



Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

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

Year (Yıl): 2024, Volume (Cilt):7, Number (Sayı): 2

Dergi Sahibi / Owner

Prof. Dr. Turgay UZUN
Rektör

Sorumlu Müdür / Director

Prof. Dr. Eyyüp TEL
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

Baş Editör / Editor in Chief

Doç. Dr. Tugay AYAŞAN

Yardımcı Editorler / Associate Editors

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



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

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Editorial Board

(Editör Kurulu)

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

Doç. Dr. Jülide ÖNER	Uşak Üniversitesi, UŞAK	julide.oner@usak.edu.tr
Doç. Dr. Behlül SEVİM	Aksaray Üniversitesi, AKSARAY	behluls68@gmail.com
Doç. Dr. Dilek TEKDAL	Mersin Üniversitesi, MERSİN	dilektekdal@mersin.edu.tr
Doç. Dr. Mustafa SEVİNDİK	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	mustafasevindik@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Hediye Kirli AKIN	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	hediyekalin@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Hayriye Serra ALTINOLUK	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, MUĞLA	serraltinoluk@mu.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Behçet DÜNDAR	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	behcetdundar@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Betül GIDİK	Bayburt Üniversitesi, BAYBURT	betulgidik@bayburt.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Esra GÜR SOY	Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, AĞRI	egursoy@agri.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Sevda İNAN	Namık Kemal Üniversitesi, TEKİRDAĞ	sevdainan@nku.edu.tr
Dr. Muhammad SAEED	Cholistan University, PAKİSTAN	muhammad.saeed@nwafu.edu.cn
Dr. Mihaela SARACILA	National Research-Development Institute for Animal Biology and Nutrition, ROMANIA	mihaela.saracila@yahoo.com
Dr. Elena SIZOVA	Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, RUSSIA	sizova.l78@yandex.ru

Yazım Editörleri /Spelling Editors

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

Dil Editörleri /Language Editors

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

İstatistik Editörleri /Statistics Editors

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

Alan Editörleri/KonuEditörleri/Subject Editors

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

Mizanpaj Editörleri/Layout Editors

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

*Mizanpaj editörleri, çıkan sayılara göre değişiklik gösterebilecektir.

Son Okuyucu Editörleri /Final Reader Editors

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

*Birden fazla rolü olan editörler, tek bir kısımda yazılmıştır



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

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

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

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

Dergi İçin Yazışma Adresi / Correspondence Address

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

Osmaniye Korkut Ata University, Osmaniye-TURKEY

e-mail: tugayayasan@osmaniye.edu.tr

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



The referees list (Hakem listesi)

Year 2024, Volume 7, Issue 2 list of referees is given below.
(2024 yılı, Cilt 7, Sayı 2'deki hakemlerin listesi aşağıda verilmiştir).

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

Hakemler	Kurum
Prof. Dr. Hasan AKAN	Harran Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Botanik Anabilim Dalı, ŞANLIURFA
Prof. Dr. Nilüfer SEYİDOĞLU AKDENİZ	Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, BURSA
Prof. Dr. Devrim AKGÜN	Sakarya Üniversitesi Bilgisayar Ve Bilişim Bilimleri Fakültesi Yazılım Mühendisliği Bölümü Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı, ADAPAZARI
Prof. Dr. Ebubekir ALTUNTAŞ	Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Tarımda Makine Sistemleri Anabilim Dalı, TOKAT
Prof. Dr. Kadir AYDIN	Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, ADANA
Prof. Dr. Ufuk BAL	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Devreler Ve Sistemler Anabilim Dalı, OSMANİYE
Prof. Dr. İsmet BAŞER	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Tahıllar Ve Yemlik Tane Baklagiller Anabilim Dalı, TEKİRDAĞ
Prof. Dr. Mustafa BOĞA	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bor Meslek Yüksekokulu Gıda İşleme Bölümü Gıda Kalite Kontrolü Ve Analizi Pr., NİĞDE
Prof. Dr. Gazanfer ERGÜNEŞ	Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Tarımda Enerji Sistemleri Anabilim Dalı, TOKAT
Prof. Dr. Can ERTEKİN	Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Tarım Makineleri Anabilim Dalı, ANTALYA
Prof. Dr. Tülay EZER	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü Bitki Materyali Ve Yetiştirme Tekniği Anabilim Dalı, NİĞDE
Prof. Dr. Aslı GÜNEŞ GÖLBAY	İzmir Demokrasi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, İZMİR
Prof. Dr. Rüştü HATİPOĞLU	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Çayır Mera Ve Yem Bitkileri Anabilim Dalı, KIRŞEHİR
Prof. Dr. Gamze ÖZEL KADILAR	Hacettepe Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik Bölümü İstatistiksel Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, ANKARA
Prof. Dr. Mustafa KARGIOĞLU	Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Moleküler Biyoloji Ve Genetik Bölümü Moleküler Biyoloji Anabilim Dalı, AFYONKARAHİSAR
Prof. Dr. Adem KAYA	Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü Zootekni Anabilim Dalı, ERZURUM
Prof. Dr. Ünal KILIÇ	Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü, SAMSUN

