selecting articles, preference was given to those published in reputable journals by publishers such as IEEE, Elsevier, Wiley, and Springer. To ensure comprehensive coverage and avoid overlooking unique contributions in the literature, a limited number of conference papers and articles published in SCI-indexed journals were also included.

3. Sensors in Fall Detection and Prevention Systems

Many different studies in the field of fall detection and prevention have been carried out using various sensor types and combinations. The data obtained was processed with different methods and fall detection and prevention systems were developed. Among these methods, solutions have been produced by using threshold value, artificial intelligence methods without threshold value and artificial intelligence approaches with integrated threshold value. Studies on sensors and their combinations continue to be carried out to increase the effectiveness of fall detection and prevention systems and to obtain more reliable results.

3.1. Wearable Sensors

It is well established that the majority of fall detection studies utilize accelerometers, gyroscopes, or other sensor types capable of detecting sudden impacts, changes in body orientation, or tilts. To monitor these variations in the human body, one or more sensors are strategically placed on different body parts of older adults, enabling the identification and differentiation of falls from Activities of Daily Living (ADL).

Wearable inertial sensors, including accelerometers, gyroscopes, and magnetometers, are commonly employed to detect and measure physical movements. These sensors are widely used to capture motion data from various body regions due to their compact size, affordability, and real-time data processing capabilities. They can be integrated into specially designed devices, general-purpose development boards, smartphones, and smartwatches. When attached to the body, these devices can detect abrupt changes, analyze gait patterns, monitor body posture, and capture muscle control signals. Consequently, falls and other physiological changes can be effectively detected (Figure 7).

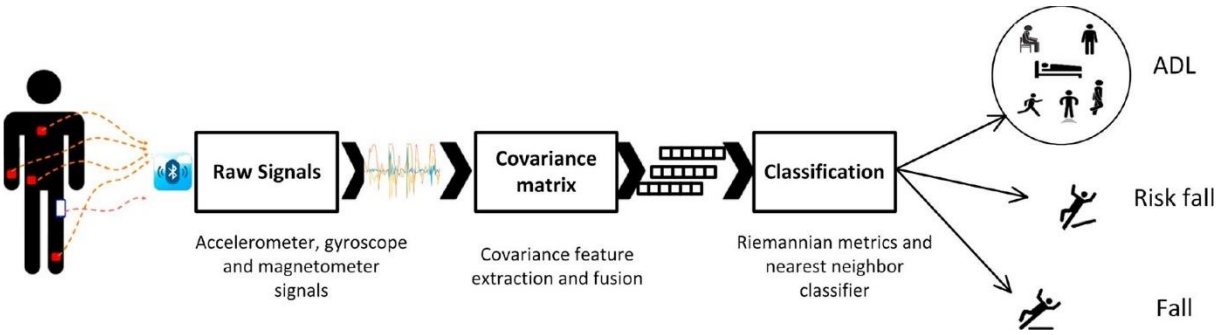


Figure 7. ADL and fall detection with multiple wearable sensor (Boutellaa et al. 2019)

A significant portion of research on fall detection and prevention leverages inertial sensors to monitor body movements and identify fall events. These sensors are recognized as effective tools for early detection and prevention by accurately tracking individual movements. Currently, two- or three-axis accelerometers and gyroscopes are widely utilized, and some studies suggest that integrating these sensors with additional inertial sensors can enhance accuracy (Table 1).

Wang et al. proposed an approach that combines the threshold-based screening method with machine learning models such as Support Vector Machines (SVM), K-Nearest Neighbor (KNN), Decision Tree, Random Forest (RF), and XGBoost for fall detection (Wang et al. 2024). The study by Otanasap et al. also contributes to the research in this field (Otanasap et al. 2023). Salah et al. developed a fall prevention system that uses only accelerometers and has a high accuracy rate (Salah et al. 2022). Casilari et al. proposed a gyroscope-based fall detection method (Casilari et al. 2020). Kostopoulos et al. developed a fall detection method based on inertial sensors for elderly individuals (Kostopoulos et al. 2016). Su et al. performed fall detection using gyroscopes in their studies (Su et al. 2016) (Table 1).

Table 1. Fall detection and prevention system studies using inertial sensors.

Sensor Class	Sensor	Sensor Location	Activity	Classification Algorithm	Performance	Reference
WSHAR	3A	Wrist-Waist-Neck	FD	Treshold with KNN, SVM, DT, RF, XGBoost	ACC (avarage):99,65%	Wang et al. 2024
WSHAR	3A	Chest	FP	LR	ACC: 99,48% S: 95,31%	Otanasap et al. 2023
WSHAR	3A	NA	FD	CNN	ACC:95,55%	Salah et al. 2022
WSHAR	2G	Arm	FD	CNN	S:99%	Casilari et al. 2020
WSHAR	3A	Arm	FD	DT	ACC: 93,75%	Yacchirema et al. 2018
WSHAR	3A	Hip, back of calf and foot	FD	k-NN SVM	ACC: 81,2% ACC: 88,77%	Suriani et al. 2018
WSHAR	SW 3A	Wrist	FD	SVM and NB	ACC: 86%	Mauldin et al. 2018
WSHAR	3A	Chest, Arm	FD	k-NN	F-Score: Chest 98% F-Score: Arm 92%	Putra et al. 2018
WSHAR	3A	Between l3 and l5 vertebrae	FP	BBS	RMSE=1,66	Shahzad et al. 2017
WSHAR	G	Right Calf and Arm	FP	Hierarchical classifier	ACC: 97,5% S: 98,1%	Sue et al. 2016
WSHAR	3A	Body, Left and Right Body	FP	Visual classification	S: 76,1-89.4%	Fino et al. 2015
WSHAR	3A	Lever	FP	LR	ACC: 90-100%	Liu et al. 2014
WSHAR	3A	All Body Part Segmented	FP	ICA and NN	ACC: 95,4%	Martelli et al. 2014
WSHAR	3A	Rear Tread	FP	BBS-task based method	ACC: 87,2% S: 89,5%	Simila et al. 2014

Wearable Sensor-based Human Activity Recognition (WSHAR), 3 axis accelerometer (3A), Not Available (NA), convolutional neural network (CNN), Fall Detection (FD), Fall Prevention (FP), k-Nearest Neighbors (k-NN), Naïve Bayes (NB), Support Vector Machine (SVM), Accuracy (ACC), 2-axis gyroscope (2G), 2-axis gyroscope (2G), 3-axis gyroscope (3G), microgyroscope (uG), Sensitivity (S), Root Mean Square Error (RMSE), Scoreberg balance scale (BBS), Logistic Regression (LR), Smart Watch (SW), Neural Network (NN), Independent Component Analysis (ICA), Decision Tree (DT)

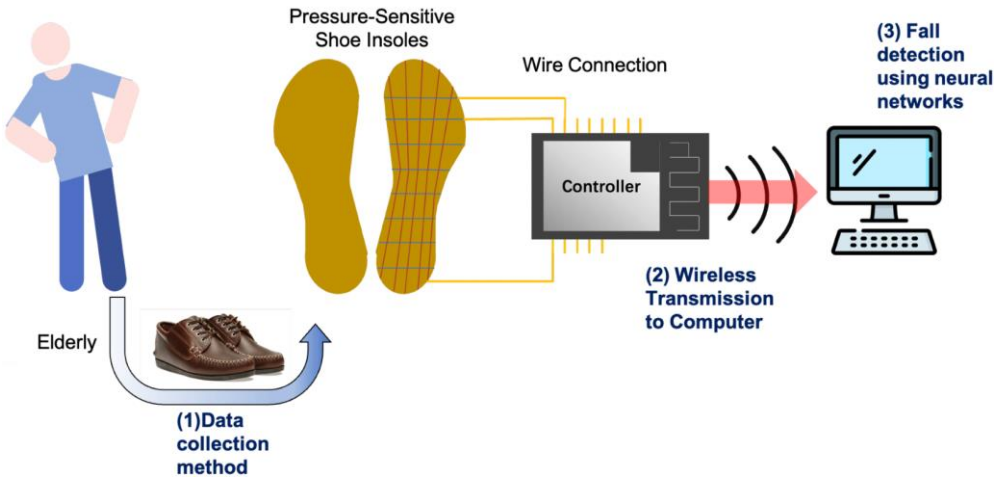


Figure 8. Pressure sensor-based fall detection system (Guo et al. 2024)

Fall detection and fall prevention systems with pressure sensors presented on table 2. In the study of (Guo et al. 2024) a pressure-based fall detection system for the elderly placed a pressure sensor on each insole equipped with 5 × 9 resistive films and uses the ResNet3D algorithm. The 2023 paper by Wang et al. aims to recognize human movements using a shoe-based triboelectric nanogenerator (TENG) for fall detection application. The researchers use a TENG system integrated into the sole of the shoe to generate electrical signals from the friction between the human body and the shoe. These signals are used to distinguish different human movements such as walking, running, jumping, and falling (Wang et al. 2023). In another Lu et al., it was stated that only pressure sensors were used to detect prevent falls (Lu et al. 2019). Similarly, in the study of Chaccour et al., it was stated that only pressure sensors were used to detect or prevent falls in Figure 8 (Chaccour et al. 2016) (Table 2).