Prof. Dr. Semra KURAMA	Eskişehir Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği Bölümü Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği Anabilim Dalı, ESKİŞEHİR
Prof. Dr. Hayati MAMUR	Manisa Celâl Bayar Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Devreler Ve Sistemler Teorisi Anabilim Dalı, MANİSA
Prof. Dr. Füsün ERDURAN NEMUTLU	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Mimarlık Ve Tasarım Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü Bitki Materyali Ve Yetiştiriciliği Anabilim Dalı, ÇANAKKALE
Prof. Dr. Osman OLGUN	Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, KONYA
Prof. Dr. Sibel SOYCAN ÖNENÇ	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, TEKİRDAĞ
Prof. Dr. Coşkun ÖZALP	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Enerji Planlaması Ve Yönetimi Anabilim Dalı, OSMANİYE
Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÖZTÜRK	Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Tarım Makineleri Anabilim Dalı, ADANA
Prof. Dr. Mustafa YANALAK	İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Geomatik Mühendisliği Bölümü Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı, İSTANBUL
Prof. Dr. Halit YETİŞİR	Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, KAYSERİ
Doç. Dr. Tuğba YILMAZ AYDIN	Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü Odun Mekaniği Ve Teknolojisi Anabilim Dalı, ISPARTA
Doç. Dr. Mehmet Emin BİLGİLİ	Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, ADANA
Doç. Dr. Kökten Ulaş BİRANT	Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Bilgisayar Yazılımı Anabilim Dalı, İZMİR
Doç. Dr. Serhat ÇELİKTEN	Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim Dalı, NEVŞEHİR
Doç. Dr. Kutalmış GÜMÜŞ	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü Ölçme Tekniği Anabilim Dalı, NİĞDE
Doç. Dr. Kanber KARA	Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Zootečni Ve Hayvan Besleme Bölümü Hayvan Besleme Ve Beslenme Hastalıkları Anabilim Dalı, KAYSERİ
Doç. Dr. Mehmet KAYA	Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Anabilim Dalı, YOZGAT
Doç. Dr. Işıl KERTİ	Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İSTANBUL
Doç. Dr. Elif AKPINAR KÜLEKÇİ	Atatürk Üniversitesi Mimarlık Ve Tasarım Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, ERZURUM
Doç. Dr. Engin NAS	Düzce Üniversitesi Dr. Engin Pak Cumayeri Meslek Yüksekokulu Makine Ve Metal Teknolojileri Bölümü Endüstriyel Kalıpcılık Pr. DÜZCE
Doç. Dr. Saadettin Murat ONAT	Bartın Üniversitesi Bartın Orman Fakültesi Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü Odun Mekaniği Ve Teknolojisi Anabilim Dalı, BARTIN
Doç. Dr. Pembe SABANCIGİL ÖZDER	Doğu Akdeniz Üniversitesi Fen Ve Edebiyat Fakültesi İstatistik Ve Bilgisayar Bilimleri Bölümü İstatistik Ve Bilgisayar Bilimleri Pr. , KKTC
Doç. Dr. Mehmet Metin ÖZGÜVEN	Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Tarım Makineleri Anabilim Dalı, ANKARA
Doç. Dr. Tülay KORKUSUZ POLAT	Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, ADAPAZARI
Doç. Dr. Derya SARI	Artvin Çoruh Üniversitesi Sanat Ve Tasarım Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü Bitki Materyali Ve Yetiştiriciliği Anabilim Dalı, ARTVİN
Doç. Dr. Güzide ŞENEL	Amasya Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü Topoloji Anabilim Dalı, AMASYA
Doç. Dr. Merve CENGİZ TOKLU	Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, ADAPAZARI
Dr. Öğretim Üyesi Süleyman ADAK	Mardin Artuklu Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Elektrik Ve Enerji Bölümü/Elektrik Pr., MARDİN
Dr. Öğretim Üyesi Özlem UZUN ARAZ	Manisa Celâl Bayar Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı,

	MANİSA
Dr. Öğretim Üyesi Sezin GÜLERYÜZ ERGÜL	Bartın Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı, BARTIN
Dr. Öğretim Üyesi Şule ERYÜRÜK	KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Endüstri Mühendisliği Pr. KONYA
Dr. Öğretim Üyesi Mehmet Ali GÜVENÇ	İskenderun Teknik Üniversitesi Havacılık Ve Uzay Bilimleri Fakültesi Havacılık Ve Uzay Mühendisliği Bölümü Havacılık Ve Uzay Mühendisliği Anabilim Dalı, İSKENDERUN-HATAY
Dr. Öğretim Üyesi Barış Gürcan HAKANOĞLU	Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Elektromanyetik Alanlar Ve Mikrodalga Tekniği Anabilim Dalı, Bandırma-BALIKESİR
Dr. Öğretim Üyesi Gülenay Alevay KILIÇ	Yalova Üniversitesi Yalova Meslek Yüksekokulu Elektrik Ve Enerji Bölümü İklimlendirme Ve Soğutma Teknolojisi Pr., YALOVA
Dr. Öğretim Üyesi Süheyla Esin KÖKSAL	Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Mudurnu Süreyya Astarıcı Meslek Yüksekokulu Ormancılık Bölümü Ormancılık Ve Orman Ürünleri Pr., BOLU
Dr. Öğretim Üyesi Şeref ÖCALIR	Tarsus Üniversitesi Mersin Tarsus Organize Sanayi Bölgesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Makine Ve Metal Teknolojileri Bölümü Makine Pr. TARSUS-İÇEL
Dr. Öğretim Üyesi Aylin ÖZODABAŞ	Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri Anabilim Dalı, BİLECİK
Dr. Öğretim Üyesi Güncel SARIMAN	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü Bilgisayar Yazılımı Anabilim Dalı, MUĞLA
Dr. Öğretim Üyesi Serdar TEZ	Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Elektronik Anabilim Dalı, DENİZLİ
Dr. Öğretim Üyesi İbrahim YAVUZ	Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, AFYONKARAHİSAR
Dr. Ar. Gör. Kadriye KURŞUN	Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, ADANA
Dr. Ar. Gör. Helin ATAN	Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, İZMİR
Dr. Öğretim Görevlisi Esra ÇELİK	Atatürk Üniversitesi Rektörlük, ERZURUM
Dr. Öğretim Görevlisi Çilem KOÇAK	Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Yalvaç Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Bilgisayar Teknolojileri Bölümü Bilgisayar Programcılığı Pr., ISPARTA
Dr. Selim ESEN	Manyas İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü, Manyas-BALIKESİR
Dr. Vasfiye KADER ESEN	Koyunculuk Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, BALIKESİR



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

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Year (Yıl): 2024, Volume (Cilt):7, Number (Sayı): 2

CONTENTS (İçindekiler)

RESEARCH ARTICLES (ARAŞTIRMA MAKALELERİ)	Sayfalar
Nil BAĞRIAÇIK, Serra ALTINOLUK Design and Simulation of a Solar Powered House in Muğla: Roof Decorated with Half Cut Cells <i>Muğla'da Güneş Enerjili Bir Evin Tasarımı ve Simülasyonu: Yarım Kesim Hücrelerle Kaplanmış Çatı</i>	485-499
Gizem KAMÇI TEKİN, Erhan AKALP, Vedat PİRİNÇ, Özlem TONÇER Adaçayı (<i>Salvia officinalis</i>)'nda Tuzluluk (NaCl) Stresi Üzerinde Salisilik Asit Uygulamalarının Etkisi <i>Effect of Salicylic Acid Application on Salinity (NaCl) Stress in Sage (<i>Salvia officinalis</i>)</i>	500-511
Merve TANFER, Şerife Doğanay YENER, Selim BAYRAKTAR Kültürel Peyzajlarda Etnobotanik Değeri Olan Bitkilerin Potansiyel Kullanım Alanları: Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Türkiye <i>The Potential Usage Areas of Ethnobotanically Valuable Plants in Cultural Landscapes: Southeastern Anatolia Region, Turkey</i>	512-532
Sinan ALTUN Doğal dil işlemede veri ön işleme tekniklerinin sosyal medya yorumlarında kullanılarak Şeker Hastalığı Analizi <i>Analysis Of Diabetes Using Natural Language Processing Methods In Social Media Comments</i>	533-542
Gökhan AÇIKBAŞ, Nurcan ÇALIŞ AÇIKBAŞ Evaluation of the Physico-Mechanical and Electrical Properties of Spark Plasma Sintered Cu-SiC Composites <i>Spark Plazma Sinterlenmiş Cu-SiC Kompozitlerinin Fiziko-Mekanik ve Elektriksel Özelliklerinin Değerlendirilmesi</i>	543-562
Sıraç TOPDEMİR, Murat KURŞAT, Sedat BOZARI Phylogenetic Analysis of Some Taxa Belonging To The Family Lamiaceae in Bitlis Province Using RAPD-PCR Technique <i>Bitlis İli Lamiaceae Familyasına Ait Bazı Taksonların RAPD-PCR Tekniği Kullanılarak Filogenetik Analizi</i>	563-580
Seçil YALAZ İstatistikte Dağılım Fonksiyonu ile Fourier Dönüşümü <i>Fourier Transform by Distribution Function in Statistics</i>	581-591
Osman ÇAMLİBEL, Ümit AYATA, Ayşe BUDAK, Damla YÜKSEK	592-609