Table 2. Pressure sensors for fall detection and fall prevention systems

Sensor Class	Sensor	Sensor Location	Activity	Classification Algorithm	Performance	Reference
WSHAR	Resistive Pressure Sensor	Insole (Shoe)	FD	ResNet(2+1)D	ACC (fall detection): 91% ACC (activity recognition): 94%	Guo et al. 2024
WSHAR	Triboelectric Nanogenerator (TENG)	Shoe-Surface Interface	Fall Detection	AI-Based Anomaly Detection	Not Specified	Wang et al. 2023
WSHAR	Barometer	Neck	FD	DMAF and KF	S: 95,2%	Lu et al. 2019
WSHAR	Resistance-Based Pressure	Shoe Sole	FP	Threshold	Risk level from 0,256 to 0,27	Chaccour et al. 2016
WSHAR	Foot Pressure Sequence	Under Foot	FD	SLR	P: 0,658-0,889	Light et al. 2015
WSHAR	Pressure		FP	Quantitative Gait Markers	Slow walking speed risk ratio: 69,95%	Verghese et al. 2009

Wearable Sensor-based Human Activity Recognition (WSHAR), 3 axis accelerometer (3A), Fall Detection (FD), Fall Prevention (FP), Stepwise Logistic Regression (SLR), Differential Moving Average Filter (DMAF), Kalman Filter (KF), Sensitivity (S), Precision (P)

Siwadamrongpong et al. developed a low-cost fall prevention system utilizing EEG and EMG sensors, integrating machine learning algorithms such as the K-nearest neighbors (KNN) classifier to detect postural stability and identify instances of unbalanced walking (Siwadamrongpong et al. 2022). The EEG sensor detected movement intentions by recognizing Movement-Related Cortical Potential (MRCP) patterns with an accuracy of 83,3%, while the EMG sensor analyzed muscle conditions and classified movement safety with an accuracy of 80%. The KNN model further distinguished between stationary, walking, and unbalanced walking states with an accuracy of 89%. Similarly, ZiYing et al. employed IMU sensors and EMG signals for fall prediction and detection, utilizing the Random Forest algorithm to classify abnormal gait, normal gait, and fall events, with results indicating superior accuracy for IMU-based detection compared to EMG signals (ZiYing et al. 2021). Additionally, previous research has explored fall detection using only electromyography (EMG) (Han et al., 2017),

(Xi et al., 2017), as illustrated in Figure 9.a. Other studies, though limited, have employed inclinometers exclusively for fall detection (Sun et al., 2016), as shown in Figure 9.b. The range of sensor technologies used in fall detection is not confined to these examples, as further studies integrating EMG and inclinometers are summarized in Table 3.

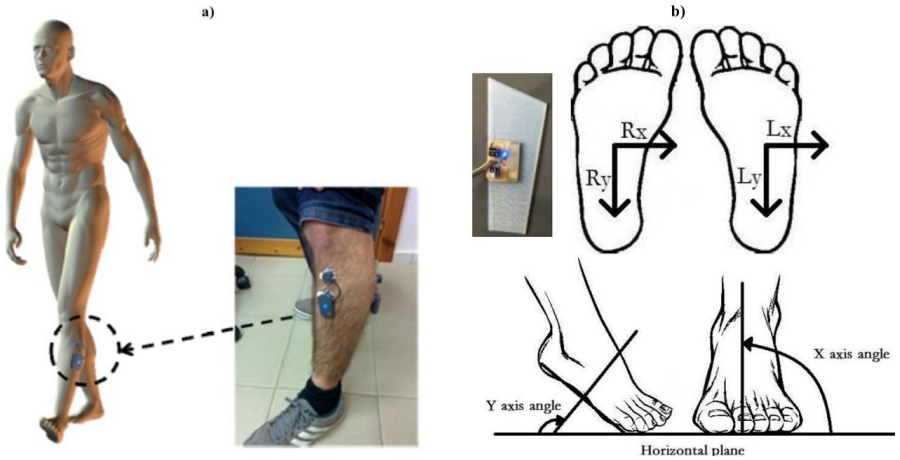


Figure 9. a) EMG sensor-based fall detection system (Leone et al. 2015) **b)** Inclinometer based fall detection system (Sun et al. 2016)

Table 3. EMG and inclinometer sensors for fall detection and prevention systems

Sensor Class	Sensor	Sensor Location	Activity	Classification Algorithm	Performance	Reference
WSHAR	IMU + EMG Sensors	Lower Limb (Leg Muscles)	FD	Random Forest (RF)	IMU: 94,72% (3-class), 87,70% (4-class); EMG: 71,91% (3-class), 67,76% (4-class)	Siwadamrongpong et al. 2022
WSHAR	EEG (Cz position) + EMG Sensors	Scalp (EEG), Muscles (EMG)	FP	K-Nearest Neighbors (KNN) for posture, Match Filter for EMG, MRCP detection	83,3% (EEG), 80% (EMG), 89% (KNN for posture)	ZiYing et al. 2021
WSHAR	sEMG	Gastrocnemius and Tibilias Muscles	FD	LDA	S:91,3%	Leone et al. 2018
WSHAR	sEMG Electrodes	Left Lower Extremity	FD	FMMNN	S: 98,7%	Xi et al. 2017
WSHAR	sEMG Electrodes	Two-Way	FD	BEMG	S: 69,2%	Han et al. 2017
WSHAR	Ag/AgCl electrodes	Lower Extremity	FP	Markov Random Field based Fisher-Markov selector	S: 89,1%	Leone et al. 2017
WSHAR	Inclinometer	Shoe Sole	FD	Threshold	Risk level 0,27	Sun et al. 2016
WSHAR	Inclinometer	-	FD	Quantitative gait markers	Slow walking speed risk ratio: 69,95%	Sun et al. 2015

Wearable Sensor-based Human Activity Recognition (WSHAR), 3 axis accelerometer (3A), Fall Detection (FD), Fall Prevention (FP), Bidirectional EMG (electromyographic sensor network model), Fuzzy Min-Max Neural Network (FMMNN), Linear Discriminant Analysis (LDA), Sensitivity (S)

However, the accelerometer remains the most widely utilized sensor in fall detection and prevention systems, either independently or in combination with other sensor types. Its widespread preference is attributed to its ability to offer feasible, rapid, real-time, and effective solutions for fall detection while capturing various critical parameters. Furthermore, as demonstrated in Tables 1, 2, and 3, accelerometer-based fall detection and prevention systems exhibit superior performance compared to those employing pressure sensors, electromyography, or inclinometers.

3.2. Environmental Sensor Based Systems

Having established a classification framework based on sensor types (single or mixed) in preceding sections, this section delves into environment-based fall detection and prevention systems. These systems, encompassing both wearable and environmental sensors, share the core functionalities of tracking body movements, capturing environmental data, and ultimately aiming to detect or sense falls. The research examined in this category employs a diverse range of sensors, including microphones, ground pressure sensors, infrared sensors, cameras, and thermal sensors. Notably, these environmental sensors are strategically placed within living spaces such as bedrooms, living rooms, kitchens, and bathrooms. To facilitate a more granular analysis, the studies pertaining to this section will be further explored under two distinct subheadings: environmental and visual perception.

3.2.1. Non-Visual Environmental Sensing

In environment-based systems, environmental sensors collect acoustic, vibration and pressure signals of the body. Data is used try to detect situations before, during and after a fall by using computer non-visual data-based approaches (Figure 10).

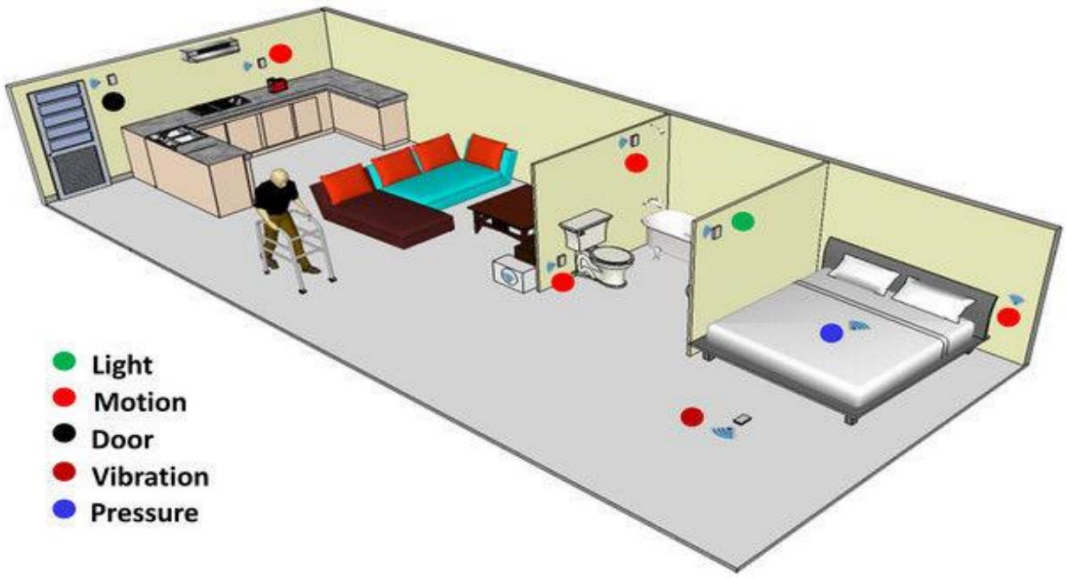


Figure 10. Environmental sensors for fall detection (Birku et al. 2018)

Chen et al. (2024) proposed a fall detection system called FA-Fall based on acoustic signals. In this system, a pair of audio transceivers capable of passive and active acoustic detection were used (Chen et

al. 2024). The algorithm used is based on a multimodal classification framework that includes an attention mechanism and an anomaly detection mechanism.