<p>Ahşap Bazlı Kompozit Yüzey Kaplı Yonga Levhaların Formaldehit Gaz Emisyonu ve Uygulanan Standartlar <i>Formaldehyde Gas Emission of Laminated Wood Based Particle Composite Boards and Applied Standards</i></p>	
<p>Elif TÜRKBOYLARI, Ahmet Nedim YÜKSEL Rüzgar Türbinlerinin Tarımsal Amaçla Hayvan Barınaklarında Enerji Kaynağı Olarak Kullanılma Olanakları <i>Possibilities of Using Wind Turbines As a Source of Energy in Animal Barns for Agricultural Purposes</i></p>	610-621
<p>Emre TORUN, Ertan BUYRUK Lityum İyon Pillerde Farklı Deşarj Hızlarında Oluşan Sıcaklık Profillerinin Deneysel ve Sayısal Olarak Karşılaştırılması <i>Experimental and Numerical Comparison of Temperature Profiles Created at Different Discharge Rates in Lithium Ion Batteries</i></p>	622-637
<p>Oğuzhan DER, Muhammed ORDU, Gökhan BAŞAR Multi-Objective Optimization of Cutting Parameters for Polyethylene Thermoplastic Material by Integrating Data Envelopment Analysis and SWARA-Based CoCoSo Approach Veri Zarflama Analizi ve SWARA Tabanlı CoCoSo Yaklaşımını Entegre Ederek Polietilen Termoplastik Malzeme Kesme Parametrelerinin Çok Amaçlı Optimizasyonu</p>	638-661
<p>Hakan ÜÇGÜN, Büşra PARLAK, Cihan KARAKUZU Veri Merkezi İç Ortam Koşulları için IoT Tabanlı Gerçek Zamanlı İzleme Sistemi IoT Based Real Time Monitoring System for Data Center Indoor Conditions</p>	662-673
<p>Bilal SELÇUK, Tuğba BAKIR, Yakup BİLAL, Hülya AKÇAM Sığla (<i>Liquidambar orientalis</i>) Ağaç Yapraklarının Koyun Diyetlerine İlavesinin Fermantasyon ve Sindirim Derecelerine Etkilerinin <i>In vitro</i> Gaz Üretim Tekniği ile Belirlenmesi <i>Determination of the Effects of Addition of Sweetgum (<i>Liquidambar orientalis</i>) Tree Leaves to Sheep Diets on Fermentation and Digestion Degrees by In vitro Gas Production Technique</i></p>	674-683
<p>Hamza KUZU, Mehmet Emin BİLGİLİ, Ali AYBEK, Mehmet ÖZEKİN Doğu Akdeniz Bölgesinde Buğday ve Mısır Üretiminde Yakıt Tüketiminden Kaynaklı Karbondioksit Emisyonunun Belirlenmesi <i>Determination of Carbon Dioxide Emission from Fuel Consumption for Wheat and Corn Production in the Eastern Mediterranean Region</i></p>	684-693
<p>Adem BİBER, Cafer ÇELİK ERP Destekli Reel Maliyet Muhasebe Sistemi Geliştirme ve Bir Uygulama <i>Development of the ERP Supported Real Cost Accounting System and an Application</i></p>	694-707
<p>Celal BIÇAKCI, Selim Serhan YILDIZ Google Earth Engine ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Orman Yangını Şiddetinin Belirlenmesinde Farklı İndekslerin Karşılaştırılması: 2023 Hatay-Belen Yangını Örneği <i>Comparison of Different Indices in Determination of the Intensity Using Google Earth Engine and Geographic Information Systems: 2023 Hatay-Belen Forest Fire</i></p>	708-719
<p>Milena MILOJEVIĆ, Goran STANIŠIĆ, Suzana KNEŽEVIĆ Environmental Benefits of Extensive Poultry Farming in Serbia <i>Srbistan'da Kapsamlı Kümes Hayvancılığının Çevresel Faydaları</i></p>	720-728
<p>Yusuf FEDAİ Karbon Nano Tüp Katkılı Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemenin Delme Parametrelerinin Taguchi Tabanlı CRITIC-CoCoSo Metoduyla Optimizasyonu <i>Optimization of Drilling Parameters of Carbon Nanotube Doped Glass Fiber Reinforced Composite Material Using Taguchi Based CRITIC-CoCoSo Method</i></p>	729-750
<p>Fethiye YALÇIN, Mustafa ÖZCANLI, Berkay KARAÇOR Investigation of the Use of Hybrid Composite Materials Formed Using Two Different Resins in Vehicle Bumpers <i>İki Farklı Reçine Kullanılarak Oluşturulan Hibrit Kompozit Malzemelerin Araç Tamponlarında Kullanımının Araştırılması</i></p>	751-766
<p>Bayram DENİZ, Veli YAVUZ Batman İli için Sis ve Görüş Mesafesi Analizi</p>	767-781

<i>Fog and Visibility Analysis for Batman Province</i>	
Hatice TÜRKTEK, Çağatay YILDIRIM, Sema Ezgi YÜCEER Balık Değer Zincirinde Gıda Kaybı, Atıklar ve Çevresel Etkiler <i>Food Loss, Waste, and Environmental Impacts in the Fish Value Chain</i>	782-801
Tayfun UYGUNOĞLU, Feyza ÇETİNGÜL Görüntü İşleme Yöntemi ile Betonda Oluşan Karbonatlaşmanın Değerlendirilmesi <i>Concrete Carbonation Assessment Using Image Processing Technique</i>	802-817
Mustafa SANLI Nesnelerin İnterneti Sistemlerinde Blokzincir Kullanımı Üzerine Bir Uygulama <i>An Application on the Use of Blockchain in Internet of Things Systems</i>	818-833
Btissam HAJJAOUİ Crucial Challenges In Corporate Credit Risk Assessment: A Case Study <i>Kurumsal Kredi Riski Değerlendirmesinde Önemli Zorluklar: Bir Vaka Çalışması</i>	834-854
Erinç GÜMÜŞ, Selim SIRAĞAYA, Gözde KILINÇ Farklı Sodyum Bentonit Seviyelerinin Balkabağı Atığı Silajının Kimyasal Bileşimi, Mikrobiyal Topluluk ve Laktik Asit Seviyeleri Üzerin Etkisi <i>Effect of Sodium Bentonite on Fermentation Quality in Pumpkin Residue Silage</i>	855-865
REVIEWS (DERLEMELER)	
Emine GİZEM YILDIZ, Nil TOPLAN Seramik Esaslı Köpük Filtreler ve Uygulamaları: Kısa Bir Derleme <i>Ceramic Based Foam Filters and Applications: A Brief Review</i>	866-888
Fusun DOBA KADEM, Şehpal ÖZDEMİR Dijital Tekstil Baskı Makine Özelliklerine Genel Bir Bakış <i>An Overview of Digital Textile Printing Technologies</i>	889-901
Gamze DOĞDU, Şeyda KARABÖRK, Mustafa DİLEK Mikroplastiklerin İnsan Sağlığı ve İmmün Sistem Üzerine Etkileri: Yaşamın Erken Döneminde Maruziyet <i>Effects of Microplastics on Human Health and the Immune System: Exposure in Early Life</i>	902-923
Mahir Serdar YILMAZ Diyet Lifleri: Tanımı, Türleri ve Gıda Endüstrisinde Kullanımları <i>Dietary Fibers: Definition, Types and Uses in the Food Industry</i>	924-952
Tansu ALKAN, Süleyman Savaş DURDURAN Türkiye'de Tarım Arazilerinin Değerlemesine İlişkin Genel Bir Değerlendirme <i>A General Assessment on the Valuation of Agricultural Lands in Turkey</i>	953-972

Design and Simulation of a Solar Powered House in Muğla: Roof Decorated with Half Cut Cells

Nil BAĞRIÇIK¹, Serra ALTINOLUK^{2*}

^{1,2}Muğla Sıtkı Koçman University, Electrical & Electronics Engineering, Muğla, Türkiye

¹<https://orcid.org/0009-0005-1082-1931>

²<https://orcid.org/0000-0003-4347-3804>

*Corresponding author: serraltinoluk@mu.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 23.05.2023

Accepted: 10.10.2023

Published online: 11.03.2024

Keywords:

Solar energy

Photovoltaic systems

PvSol

Half-cut cell

Real conditions

ABSTRACT

In this article, the performance, design and efficiency calculation of photovoltaic systems were made using PvSol program for a house in Muğla. For roof type panel design close to standard installations, panel position and panel type were designed based on Muğla province sun hour data and roof shading factor. In this study, the data obtained for the roof type installation designed in Muğla city using monocrystalline, polycrystalline and half-cut monocrystalline cells were compared. When yield, area and price parameters were compared, it was found that the best cell type was half-section monocrystalline. As a result of the simulations, it was found that the average daily energy need of the house was 6.4kWh, fed by 14 half-section monocrystalline panels. The results obtained are consistent with the data in the literature.

Muğla'da Güneş Enerjili Bir Evin Tasarımı ve Simülasyonu: Yarım Kesim Hücrelerle Kaplanmış Çatı

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 23.05.2023

Kabul tarihi: 10.10.2023

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Güneş enerjisi

Fotovoltaik sistemler

PvSol

Yarım-kesim hücre

Gerçek koşullar

ÖZ

Bu makalede, fotovoltaik sistemlerin performansı, tasarımı ve verim hesabı, Muğla'da bulunan bir ev için, PvSol programı kullanılarak yapılmıştır. Standart kurulumlara yakın çatı tipi panel dizaynı, panel konumunu ve panel çeşidini Muğla ili güneşlenme saat verilerine ve çatı gölgelenme faktörüne dayalı olarak tasarlanmıştır. Yapılmış olan çalışmada, monokristal, polikristal ve yarım-kesim monokristal hücreler kullanılarak tasarlanan çatı tipi kurulum için elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Verim, alan, fiyat parametreleri karşılaştırıldığında en iyi hücre çeşidinin yarım-kesim monokristal olduğu bulunmuştur. Yapılan simülasyonlar sonucunda, evin ortalama günlük 6,4kWh'lık enerji ihtiyacının 14 adet yarım-kesim monokristal panel ile elde edildiği sonucuna varılmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürdeki verilerle örtüşmektedir.

To Cite: Bağrıçık N., Altinoluk HS. Design and Simulation of a Solar Powered House in Muğla: Roof Decorated with Half Cut Cells. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(2): 485-499.

1. Introduction

Energy is by far the most important requirement and universally accepted indispensable part of life on earth. That is the reason why so many researchers are working on the energy concept. Energy, which can be found in many forms, is mainly divided into two categories: Renewable and non-renewable sources (Güven and Atalay, 2018). Non-renewable energy sources, such as coal, nuclear, natural gas and oil, are available with limited resources. When coal, natural gas and oil are used to generate

energy, they emit heat-trapping gases like carbon dioxide (CO₂). This process of trapping heat causes climate change, and failure to address this problem accelerates current global warming. Fossil fuels made up of the remains of ancient living organisms contain hydrocarbons such as gas and coal. These energy sources cause greenhouse gases and very harmful chain reactions. The emerging heat caused by greenhouse gas and global warming causes water scarcity and endangers life. Unlike non-renewable energy sources, renewable alternatives are given us by nature freely, and in addition to that they are environmentally friendly. The advantages of renewable energy sources are numerous and affect the environment and life of all living things. As shown in Figure 1, sun, wind, hydro, and geothermal can be given as the main examples of the most basic renewable energy resources (Alrikabi, 2014).

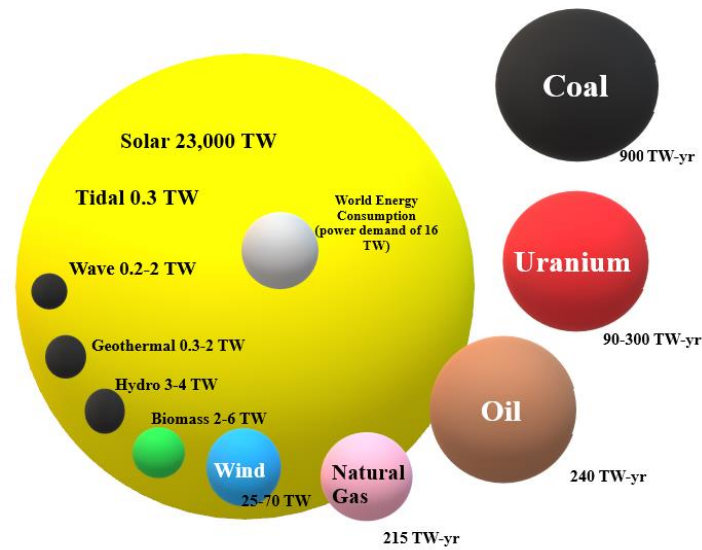


Figure 1. Global energy potential (Uslu, 2016)