Table 4. Nonvisual environment-based sensors for fall detection and fall prevention

Sensor Class	Sensor Type	Sensor Location	Activity	Classification Algorithm	Performance	Reference
ASHAR	Acoustic Sensors (Passive and Active)	Indoor (Various)	FD	Multimodal Classification (Attention + Anomaly Detection)	Accuracy: 98,97% in typical conditions, >90% in challenging environments with background noise	Chen et al 2024
ASHAR	MEMS PIR and Thermopile IR Array Sensors	Bathroom (Indoor)	FD (Bathroom Falls)	BP Neural Network (3-layer)	Precision: 94,45%, Recall: 90,94%, Accuracy: 92,81%, F1-Score: 92,66%	He at al 2023
ASHAR	Pressure Sensors	Bed, Mattress	FD (On/Off-Bed)	Random Forest (RF)	ACC: 100%	Youngkong et al 2021
ASHAR	Sensor Pad	Ground	FD	NB, SVM, DTJ48	ACC: 96,2% S: 95%	Muheidat et al. 2018
ASHAR	Acoustic sensor	Floor	FD	Mel-Frequency Cepstral Coefficients and SVM	F1-Score: 98,66%-100%	Droghini et al. 2017
ASHAR	Audio Signals	Microphone	FD	Acoustic-LTP	ACC: 97,41%	Irtaza et al.- 2017
ASHAR	Infrared Sensor Array	Wall	FD	SVM	ACC:97,1-0,99%	Fan et al. 2017
ASHAR	Piezoresistive Pressure Sensor	Floor	FD	Custom Method	S: 88,8%	Chaccour et al. 2015
ASHAR	Infrared laser	Not Available	FP	Logistic Regression	Effective elderly at high risk	Nishiguchi et al. 2013
ASHAR	Resistive Pressure Sensor Array	Ground	FP	Multi Resolution	Fall Easily predicted.	Morgado et al. 2012
ASHAR	3A	Rear tread	FP	CHAT and MOP are reliable in distinguishing fall	Not Available	McGrath et al. 2012

Ambient Sensor-based Human Activity Recognition (ASHAR), 3 axis accelerometer (3A), Fall Detection (FD), Fall Prevention (FP), Naïve Bayes (NB), Support Vector Machine (SVM), Centroid of Heel and Toe points (CHAT), Centre of Pressure (COP), Accuracy(ACC), Sensitivity(S), Specificity(SP)

Similarly, He et al. developed a fall detection system using Micro-electromechanical Systems Pyroelectric Infrared (MEMS PIR) sensor and a thermopile IR array sensor (He et al. 2023). As an algorithm, a three-layer BP (Backpropagation) neural network was used along with image processing techniques, including a low-pass filter and double boundary scans.

Youngkong et al. utilized pressure sensors in their study (Youngkong et al. 2021). In their previous research, the authors monitored and classified bed movements with a single pressure sensor. Since fall events are more dynamic, they proposed a new system incorporating a dual pressure sensor in this study.

Additionally, machine learning algorithms were applied, with the Random Forest algorithm achieving 100% accuracy as the most effective fall detection model.

Droghini and Irtaza designed a fall detection mechanism using acoustic signals by extracting Mel-Frequency Cepstral Coefficient (MFCC) features (Droghini et al., 2018; Irtaza et al., 2017). Since falls and daily activities exhibit different vibration patterns, this system can be used for both fall detection and daily activity classification.

In ground-based measurements, vibration signals are typically obtained through piezoresistive pressure sensors (Chaccour et al., 2015; Muheidat et al., 2018) or sensor pads/mats (Morgado et al., 2012; McGrath et al., 2012). Infrared sensors have also been used in fall detection (Fan et al., 2017) and prevention systems (Nishiguchi et al., 2013) (Table 4).

The most employed strategies for fall detection involve the use of both acoustic and pressure signals. However, research indicates that sound-based approaches demonstrate superior performance compared to pressure-based methods. Additionally, the integration of pressure and infrared sensors-whose use has increased in recent years has also been widely adopted in fall detection and prevention systems.

Although environment-based fall detection systems offer several advantages, they also present certain limitations. A primary challenge stems from the inherent constraints of these systems. Since sensors are installed within a specific indoor environment, they are limited by their detection range and the presence of passive areas where falls may go undetected. Moreover, these systems often assume that the monitored individual is alone, which may not always be the case. Environmental sensors are also highly susceptible to external noise and erroneous data. Factors such as falling objects, variations in flooring materials, and background noise can negatively affect system performance, potentially triggering false alarms. Consequently, these limitations can undermine the overall reliability and effectiveness of the system.

3.2.2. Visual Sensing Based Systems

Cameras, which have become an integral part of daily life for security and communication purposes, can be integrated into environment-based fall detection and prevention systems as visual data sources. Camera-based solutions may incorporate various imaging technologies, including RGB cameras, depth cameras (e.g., Kinect), thermal sensors, and multi-camera configurations. The primary information extracted from these camera systems in fall detection studies includes tracking head trajectories, analyzing body shape changes, and assessing posture (Figure 11).

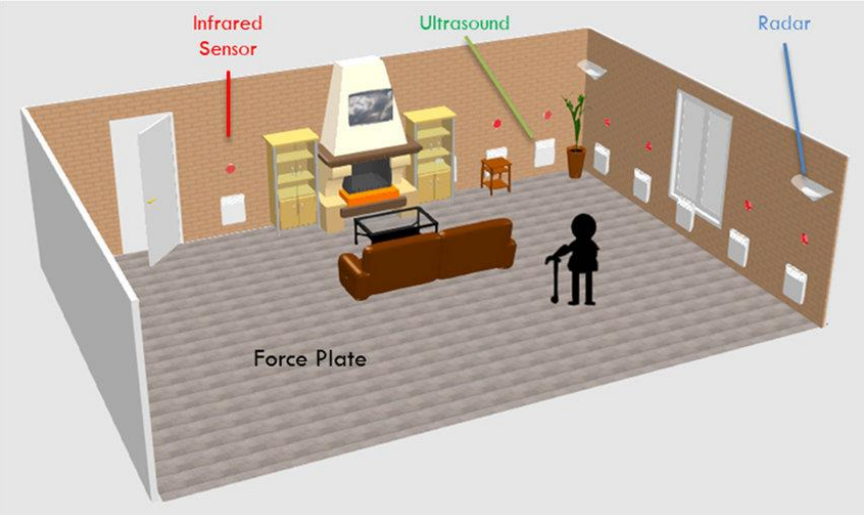


Figure 11. Different vision sensor-based fall detection model (Rastogi et al. 2022)

In the study conducted by Denkovski et al., various video sensors, including RGB, infrared, and thermal cameras, were employed for fall detection (Denkovski et al. 2024). Autoencoder-based algorithms and their variants were utilized for anomaly detection, and a novel multi-objective loss function, termed "Temporal Shift," was introduced. This function was designed to enhance network structures that process visual information flow. The analyses demonstrated that the proposed method significantly improved the performance of different models, including 3D convolutional autoencoders, attention-based U-Net CAE, and multi-modal neural networks. This approach has potential applications not only in fall detection but also in broader anomaly detection tasks.

Similarly, in the study by Ke et al., the YOLOv5 model was implemented for fall detection (Ke et al. 2023). Given its ability to process video data via a webcam, the model can be integrated into smart home systems using IoT devices. Various YOLOv5 variants were tested on the CAU CAFall dataset, specifically designed for home environments, and the results indicated that the YOLOv5s model was the most suitable for fall detection applications.

A more straightforward application of image-based methods was proposed by Tian et al. (2022), who analyzed silhouette changes over time using the k-Nearest Neighbor (kNN) algorithm based on a single-camera image. This approach was considered a low-cost solution; however, a major limitation of image-based techniques is their sensitivity to viewing angles, which can significantly impact performance. To mitigate this issue, multi-camera systems have been utilized to expand the detection area and capture images from multiple perspectives. For instance, Fan et al. (2013) achieved high fall detection accuracy by deploying eight cameras within a room.

In addition to conventional camera-based approaches, depth cameras have demonstrated potential for enhancing system accuracy. Devices such as Kinect improve fall detection performance by measuring the distance between individuals and the ground. Studies by Zhao et al. (2019) and Li et al. (2018) have shown that detecting fundamental joint movements using depth cameras contributes to the overall effectiveness of fall detection and prevention systems. Furthermore, thermal sensors, which can achieve

accuracy rates of up to 99,7%, represent another widely adopted imaging technology. Compared to other methods, depth camera-based approaches have garnered increased attention in recent research. An overview of various imaging systems is provided in Table 5.

Table 5. Visual sensors for fall detection and prevention system

Sensor Class	Sensor Type	Sensor Location	Activity	Classification Algorithm	Performance	Reference
ASHAR	RGB, Infrared, Thermal Cameras	Home (Multi-Modal)	FD	Autoencoder Variants (3D Conv, U-Net, Multi-Modal NN)	AUC ROC +0,20 (U-Net CAE with Temporal Shift)	Denkovski et al 2024
ASHAR	RGB Camera	Home (IoT)	FD	YOLOv5 (YOLOv5s and YOLOv5x)	P: 82,2% (YOLOv5x) / P:79,6% (YOLOv5s)	Ke et al 2023
ASHAR	RGB Camera	Camera	FD	Machine Vision with Fall Logic	ACC: 94,5%	Tian et al. 2022
ASHAR	Depth Camera	Kinect V2 / Orbbec Astra depth camera	FD	Up Body Extraction	ACC: 92,3%	Zhao et al. 2019
ASHAR	Kinect Sensor	Kinect Sensor	FP	Two feet movement tracking Risk level from 0,256 to 0,27		Li et al. 2018
ASHAR	Multiple Kinect sensors	Active area	FP	Slow walking speed risk ratio: 106,995% for every 10 cm/s reduction Confidence Interval 1,001-1,142		Li et al. 2018
ASHAR	RGB Camera	8 cameras built into the room	FD	LR	ACC: 95,2%	Fan et al. 2017
ASHAR	Thermal imaging camera	Active area	FP	SVM	ACC: 99,7%	Song et al. 2017
ASHAR	Depth Camera	Depth camera	FD	Fall Vector Algorithm	ACC: 97,1%	Kong et al. 2017
ASHAR	Depth Camera	Depth videos	FD	SOV	ACC: 89,63-100%	Akagündüz et al. 2017
ASHAR	RGB camera and line laser	in shoes	FP	Reducing the risk of falling by detecting objects on the ground		Li et al. 2017
ASHAR	Thermal sensor	ceiling-wall corner	FD	STIP and Fisher vector framework	ACC: 99,61%	Vadivelu et al. 2016
ASHAR	Smart camera with embedded system	wall	FP	Custom smart camera and framework		Kutchka et al. 2016
ASHAR	Thermal visual imager	ceiling	FD	FDP	ACC: 68%	Rafferty at el. 2016
ASHAR	Microsoft Kinect Camera	Active area	FP	Successful enough to be used in fall prediction		Dubois et al. 2014