Among the given resources, solar energy is the one with the highest potential. In order to be able to use this potential we have to convert the sun's energy into electrical energy. The conversion process, which is called Photovoltaic (PV) technology, is achieved with solar cells. Photo means "light" and voltaic means "electricity", which generates electricity directly from sun light by means of the PV effect. PV cells are made of semiconductors, and have electric fields that force electrons freed by light absorption to flow in a certain direction. This flow of electrons is an electric current; when the metal contacts are placed on the top and bottom of the PV cells, it allows us to draw the current off for external use (Demiryürek et al., 2020). The majority of solar cell technology, especially first-generation solar cells, has been based on the most abundant semiconductor element Silicon (Si) (Mandong and Üzüm, 2019). The basic schematic of a crystalline Si (c-Si) solar cell can be seen in Figure 2.

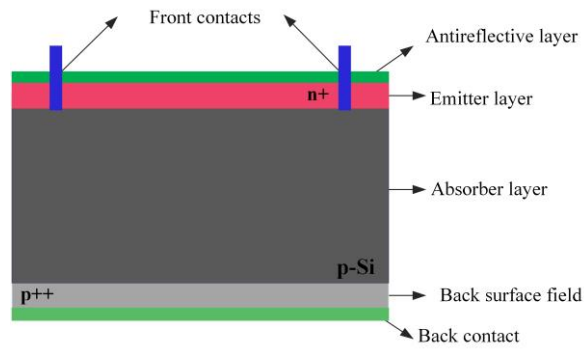


Figure 2. Schematic of c-Si based solar cell

Thanks to the developing technology, it has been possible to work with different types of cells. A single solar cell cannot generate enough amount of energy required for households or buildings. To increase the output of energy in terms of electricity, PV cells are electrically connected together. It is called a PV module. These modules are connected to form a panel/array. The required number of modules is connected to form an array depending on the consumption of the house or building. Basically, with the connection of the cells, modules are obtained, in other words, panels, and with the connection of the modules we end up with the arrays as depicted in Figure 3.

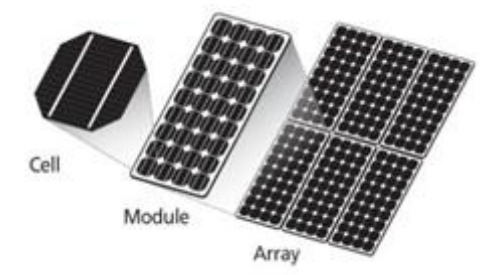


Figure 3. The representation of a basic notation that goes from simple to complex: cell, module, array (Adak et al., 2018)

In this paper, we have focused on three types of cells: Monocrystalline (mono-c), polycrystalline (poly-c) and half-cut mono-c. Mono-c and poly-c panels are generally made of 60 or 72 cells but half-cut arrays are made of 120 or 144 cells (Duman and Alçı, 2022). Half-cut cells are literally normal solar cells that have been cut in half. The aforementioned module types are used in PV systems, they all have different physical and electrical properties. Depending on their properties, limits, fabrication technologies and finally installation stage, one can select the best option. The best option is defined with the cost and effectiveness.

2. Materials and Method

2.1. Theoretical Study on Solar Cells and Their Working Principle

Solar radiation, in other words, sunlight, is a general term for the electromagnetic radiation emitted by sun. Solar radiation, whose spectrum is given in Figure 4, can be turned into useful forms of energy, like electricity.

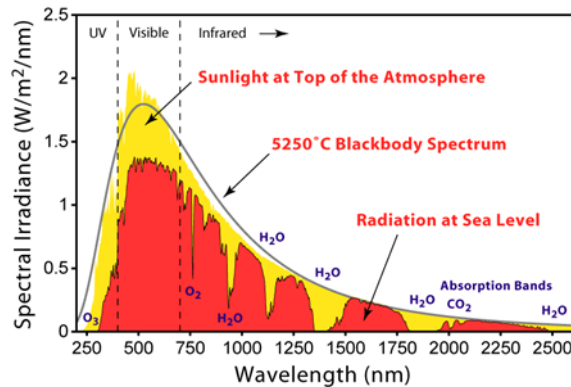


Figure 4. Solar radiation spectrum (Penn State, 2020)

The solar spectrum, consisting of and depending on different wavelengths, is defined as both particles and waves. Particle-wave duality affects the interaction of sunlight with the material. The interaction can be basically divided into three groups: a) reflection, b) transmission, and c) absorption as shown in Figure 5.

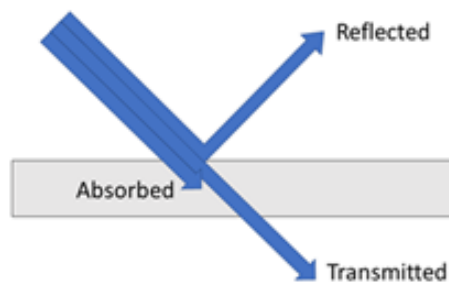


Figure 5. The schematic view of the reflected, transmitted, and absorbed light

For PV systems the higher the absorption, the higher the efficiency is. The sunlight absorption by a solar cell is the process in which light is absorbed by the cell and converted into energy. The energy produced is direct current (DC) and the inverter converts the DC form into the alternating current (AC). If the intensity of the light increases, the total absorption will increase so as the efficiency (Adak et al., 2021).