Ambient Sensor-based Human Activity Recognition (ASHAR), 3 axis accelerometer (3A), Fall Detection (FD), Fall Prevention (FP), Naïve Bayes (NB), Support Vector Machine (SVM), Accuracy(ACC),Precision (P), Logistic Regression(LR), Silhouette Orientation Volume (SOV), Fall Detection Process (FDP), Spatio-Temporal Interest Points (STIP)

With the widespread adoption of cameras, particularly in security systems and mobile devices, their costs have declined, facilitating the expansion of camera-based fall detection systems. However, despite their advantages, such systems also present several challenges. First, camera-based solutions require substantial computational and storage resources to execute real-time algorithms effectively. The interpretation of images necessitates sophisticated computer vision techniques that demand high processing power, leading to additional hardware costs. Second, privacy concerns arise due to the need to capture and store actual images of individuals. Lastly, system calibration and performance may be compromised by the limited field of view and fixed camera angles, potentially reducing detection accuracy over time.

3.3. Radio Frequency Based Sensing

In fall detection, Radio Frequency (RF) based systems could be classified by including environment-based systems. However, in this section, it was deemed appropriate to evaluate RF-based systems in a separate category due to signal type, data size, special antenna and positioning methods. Considering the latest developments and trends in this category, it was found more appropriate to evaluate it in a different category. RF signals are reflected or absorbed following an abnormal distribution path according to body movement speed. Studies in the literature have shown that fall detection and prevention can be achieved when RF signal attenuation or fluctuations in wireless channel status information are applied as input to a fall detection system (Figure 12).

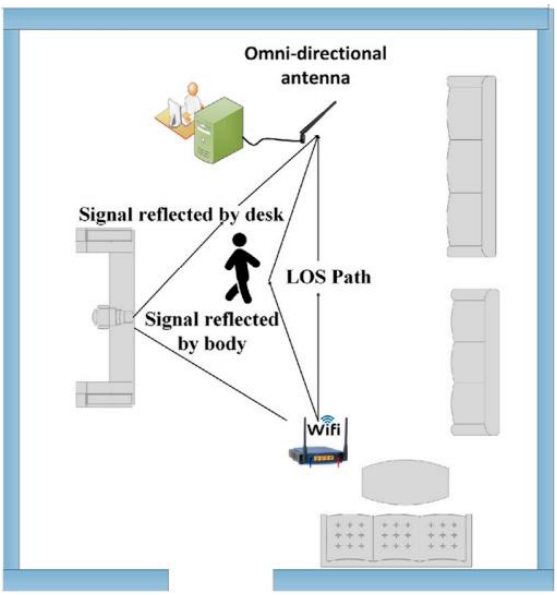


Figure 12. Radio frequency-based fall detection system working principle (Lubna et al. 2022)

Wireless frequency (RF) based systems can be classified as single-type sensor systems and mixed-sensor systems as shown in Table 6. Chi et al. developed a Wi-Fi-based fall detection system called XFall, which minimizes the impact of environmental variables by utilizing an environment-independent feature known as the velocity distribution profile (Chi et al. 2024). To enhance classification accuracy, an attention-based encoder was designed to distinguish different fall types, while a cross-modal learning

framework was implemented to facilitate large-scale model training with limited Wi-Fi data. When tested in a real-world environment, XFall demonstrated high accuracy and a low false alarm rate.

Table 6. Fall detection and prevention systems with RF signals

Sensor Class	Sensor Type	Sensor Location	Activity	Classification Algorithm	Performance	Reference
ASHAR	Uniform Sensors	Wi-Fi signals	FD	Attention-Based Encoder + Cross-Modal Learning (Pre-Trained Visual Model)	ACC: 96,8%, Miss Alarm Rate: 3,1%, False Alarm Rate: 3,3%	Chi et al 2024
ASHAR	Uniform Sensors	Wi-Fi (CSI-Based)	FD	Deep Learning-Based Image Classification	Accuracy: 96% (All Environments), 99% (Specific Combinations)	Chu et al 2023
ASHAR	Uniform Sensors	Wi-Fi (CSI-Based)	FD	Deep Learning-Based (DNN Generative Model + User Identification Network)	False Alarm Rate: 5,7%, Missed Alarm Rate: 3,4%	Yang et al 2023
ASHAR	Uniform Sensors	Wi-Fi signals	FD	DTW barycenter averaging (DBA) algorithm	Accuracy: 95%	Hu et al. 2021
ASHAR	Uniform Sensors	Multi-antenna FMCW radio	FD	CNN	Accuracy: 92%	Tian et al. 2018
ASHAR	Hybrid Sensors	802,11n NIC	FD	Singular Value Decomposition	Precision: 94%	Wang et al. 2018
ASHAR	Uniform Sensors	Radar	FD	Deep Learning	Accuracy: 92%	Jokanovic et al. 2017
ASHAR	Uniform Sensors	Microwave doppler sensor	FD	Deep Learning	Accuracy: 95%	Shiba et al. 2017
ASHAR	Uniform Sensors	FMCW radar	FP	FMCW	Not available	Tang et al. 2017
ASHAR	Hybrid Sensors	Wi-Fi device	FD	SVM	Sensitivity: 92	Wang et al. 2016
ASHAR	Uniform Sensors	FMCW radar	FP	GaN HEMT Doherty amplifier with FMCW	Not available	Tang et al. 2016
ASHAR	Uniform Sensors	RF Detection Device	FP	WISP sensor	Not available	Visvanathan et al. 2012

Fall Detection (FD), Fall Prevention (FP), Fall prevention with wearable radar (FMCW)

Yang et al. introduced FallDar, a Wi-Fi-based deep learning-supported fall detection system (Yang et al. 2023). FallDar aims to mitigate performance degradation caused by environmental variability by incorporating features resistant to environmental factors, such as fall speed. By simulating diverse fall scenarios with a deep neural network (DNN)-based generative model, motion diversity was enhanced. Additionally, a user identification network was employed to extract person-independent features without requiring new user data. FallDar was implemented on commercial Wi-Fi devices and tested over a six-month period. Chu et al. proposed a novel deep learning-based method for fall detection using Wi-Fi channel state information (CSI) (Chu et al. 2023). Their study evaluated various Wi-Fi CSI collection tools and assessed their effectiveness in fall detection. The researchers compiled a comprehensive dataset containing over 700 CSI samples encompassing different fall types and daily activities across

four distinct indoor environments. This dataset was utilized to train a deep learning classifier based on an image classification algorithm. Unlike other approaches, the proposed method requires only sampling and reshaping in the preprocessing stage, simplifying data preparation.

Hu et al. developed a system that investigates the impact of body speed variations on Wi-Fi signals during a fall (Hu et al. 2021). Their study analyzed changes in wireless signals by considering the physiological effects of falling on movement patterns. Wang et al. demonstrated that commercial Wi-Fi devices could be effectively used for fall detection by leveraging wireless CSI to differentiate falls from fall-like activities (Wang et al. 2016).

Tian et al. employed multi-antenna Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) radio signals for fall detection (Tian et al. 2018). Their approach involved extracting complex spatial and temporal features from these signals and training a convolutional neural network (CNN) to perform fall detection with high accuracy. Tang et al. developed an FMCW radar-based fall prevention system that continuously measured the distance between the radar and the surrounding environment (Tang et al. 2016). By analyzing the relationship between body movements and radar frequency, the system aimed to predict fall risks proactively.

Overall, radio frequency (RF) signals, which are prevalent in daily life, offer a non-intrusive and privacy-preserving approach to fall detection and prevention. However, RF-based systems face several challenges, including signal interference from external sources, coexistence with multiple devices operating on different communication standards (e.g., Wi-Fi, Bluetooth), and the limited coverage of wireless networks.

3.4. Systems with Hybrid Sensing

Research indicates that fall detection systems based on a single sensor or homogeneous sensors can lead to low accuracy and high false alarm rates. To improve the performance of fall detection systems, the integration of various sensors with different functions is necessary. In this context, sensor fusion-based systems, consisting of either homogeneous or heterogeneous sensors, have been developed and examined in various studies (Table 7).

In a study by Kavuncuoğlu et al., 10 different machine learning algorithms and 26 features were tested using the Sisfall dataset for fall detection (Kavuncuoğlu et al. 2024). The Random Forest Classifier (RFC) achieved 97.94% accuracy with the autocorrelation feature, while the Support Vector Machine (SVM) showed 98.60% accuracy with time series features. By combining features with the Quintuple approach and using Extremely Randomized Trees (ETC), the system achieved 98.69% accuracy, 98,28% precision, and 99.08% specificity. These methods demonstrated high performance in fall detection and data transfer across age groups.

Another study by Lin et al. proposed a wearable device system for fall detection and verification in elderly individuals. This system uses a nine-axis inertial sensor, including a three-axis accelerometer and gyroscope, to determine the user's postures (standing, sitting, lying) (Lin et al. 2023). The resulting

force is calculated using three-axis acceleration, while the gradient descent algorithm is used to determine the tilt angle. Barometer data is used to convert the height value, and postures (sitting, standing, walking, lying, and falling) are identified. The fall direction and acceleration changes can determine the fall severity. Additionally, through IoT and smart speakers, falls can be verified by asking the user questions via the smart speaker. The system aims to reduce maintenance times by real-time posture identification and fall reporting.

Sensor combinations can consist of inertial sensor types, environmental sensors, or a heterogeneous mix of ambient and inertial sensors. For example, a novel fall detection system utilizing an accelerometer, microphone, and camera has been proposed (Silhouette Orientation Volumes for Efficient Fall Detection in Depth Videos - PubMed). Additionally, Quadros et al. suggested the use of inertial sensors such as a three-axis accelerometer, gyroscope, and magnetometer for fall detection (Quadros et al. 2018).

Table 7. Uniform sensors for fall detection and prevention systems

Sensor Type	Sensor Type	Sensor Location	Activity Type	Classification Algorithm	Performance	Reference
WSHAR	Uniform Sensors	3A, 3G, 3M + Belly	FD	RF,SVM,ET	ET ACC:98,69% ET S:98,28%	Kavuncuoğlu et al 2024
ASHAR	Uniform Sensors	3A,3G and 3M	FD	SVC	ACC: 98,3%	Fawaz et al. 2023
WSHAR	Uniform Sensors	3A, 3G, 3M and Barometer + Chest-Worn	FD	State Machine (Direct Posture Operation)	Real-time fall recognition and report	Lin et al 2023
ASHAR	Uniform Sensors	A + P and Sensitive Insoles	FP	Fuzzy Mamdan	ACC: 90%	Amiroh et al. 2021
ASHAR	Uniform Sensors	3A,3G and 3M	FD	Machine Learning Methods	ACC: 99% S: 100%	Quadros et al. 2018
ASHAR	Uniform Sensors	3A and 3AA	FD	PCA with Threshold	S: 94,8%	Wu et al. 2018
ASHAR	Uniform Sensors	4-probe Electromicrophone + 3A on T-Shirt	FP	Vertical velocity measurement	Over 75%	Leone et al. 2018
ASHAR	Uniform Sensors	3A and Barometric	FD	Wavelet-based ML	ACC: 82-96%	Ejupi et al. 2017
ASHAR	Uniform Sensors	3A and G3	FP	MLP	ACC: 83-90%	Hemmatpour et al. 2017
ASHAR	Uniform Sensors	3A and 3G	FD	BN	ACC: 95,67% S:99%	He et al. 2017
ASHAR	Uniform Sensors	3A + 3G Right Side and Side Waist Area	FP	Neural Network	ACC:75% F1: 77,8%	Howcroft et al. 2017
ASHAR	Uniform Sensors	IR + Pressure	FD	FSM	S: 88,2%	Lu et al. 2016
ASHAR	Uniform Sensors	iPhone– 4 pressure Sensors	FP	DT	ACC: 97,2%	Majumder et al. 2014
ASHAR	Uniform Sensors	3A and 3G	FP			Thella et al. 2014

Wearable Sensor-based Human Activity Recognition (WSHAR), 3 axis accelerometer (3A), 3 axis angular accelerometer (3AA), Not Available (NA), convolutional neural network (CNN), Fall Detection (FD), Fall Prevention (FP), k-Nearest Neighbors (k-NN), Naïve Bayes (NB), Support Vector Machine (SVM), Accuracy (ACC), Sensitivity (S),2-axis gyroscope (2G), 2-axis gyroscope (2G), 3-axis gyroscope (3G), 3-axis magnetometer (3M), Infrared (IR) and Pressure (P) Sensor , Decision Tree (DT), Multilayer Perceptron (MLP), Bayesian Network Classifier (BN), Support Vector Classification (SVC), Finite State Machine (FSM)

In fall detection and prevention research, sensor fusion approaches have been employed to enhance the accuracy and efficiency of detection systems.

Table 8. Hybrid sensors for fall detection and prevention systems with.

Sensor Type	Sensor Type	Sensor Location	Activity Type	Classification Algorithm	Performance	Reference
ASHAR	Hybrid Sensors	Thermal Array Sensors + mmWave Radar Sensor + Indoor (Room, Ceiling, Wall, Corner)	FD	Random Forest (RF)	Accuracy: 97,9%, F1-Score: 0,945; RF: ACC: 92,2%, R: 0,881, P: 0,805, F1-Score: 0,841	Rezaei et al 2023
ASHAR	Hybrid Sensors	Vision-Based, RF Signals, Acoustic Sensors + Indoor (Smart Homes)	FD	Machine Learning, Pattern Recognition	Fall Detection: High accuracy in detecting falls;	Raeis et al 2021
ASHAR	Hybrid Sensors	3A + KDC	FD	LSVM	ACC: 98,9% S: 99%	Kepski et al. 2018
ASHAR	Hybrid Sensors	Wi-Fi + 3A	FD	SVM and Adaboost	ACC: 95%	Ramezan et al. 2018
ASHAR	Hybrid Sensors	3A + KDC + micro-doppler radar	FD	SVM	ACC: 91,3%	Li et al. 2017
ASHAR	Hybrid Sensors	Line laser (shoe size), RGBC (upper side of shoes)	FP	SAD	Successful indoors.	Li et al. 2017
ASHAR	Hybrid Sensors	KDC, WSHAR	FP	NN	Sensor-based self-assessment can be applied for fall risk.	Ejupi et al., 2015
ASHAR	Hybrid Sensors	Pulse-Doppler radar, one Microsoft KDC, 2 pieces RGBC	FP	Correlation with Kinect (p<,01)	Radar speed correlation (p<,05)	Rantz et al. 2015
ASHAR	Hybrid Sensors	3A + RGBC + microphone	FD	Not Available	ACC: 94%	Zhang et al. 2013

Kinect Depth Camera (KDC), RGB camera (RGBC), Summing Absolute Difference (SAD), Neural Network (NN), Linear Support Vector Machine (SVM), Fall Detection (FD), Fall Prevention (FP), Accuracy (ACC), Sensitivity (S)

Rezaei (2023) conducted a study utilizing millimeter-wave (mmWave) radar technology for fall detection in elderly individuals, eliminating the need for wearable devices. Radar sensors were strategically positioned in two different locations within a room (sidewall and ceiling), and data collected from these sensors were used to manually extract features. Various machine learning algorithms, including multilayer perceptron (MLP), random forest, k-nearest neighbor (kNN), and support vector machines (SVM), were applied to classify falls. Additionally, a convolutional neural network (CNN)-based deep learning model was developed using an "occupancy grid" input derived from 3D point cloud data. Experimental results demonstrated that the random forest algorithm achieved the highest accuracy (92.2%) when the sensor was ceiling-mounted, while the CNN model provided a

slight improvement with an accuracy of 92.3%. These findings indicate that mmWave radar technology is an effective and viable approach for fall detection.

Raeis et al. (2021) explored device-free sensors and their applications in human activity recognition (HAR) for well-being assessment in smart home environments. Unlike wearable or object-attached sensors, device-free sensors operate without direct physical contact, allowing for passive monitoring of individuals' movements. This study examined the applications of device-free sensors in fall detection, cognitive assessment, respiratory monitoring, and dementia diagnosis (Table 7).

Leone et al. (2018) integrated electromyography and accelerometer sensor data to detect pre-fall trauma, achieving a pre-detection time of over 750 milliseconds before a fall event. Similarly, Rantz et al. (2018) developed a comprehensive fall prevention system by combining pulse-Doppler radar, Microsoft Kinect 2, and webcam data. Their system provided detailed insights into human activities and gait balance characteristics, demonstrating that sensor fusion-based approaches yield high-accuracy detection and prediction outcomes (Table 8).

With continuous technological advancements, the diversity of sensors has increased, prompting researchers to explore various sensor combinations to enhance fall detection performance and minimize false alarm rates. However, despite the progress in fall detection and prevention research, these systems have not yet been widely adopted in daily life. This limited adoption is attributed to practical challenges associated with high-accuracy fall detection methods. Many of these systems require the continuous use of environmental and inertial sensors, which is often impractical. Additionally, the vast amount of data generated complicates the design of information processing systems, presenting challenges in terms of portability and usability in everyday settings.

4. Discussion

In this study, the classification of sensor types was carried out according to sensor types, and their strengths and weaknesses are summarized below according to sensor type classes.

4.1 Challenges and Solutions in Wearable Sensors

High False Positive Rate: Wearable sensors, particularly accelerometers, often exhibit high false positive rates due to their sensitivity to motion. This issue arises when routine activities generate movement patterns similar to falls, leading to erroneous fall detection.

Solution, To address this challenge, integrating accelerometers with additional sensors such as gyroscopes and magnetometers can enhance motion analysis accuracy. The fusion of data from multiple sensors enables more precise movement characterization, thereby reducing false alarms.

Power Consumption: Certain wearable sensors, such as gyroscopes, exhibit high power consumption, which reduces battery life and necessitates frequent recharging.

Solution: Optimizing power consumption by selecting low-power sensors or implementing duty-cycling techniques can extend battery life. Instead of continuous data collection, sensors can be activated at predefined intervals or in response to specific events.

Susceptibility to Environmental Magnetic Fields: Magnetometers are vulnerable to external magnetic field interference, which can compromise sensor accuracy and lead to erroneous readings.

Solution: To enhance reliability, magnetometers should be used in conjunction with accelerometers and gyroscopes. This multi-sensor approach compensates for environmental influences, improving the robustness of motion detection.

Placement Sensitivity: The accuracy of pressure sensors is influenced by their placement on the body, which can lead to variability in measurement accuracy.

Solution: To improve measurement precision, pressure sensors should be integrated with complementary sensors that analyze physical contact and pressure distribution. Strategic placement in areas such as shoe insoles can facilitate more accurate fall impact detection.

Limited Accuracy in Standalone Use: Some sensors, such as inclinometers, exhibit high motion sensitivity, limiting their effectiveness in fall detection when used independently.

Solution: While inclinometers can detect abrupt angular changes, their reliability improves when combined with accelerometers and gyroscopes. This multi-sensor fusion enhances the accuracy of fall detection algorithms.