There are different types of PV cells which are made up of semiconductors having conductivity between conductors and insulators to interact with incoming photons from the sun. Semiconductor material that is composed of a single type of element, is known as intrinsic. It is actually quite common to find semiconductors that contain impurities or atoms of more than one kind, which is called extrinsic. Impurities are added to a semiconductor to increase the electrical conductivity. The process of adding an impurity into the semiconductor to increase its ability to conduct electricity is

known as doping (Schubert, 1993). There are two types of doping process: p-type and n-type. After the doping process, we can end up with a p-n junction, where the current flow will start towards the contacts upon the interaction of the cell with the light as depicted in Figure 2.

Altering the electrical property of the material is required, but not enough for highly efficient solar cells. In order to end up with highly efficient solar cells we must consider both electrical and optical point of view. For the electrical view, the doping amount, the physical design of the cell, in terms of junction depth, front and back contact distance to the junction should be carefully optimized. For the optical view, as explained before, the absorption amount should be maximized in order to maximize the interaction of the incoming beam with the cell (Abenante, 2006).

2.2. Types of Solar Cells

With the development of technology over time, many types of solar cells have been produced (Liu and Hou, 2014). In this work, we have investigated: mono-c, poly-c, and half-cut mono-c. We compared the characteristics of the panels to select the most suitable type for this research. The summary of the current studies in the literature in terms of cost, efficiency, and lifespan is tabulated in Table 1.

Table 1. Types of solar cells

Types of Panels	Mono-c	Poly-c	Half-cut Mono-c
Cost for one panel	160 \$	85.5 \$	191.1 \$
Efficiency	17%- 20%	13%- 16%	Over 20%
Lifespan	25+ years	25+ years	25+ years
Aesthetics	Black Hue	Blue-Ish Hue	Half-Cut Black Hue
Annual Degradation	1% per year	0.7% per year	0.55% per year
CO ₂ Emissions avoided	5.000 kg/year	4.964 kg/year	5.138 kg/year
Yield reduction due to shading	5.3 %/Year	4.7 %/Year	1.3 %/Year

The price information was taken from CW Energy Company Website (CW Energy, 2023). According to the taken price information, the watt peak price of one panel can be seen in Table 2.

Table 2. Watt peak price for mono-c, poly-c and half-cut mono-c

Type of Panels	Watt*Watt Peak Price	Price
Mono-c	400W*0.40 \$	=160 \$
Poly-c	285W *0.30 \$	=85.5 \$
Half-Cut Mono-c	455W*0.42 \$	=191.1 \$

2.3. Solar Energy in Muğla

In this work, we have selected the location of the house in Muğla and south direction. The reason for this choice was to be able to make comparison based on actual application results. South is known to be the best direction for solar panels due to the interaction between sunlight during both sunset and sunrise. Panels on a standard pitch roof facing to the north are known to end up with roughly 30% less

efficiency values than south. Despite the fact that 25-30% less production is made compared to the south side, if there is a roof facing north-south and if the angle of the panels is between 5-7 degrees, panel settlement is made on the north side. If the facade of the house does not face south, settlement can be made on the east-west side. The east-west side produces 4-5% less energy than the south side. At sunrise, the panels on the east side produce more energy than the west side, whereas at sunset the panels on the west side produce more than the east side as shown in Figure 6 (Solar Design Guard, 2023).

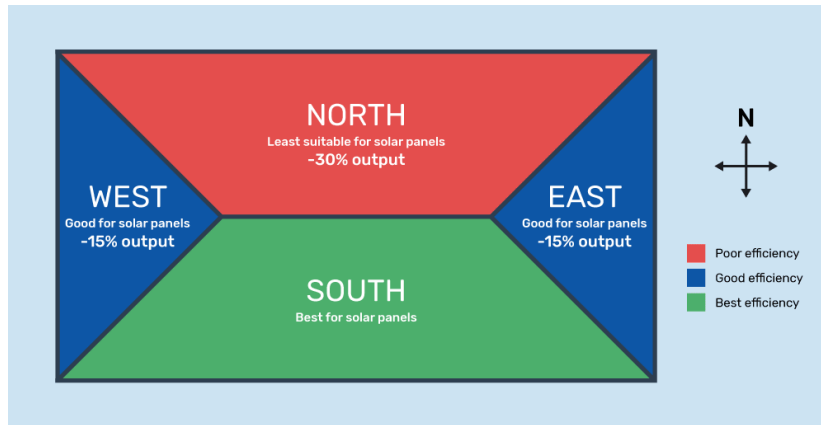


Figure 6. Face directions of the solar panels (Solar Reviews, 2023)

If the location changes, sunshine hour (a sunshine hour is a climatological term, measuring the duration of sunshine in a given period for a given location on Earth) also changes. Table 3 summarizes the different locations with different sunshine hour. The data for Muğla city was obtained from PV geographical information system as given in Figure 7 (Photovoltaic Geographical Information System, 2023).