User Convenience and Portability: Continuous use of wearable sensors may not be practical for all users, and employing multiple sensors simultaneously increases system complexity, reducing user-friendliness.

Solution: Designing sensors to be compact, lightweight, and seamlessly integrated into commonly used devices such as smartwatches or smartphones can enhance usability and user acceptance.

Challenges in Data Collection: The infrequency and unpredictability of real-world falls make data collection challenging. Most available datasets are derived from controlled environments or simulated falls by younger individuals, limiting their generalizability.

Solution: Collecting real-world fall data from elderly individuals using wearable devices in daily life is crucial for improving system accuracy and reliability. Incorporating diverse datasets can enhance the robustness of fall detection models.

In summary, challenges associated with wearable sensors can be addressed through sensor fusion, power optimization, environmental interference mitigation, improved usability, and real-world data collection, ultimately leading to more reliable fall detection systems.

4.2 Challenges and Solutions in Environmental Sensors

Environmental sensor-based systems encounter several challenges, including limited detection range, false alarms, privacy concerns, high costs, and dependence on lighting conditions. The following solutions can mitigate these issues:

Limited Detection Range and Passive Zones: Environmental sensors are restricted to a specific area, leading to coverage gaps where falls may go undetected.

Solution: Deploying multiple sensors, including acoustic, pressure, and infrared sensors, expands coverage and minimizes blind spots. Studies show that integrating accelerometers, microphones, and cameras enhances fall detection performance.

High False Alarm Rate: Environmental sensors are susceptible to background noise and erroneous readings from falling objects, floor types, and environmental sounds. Additionally, these systems often assume the monitored individual is alone, which may not always be accurate.

Solution: Implementing advanced noise filtering and signal processing techniques improves data quality. Adaptive systems that adjust to environmental changes further enhance reliability.

Privacy Concerns: Camera-based systems raise privacy concerns due to continuous surveillance in personal spaces.

Solution: Using privacy-preserving techniques such as 2D skeleton modeling instead of direct video recording allows effective motion analysis while safeguarding user privacy.

High Cost: Certain environmental sensors, such as depth cameras, are expensive to acquire, install, and maintain.

Solution: Cost-efficient alternatives, such as strategically placing standard cameras with optimized algorithms, can achieve similar results while minimizing expenses.

Dependency on Lighting Conditions: RGB cameras struggle in low-light environments, affecting detection accuracy.

Solution: Integrating thermal or depth cameras ensures consistent performance regardless of lighting conditions. Additionally, deep learning algorithms improve recognition in varying environments.

By applying these solutions, environmental sensor-based fall detection systems can achieve higher reliability, accuracy, and user-friendliness.

4.3. Challenges and Solutions in Vision-Based Systems

Viewpoint Dependency: The performance of vision-based fall detection is influenced by camera angles, occlusions, and spatial constraints.

Solution: Deploying multi-camera setups enhances coverage, reduces blind spots, and improves accuracy by capturing movements from multiple perspectives.

High Computational Demands: Real-time image processing requires significant computational resources, increasing hardware costs and power consumption.

Solution: Optimizing algorithms and employing edge computing can reduce processing overhead and enable efficient real-time analysis.

Privacy Concerns: Direct video recording raises privacy concerns, limiting user acceptance.

Solution: Techniques such as 2D skeleton tracking provide motion analysis while ensuring privacy protection by avoiding direct visual representation of individuals.

Limited Field of View: Single-camera setups have restricted coverage, potentially missing falls occurring outside their field of view.

Solution: Integrating depth cameras (e.g., Kinect) improves spatial accuracy and complements traditional RGB cameras, increasing detection reliability.

Performance in Low-Light Conditions: Standard RGB cameras perform poorly in dim lighting, leading to decreased detection accuracy.

Solution: Combining deep learning-based detection algorithms with thermal cameras enhances recognition performance under varying lighting conditions.

By incorporating these advancements, vision-based fall detection systems can achieve improved reliability, scalability, and privacy protection.

4.4. Challenges and Solutions in RF-Based Systems

Limitations of Single-Sensor Systems: Exclusive reliance on RF sensors may result in high false alarms and lower detection accuracy.

Solution: Combining RF signals with inertial and environmental sensors enhances overall detection reliability by leveraging multiple data sources.

RF Signal Processing Challenges: Environmental factors such as signal attenuation and interference affect detection performance.

Solution: Advanced signal processing techniques can compensate for fluctuations and improve fall detection accuracy.

Hybrid Sensor Integration: Standalone RF-based systems may not provide sufficient contextual data for accurate detection.

Solution: Integrating RF technologies with sensors like Kinect and Doppler radar enhances overall system performance and robustness.

Advantages of RF-Based Systems: RF-based solutions offer privacy-preserving, unobtrusive fall detection without requiring wearable devices, making them suitable for multi-occupant environments with minimal maintenance requirements.

Disadvantages of RF-Based Systems: Challenges such as signal interference from Wi-Fi, Bluetooth, and limited coverage range impact reliability.

Solution: Future research should focus on refining RF-based technologies, minimizing external interferences, and expanding detection capabilities.

In conclusion, RF-based fall detection systems present a promising approach for privacy-preserving and unobtrusive monitoring. By integrating hybrid sensor solutions and refining RF signal processing techniques, these systems can become more effective and widely applicable.

5. Conclusions

Enabling a happy and secure life for the elderly necessitates addressing the critical aspects of fall detection and prevention. This study has systematically classified fall detection sensors based on their types and analyzed their respective strengths and weaknesses. The challenges encountered in wearable,

environmental, vision-based, and RF-based sensor systems have been examined, along with potential solutions to enhance their efficacy.

Wearable sensors, particularly accelerometers, gyroscopes, and magnetometers, exhibit limitations such as high false positive rates, power consumption concerns, and environmental susceptibility. Addressing these challenges through sensor fusion, power optimization techniques, and improved placement strategies enhances their accuracy and practicality. Furthermore, the integration of wearable sensors into commonly used devices such as smartphones and smartwatches can significantly improve user convenience and adoption.

Environmental sensor-based systems face issues related to limited detection range, false alarms, privacy concerns, and high costs. Multi-sensor deployment, advanced noise filtering, and privacy-preserving techniques such as 2D skeleton modeling offer viable solutions to these challenges. Additionally, the strategic use of cost-efficient alternatives and the integration of thermal or depth cameras can enhance their effectiveness across various environmental conditions. However, it is essential to ensure that these solutions respect individuals' privacy and maintain their standard of living consistently throughout their daily routines.

Vision-based fall detection systems are affected by viewpoint dependency, computational demands, privacy concerns, and performance limitations in low-light conditions. The deployment of multi-camera setups, algorithmic optimizations, and privacy-conscious approaches such as skeleton tracking can improve detection accuracy and user acceptance. Furthermore, integrating deep learning techniques with thermal imaging can ensure robust performance under diverse lighting conditions.

RF-based fall detection solutions provide a non-intrusive and privacy-preserving alternative to traditional approaches. Unlike other sensor-based systems, RF-based solutions can monitor multiple individuals simultaneously without requiring wearable devices, minimizing disruption to daily life. These systems effectively address privacy concerns while eliminating the need for frequent maintenance or transportation of additional equipment. Furthermore, RF-based methods, when combined with advanced signal processing techniques, can significantly improve detection accuracy and reliability.

Given the increasing emphasis on artificial intelligence (AI) in healthcare applications, future research should focus on integrating AI-driven methodologies with RF-based systems to enhance real-time processing capabilities while ensuring computational efficiency. While threshold-based analytical methods provide speed, they are often susceptible to false alarms. AI-based systems, on the other hand, offer superior accuracy but require significant computational resources. A promising future direction lies in hybrid approaches that leverage both AI and analytical models to balance efficiency, accuracy, and cost-effectiveness.

Future Perspectives

As fall detection technology continues to evolve, RF-based systems stand out as a promising approach due to their ability to provide unobtrusive, privacy-conscious monitoring. The integration of AI-based algorithms with RF technology is expected to enhance predictive analytics, allowing for more accurate

and timely fall detection. Future studies should focus on refining hybrid AI-RF solutions that optimize computational efficiency while ensuring robust real-world applicability. By leveraging these advancements, fall detection and prevention systems can become more adaptive, user-friendly, and effective in safeguarding the well-being of elderly individuals.

Authorship Contribution Statement: The corresponding author was solely responsible for conducting the literature review, creating tables, drafting the manuscript, and performing revisions.

Declaration of Competing interests: The author declares no competing interests.

Funding: This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Data availability: No datasets were generated or analyzed during the current study.

Ethical approval: This study adhered to general ethical guidelines applicable to community question-answering research. As it did not involve human or animal subjects, specific ethical committee approval was not required.

References

Akagunduz E., Aslan M., Sengu A., Wang H., Ince MC. Silhouette orientation volumes for efficient fall detection in depth videos. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics 2017; 21(3): 756–763.

Amiroh K., Rahmawati D., Wicaksono A. Intelligent system for fall prediction based on accelerometer and gyroscope of fatal injury in geriatric. Jurnal Nasional Teknik Elektro 2021; 10: 154–159.

Birku Y., Agrawal H. Survey on fall detection systems. International Journal of Pure and Applied Mathematics 118(18): 2537–2543.

Boutellaa E., Kerdjidj O., Ghanem K. Covariance matrix-based fall detection from multiple wearable sensors. Journal of Biomedical Informatics 2019; 94: Art. no. April.

Casilari E., Álvarez-Marco M., García-Lagos F. A study of the use of gyroscope measurements in wearable fall detection systems. Symmetry 2020; 12: 649.

Chaccour K., al Assaad H., Hajjam A., Darazi R., Andrès E. Sway analysis and fall prediction method based on spatio-temporal sliding window technique. IEEE HealthCom 2016.

Chen D., Wong AB., Wu K. Fall detection based on fusion of passive and active acoustic sensing. IEEE Internet of Things Journal 2024; 11(7): 11566–11578.

Chi G., et al. XFall: Domain adaptive Wi-Fi-based fall detection with cross-modal supervision. IEEE Journal on Selected Areas in Communications 2024; 42(9): 2457–2471.

Chu Y., Cumanan K., Sankarpandi SK., Smith S., Dobre OA. Deep learning-based fall detection using WiFi channel state information. IEEE Access 2023; 11: 83763–83780.

Denkovski S., Khan SS., Mihailidis A. Temporal shift - multi-objective loss function for improved anomaly fall detection. Proceedings of the 15th Asian Conference on Machine Learning, in Proceedings of Machine Learning Research 2024; 222: 295–310.

Droghini D., Principi E., Squartini S., Olivetti P., Piazza F. Human fall detection by using an innovative floor acoustic sensor. Smart Innovation, Systems and Technologies 2018; 97–107.

Ejupi A., Galang C., Aziz O., Park E. J., Robinovitch S. Accuracy of a wavelet-based fall detection approach using an accelerometer and a barometric pressure sensor. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society 2017; 2150–2153.

Ejupi A., Gschwind YJ., Valenzuela T., Lord SR., Delbaere K. A kinect and inertial sensor-based system for the self-assessment of fall risk: A home-based study in older people. Human–Computer Interaction 2015; 31(3–4): 261–293.

Faes MC., Reelick MF., Joosten-Weyn Banningh LW., de Gier M., Esselink RA., Olde Rikkert MG. Qualitative study on the impact of falling in frail older persons and family caregivers: foundations for an intervention to prevent falls. Aging and Mental Health 2010; 14(7): 834–842.

Fan K., Wang P., Hu Y., Dou B. Fall detection via human posture representation and support vector machine. Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering 2017; 13(5): 155014771770741.

Fan X., Zhang H., Leung C., Shen Z. Robust unobtrusive fall detection using infrared array sensors. DR-NTU (Nanyang Technological University) 2017.

Fawaz A., Elsayed M., Sharshar A., Sayed M., Abd El-Malek A., Zahhad M. Fall detection algorithm using a smart wearable system for remote health monitoring. Proceedings of ICBB23 2023.

Fino PC., Frames CW., Lockhart TE. Classifying step and spin turns using wireless gyroscopes and implications for fall risk assessments. Sensors 2015; 15(5): 10676–10685.

Guo W., Liu X., Lu C., Jing L. PIFall: A pressure insole-based fall detection system for the elderly using ResNet3D. Electronics 2024; 13(6): 1066.

Han H., Ma X., Oyama K. Flexible detection of fall events using bidirectional EMG sensor. Studies in Health Technology and Informatics 2017; 245: 1225.

He C., Liu S., Zhong G., Wu H., Cheng L., Lin J., Huang Q. A non-contact fall detection method for bathroom application based on MEMS infrared sensors. Micromachines 2023; 14(1): 130.

Hemmatpour M., Ferrero R., Montrucchio B., Rebaudengo M. A neural network model based on co-occurrence matrix for fall prediction. Lecture Notes in Computer Science 2017; 248: 241–248.

Howcroft J., Kofman J., Lemaire E. Prospective fall-risk prediction models for older adults based on wearable sensors. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering 2017; 25(10): 1812–1820.

Hu Y., Zhang F., Wu C., Wang B., Liu KJR. DeFall: Environment-independent passive fall detection using WiFi. IEEE Internet of Things Journal 2021; 1–1.

Hwang J., Kang J., Jang Y., Kim HC. Development of a novel algorithm and real-time monitoring ambulatory system using a Bluetooth module for fall detection in the elderly. Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) 2004; 3: 2204–2207.

Irtaza A., Adnan S., Aziz S., Javed A., Ullah M., Mahmood M. A framework for fall detection of elderly people by analyzing environmental sounds through acoustic local ternary patterns. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC) 2017; 1558–1563.

Kangas, M., Konttila, A., Lindgren P., Winblad I., Jämsä T. Comparison of low-complexity fall detection algorithms for body attached accelerometers. Journal of Medical Engineering and Technology 2012; 36(2): 72-80.

Kavuncuoğlu Erhan. Comprehensive analysis of feature - algorithm interactions for fall detection across age groups via machine learning. Computational Intelligence 2024; 40(5).

Ke Y., Yao Y., Xie Z., Xie H., Lin H., Dong C. Empowering intelligent home safety: Indoor family fall detection with YOLOv5. 2023 IEEE Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing, Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, Intl Conf on Cloud and Big Data Computing, Intl Conf on Cyber Science and Technology Congress (DASC/PiCom/CBDCom/CyberSciTech), 2023; 942–949.

Kepski M., Kwolek B. Event-driven system for fall detection using body-worn accelerometer and depth sensor. IET Computer Vision 2018; 12(1): 48–58.

Kong X., Meng L., Tomiyama H. Fall detection for elderly persons using a depth camera. Proceedings of ICAMechS 2017; 273.

Kostopoulos P., Kyritsis A., Deriaz M., Konstantas D. F2D: A location-aware fall detection system tested with real data from the daily life of elderly people. Procedia Computer Science 2016; 98: 212–219.

Kutchka J., Tchuinkou D., Mandebi J., Nghonda E., Bobda C. Automatic assessment of environmental hazards for fall prevention using smart cameras. ScholarWorks - UARK (University of Arkansas at Fayetteville) 2016; 6: 24–29.

Kuzuya M., Enoki H., Hasegawa J., Izawa S., Hirakawa Y., Uemura K. Falls of the elderly are associated with the burden of caregivers in the community. International Journal of Geriatric Psychiatry 2006; 21(8): 740–745.

Leone A., Rescio G., Caroppo A., Siciliano P. An EMG-based system for pre-impact fall detection. IEEE Sensors Conference 2015; 1–4.

Leone A., Rescio G., Caroppo A., Siciliano P. Wireless electromyography technology for fall risk evaluation. Lecture Notes in Electrical Engineering 2018; 329: 1–1.

Leone A., Rescio G., Siciliano P. Fall risk evaluation by surface electromyography technology. IEEE International Conference on Emerging Technologies 2017; 1095.

Li H., et al. Multisensor data fusion for human activities classification and fall detection. 2017 IEEE International Conference on Sensors (ICSENS) 2017; 3: 1–1.

Li M., Xu G., He B., Ma X., Xie J. Pre-impact fall detection based on a modified zero moment point criterion using data from Kinect sensors. IEEE Sensors Journal 2018; 18: 5522–5531.

Li Q., Stankovic JA., Hanson MA., Barth AT., Lach J., Zhou G. Accurate, fast fall detection using gyroscopes and accelerometer-derived posture information. Proceedings of the 6th International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN) 2009; 138–143.

Lin HC., Chen MJ., Lee CH., Kung LC., Huang JT. Fall recognition based on an IMU wearable device and fall verification through a smart speaker and the IoT. Sensors 2023; 23(12): 5472.

Lin TH., Yang CY., Shih WP. Fall prevention shoes using camera-based line-laser obstacle detection system. Journal of Healthcare Engineering 2017; 1–11.

Liu Y., Shany T., Woolgar J., Narayanan M., Lord SR., Lovell NH. Validation of an accelerometer-based fall prediction model. Proceedings of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society 2014; 4531–4534.

Liu, X., Li, H., Zhang, X., and Wang Y. Fall detection and prevention for the elderly: A systematic review. Sensors 2020; 20(14): 4085.

Lu C., Huang J., Lan Z., Wang Q. Bed exiting monitoring system with fall detection for the elderly living alone. 2016 International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics (ICARM) 2016; 59–64.

Majumder AJ., Zerin I., Ahamed S., Smith R. A multi-sensor approach for fall risk prediction and prevention in elderly. ACM SIGAPP Applied Computing Review 2014; 14(1): 41–52.

Martelli D., Artoni F., Monaco V., Sabatini AM., Micera S. Pre-impact fall detection: Optimal sensor positioning based on a machine learning paradigm. PLOS ONE 2014; 9(3): e92037.

Mauldin T., Canby M., Metsis V., Ngu AH., Rivera C. SmartFall: A smartwatch-based fall detection system using deep learning. Sensors 2018; 18: 3363.

McGrath D., et al. Taking balance measurement out of the laboratory and into the home: Discriminatory capability of novel centre of pressure measurement in fallers and non-fallers. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Proceedings 2012; 3296–3299.

Morgado J., Konig A. Low-power concept and prototype of distributed resistive temperature sensor based on networked intelligent devices for fall detection. Proceedings of the World Congress on Engineering 2008; 1: 1410–1413.

Muheidat F., Tawalbeh L., Tyrer H. Context-aware, accurate, and real-time fall detection system for elderly people. IEEE International Conference on Semantic Computing (ICSC) 2018.

Muheidat F., Tawalbeh LA. In-home floor based sensor system-smart carpet-to facilitate healthy aging in place (AIP). IEEE Access 2020; 8: 178627–178638.

Najafi B., Aminian K., Paraschiv-Ionescu A., Loew F., Bula CJ., Robert P. Ambulatory system for human motion analysis using a kinematic sensor: Monitoring of daily physical activity in the elderly. IEEE Transactions on Biomedical Engineering 2003; 50(6): 711-723.

Nishiguchi S., Yamada M., Uemura K., Matsumura T., Takahashi M., Moriguchi T., Aoyama T. A novel infrared laser device that measures multilateral parameters of stepping performance for assessment of fall risk in elderly individuals. Aging Clinical and Experimental Research 2013; 25(3): 311–316.

Ojetola, OD., Gaura E., Brusey J. Fall detection with wearable sensors—Safe longitudinal evaluation. IEEE Sensors Journal 2015; 15(12): 7085-7094.

Otanasap N. Pre-impact fall detection system using logistic regression model. 2023 IEEE Proceedings; 9: 30–43.

Putra I., Brusey J., Gaura E., Vesilo R. An event-triggered machine learning approach for accelerometer-based fall detection. Sensors 2018; 18(2): 20.

Qiu C., Johansson G., Zhu F., Kivipelto M., Winblad B. Prevention of cognitive decline in old age—varying effects of interventions in different populations. Annals of Translational Medicine 2019; 7(Suppl 3): Suppl 3.

Quadros T., Lazzaretti A., Schneider F. A movement decomposition and machine learning-based fall detection system using a wrist wearable device. IEEE Sensors Journal 2018; online early access: 1–1.

Quadros T., Lazzaretti A., Schneider F. A movement decomposition and machine learning-based fall detection system using wrist wearable device. IEEE Sensors Journal 2018; PP(4): 1–1.

Quero J., Burns M., Razzaq M., Nugent C., Espinilla M. Detection of falls from non-invasive thermal vision sensors using convolutional neural networks. Proceedings 2018; 2(19): 1236.

Raeis H., Kazemi M., Shirmohammadi S. Human activity recognition with device-free sensors for well-being assessment in smart homes. IEEE Instrumentation and Measurement Magazine 2021; 24(6): 46–57.

Rafferty J., Synnott J., Nugent C., Morrison G., Tamburini E. Fall detection through thermal vision sensing. Lecture Notes in Computer Science 2016; 84–90.

Ramezani R., Xiao Y., Naeim A. Sensing-Fi: Wi-Fi CSI and accelerometer fusion system for fall detection. Proceedings of BHI 2018; 405: 1–1.

Rantz M., et al. Automated in-home fall risk assessment and detection sensor system for elders. The Gerontologist 2015; 55(Suppl 1): 78–87.

Rezaei AM., Mascheroni A., Stevens MC., Argha R., Papandrea M., Puiatti A., Hamilton Lovell N. Unobtrusive human fall detection system using mmWave radar and data-driven methods. IEEE Sensors Journal 2023; 23: 7968–7976.

Rezaei A. Human activity recognition and fall detection using unobtrusive technologies. (Thesis). 2023. http://hdl.handle.net/1959.4/101392

Salah O., Abdulla R., Selvaperumal SK. Accelerometer-based elderly fall detection system using edge artificial intelligence architecture. International Journal of Electrical and Computer Engineering 2022; 12: 4430–4438.

Shahzad A., Kim K. FallDroid: An automated smartphone-based fall detection system using multiple kernel learning. IEEE Transactions on Industrial Informatics 2018; 15(1): 35–44.

Shahzad A., Ko S., Lee S., Lee JA., Kim K. Quantitative assessment of balance impairment for fall-risk estimation using wearable triaxial accelerometer. IEEE Sensors Journal 2017; 17(20): 6743–6751.

Shakeri S. A smartphone-based fall detection system using accelerometer and microphone. 2017. Accessed: August 2, 2023. Available: semanticscholar.org.

Shiba K., Kaburagi T., Kurihara Y. Fall detection utilizing frequency distribution trajectory by microwave Doppler sensor. IEEE Sensors Journal 2017; 1–1.

Simila H., Mantyjarvi J., Merilahti J., Lindholm M., Ermes M. Accelerometry-based berg balance scale score estimation. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics 2014; 18(4): 1114–1121.

Siwadamrongpong W., Chinrungrueng J., Hasegawa S., Nantajeewarawat E. Fall detection and prediction based on IMU and EMG sensors for elders. 2022 19th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE), Bangkok, Thailand, 2022; 1–6.

Song KS., Nho YH., Kwon DS. Histogram-based fall prediction of patients using a thermal imagery camera. Proceedings of URAI 2017; 1–2.

Su Y., Liu D., Wu Y. A multi-sensor based pre-impact fall detection system with a hierarchical classifier. Proceedings of CISP-BMEI 2016; 1731.

Sun J., Wang Z., Chen L., Wang B., Ji C., Tao S. A plantar inclinometer-based approach to fall detection in open environments. Proceedings of Advanced Systems Research 2016; 647: 1–13.

Sun J., Wang Z., Pei B., Tao S., Chen L. Fall detection using plantar inclinometer sensor. Proceedings of the IEEE UIC-ATC-ScalCom-CBDCom-IoP 2015; 1692–1697.

Suriani NS., Rashid FN.,Yunos NY. Optimal accelerometer placement for fall detection of rehabilitation patients. Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC) 2018; 10(2–5): 2–5.

Tang Y., Peng Z., Li C. An experimental study on the feasibility of fall prevention using a wearable K-band FMCW radar. USNC-URSI NRSM 2017; 1–2.

Tang Y., Peng Z., Ran L., Li C. iPrevent: A novel wearable radio frequency range detector for fall prevention. IEEE RFIT 2016; 1–3.

Thella AK., Suryadevara VK., Rizkalla M., Hossain G. Smart unit care for pre-fall detection and prevention. 2016 IEEE National Aerospace and Electronics Conference (NAECON) and Ohio Innovation Summit (OIS) 2016; 220–224.

Tian Y., Lee GH., He H., Hsu CY., Katabi D. RF-based fall monitoring using convolutional neural networks. Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies 2018; 2(3): 1–24.

Tian Z., Zhang L., Wang G., Wang X. An RGB camera-based fall detection algorithm in complex home environments. Interdisciplinary Nursing Research 2022; 1: 14–26.

Tong, L., Song, Q., Ge, Y., Liu M. HMM-based human fall detection and prediction method using wearable sensors. Sensors 2018; 18(10): 3377.

Verghese J., Holtzer R., Lipton R.B., Wang C. Quantitative gait markers and incident fall risk in older adults. Journal of Gerontology: Series A, Biological Sciences and Medical Sciences 2009; 64(8): 896–901.

Visvanathan R., Ranasinghe DC., Shinmoto Torres RL., Hill K. Framework for preventing falls in acute hospitals using passive sensor-enabled radio frequency identification technology. Proceedings of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society 2012.

Wang H., Zhang D., Wang Y., Ma J., Wang Y., Li S. RT-Fall: A real-time and contactless fall detection system with commodity WiFi devices. IEEE Transactions on Mobile Computing 2016; 16: online early access: 1–1.

Wang H., Zhang D., Wang Y., Ma J., Wang Y., Li S. RT-Fall: A real-time and contactless fall detection system with commodity WiFi devices. IEEE Transactions on Mobile Computing 2016; 16: 1–1.

Wang S., Gao J., Lu F., Wang F., You Z., Huang M., Fang W., Liu X., Li Y., Liu Y. Human motion recognition by a shoes-floor triboelectric nanogenerator and its application in fall detection. Nano Energy 2023; 108: 108230.

Wang Y., Sarvari P., Khadraoui D. Fusion of machine learning and threshold-based approaches for fall detection in healthcare using inertial sensors. Proceedings of the 15th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies, 2024; 573–582.

Wu Y., Su Y., Hu Y., Yu N., Feng R. A multi-sensor fall detection system based on multivariate statistical process analysis. Journal of Medical and Biological Engineering 2018; 39.

Xi X., Tang M., Miran SM., Luo Z. Evaluation of feature extraction and recognition for activity monitoring and fall detection based on wearable sEMG sensors. Sensors 2017; 17(6): Article 6.

Yacchirema D., Puga J., Palau C., Esteve M. Fall detection system for elderly people using IoT and Big Data. Procedia Computer Science 2018; 130: 603–610.

Yang X., Xiong F., Shao Y., Niu Q. WmFall: WiFi-based multistage fall detection with channel state information. International Journal of Distributed Sensor Networks 2018; 14(10): 155014771880571.

Yang Z., Zhang Y., Zhang Q. Rethinking fall detection with Wi-Fi. IEEE Transactions on Mobile Computing 2023; 22(10): 6126–6143.

Yang CC., Hsu YL. A review of accelerometry-based wearable motion detectors for physical activity monitoring. Sensors 2010; 10(8): 7772-7788.

Youngkong P., Panpanyatep W. A novel double pressure sensors-based monitoring and alarming system for fall detection. 2021 Second International Symposium on Instrumentation, Control, Artificial Intelligence, and Robotics (ICA-SYMP), Bangkok, Thailand, 2021; 1–5.

Yu X. Approaches and principles of fall detection for elderly and patient. Proceedings of the IEEE International Conference on Health 2008; 47.

Yu X., Zeng N., Liu S., Zhang Y.D. Utilization of denseNet201 for the diagnosis of breast abnormality. Machine Vision and Applications 2019; 30(7): 1135–1144.

Yusuf M., Farooq H., Wood K., Fidler G., Yang C., Zou X. Human sensing in reverberant environments: RF-based occupancy and fall detection in ships. IEEE Transactions on Vehicular Technology 2021; online early access: 1–1.

Zhang Q., Ren L., Shi W. Honey: A multimodality fall detection and telecare system. Telemedicine and e-Health 2013; 19: online publication.

Zhang Q., Ren L., Shi W. Honey: A multimodality fall detection and telecare system. Telemedicine and e-Health 2013; 19: 1–1.

Zhao F., Cao Z., Xiao Y., Mao J., Yuan J. Real-time detection of fall from bed using a single depth camera. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering 2019; 16(3): 1018–1032.

Zhu H., Samtani S., Brown R. A deep learning approach for recognizing activity of daily living (ADL) for senior care: exploiting interaction dependency and temporal patterns. Management Information Systems Quarterly 2021; 45: 859–896.

ZiYing F., Neo D., Jue W., YiCheng Z., Lam YYH. An integrated fall prevention system with single-channel EEG and EMG sensor. 2021 4th International Conference on Circuits, Systems and Simulation (ICCSS), Kuala Lumpur, Malaysia, 2021; 183–189.