PV technology:	Crystalline silicon
PV installed [kWp]:	1
System loss [%]:	14
Simulation outputs:	
Slope angle [°]:	35
Azimuth angle [°]:	0
Yearly PV energy production [kWh]:	1607.09
Yearly in-plane irradiation [kWh/m ²]:	2147.6
Year-to-year variability [kWh]:	32.76
Changes in output due to:	
Angle of incidence [%]:	-2.52
Spectral effects [%]:	0.19
Temperature and low irradiance [%]:	-10.9
Total loss [%]:	-25.17

Figure 7. Yearly PV energy production for Muğla

We have calculated the sunshine hour for Muğla as:

$$\text{Daily average PV energy production for Muğla} = \frac{\text{Yearly PV energy production for Muğla}}{\text{Day}} \quad (1)$$

$$\frac{1607.09 \text{ kWh}}{365} = 4.4 \text{ kWh}$$

Table 3. Sunshine hour for different provinces (Photovoltaic Geographical Information System, 2023)

Province	Sunshine Hour
Muğla	4.4 kWh
Ankara	3.9 kWh
Diyarbakır	4.08 kWh
İzmir	4.28 kWh
Hatay	4.26 kWh
Trabzon	2.78 kWh
Edirne	3.82 kWh

To sum up, if the location changes, not only sunshine hour will change, but also the interaction between panels and sun, as a result efficiency, will change.

2.4. PvSol Design

PvSol is a simulation program with 3D visualization and detailed shading analysis for the calculation of PV systems (PvSol, 2023). The user-friendly program provides a combination of appliances, battery systems, and electric vehicles. With PvSol we have designed and simulated different types of solar cells.

The consumption power of all electronic devices used in the house was calculated and the need of the house was found. Depending on our calculations, the monthly consumption power of the house was found as 883170 W.

$$\text{The daily consumption power of the house} = \frac{\text{The monthly consumption power}}{\text{Day}} \quad (2)$$

$$\frac{883170 \text{ W}}{30} = 29 \text{ kW}$$

$$\text{The required amount for the installation} = \frac{\text{The daily consumption power of this house}}{\text{Daily average PV energy production for Muğla}} \quad (3)$$

$$\frac{29\text{kW}}{4.4\text{kWh}} = 6.4 \text{ kWp}$$

As regards to these results, it was found that the required amount for the installation was 6.4 kWp.

2.5. PvSol Design with Mono-c Panels

In order to provide the required energy amount of 6.4 kWh, we have selected 400 Wp PV mono-c panel from CW Energy Company, which is a wholesaler and distributor of solar panels (CW Energy, 2023) and then we calculated the number of panels needed for this power.

$$6400W_p \div 400W_p = 16 \text{ (number of panels)}$$

We have used 16 mono-c panels and one inverter on the rooftop. The produced current type is in DC form, and with the help of an inverter, it is converted into AC form that can be used in houses, workplaces, etc. In addition to the required energy amount, all the risk parameters have been considered, like shading (Bimenyimana et al., 2017). In order to reduce this shadowing effect, we preferred to split Maximum Power Point Tracking (MPPT) in half. At sunrise, due to the length of the house’s chimney, and at sunset the satellite has made shading on the panels. After arranging the panel placement, we have examined the shading effect as shown in Figure 8.

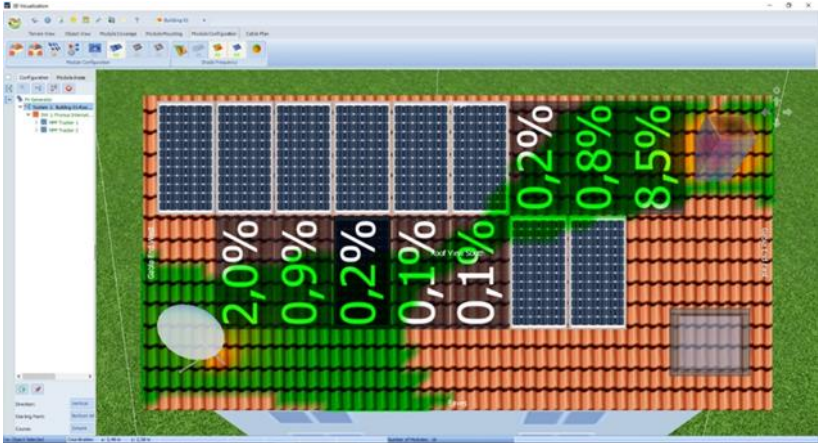


Figure 8. Shading on mono-c panels

If we have used a single and serial connected MPPT, the efficiency would decrease at sunrise and sunset. To minimize the shadowing effect, we have split the MPPT into two as MPPT1 and MPPT2 as shown in Figure 9.

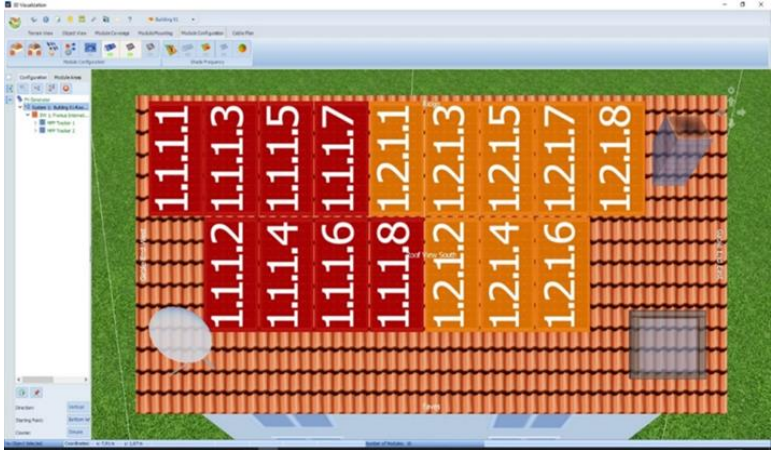


Figure 9. MPPT1 and MPPT2 for mono-c panels

After arranging the optimum position, we have placed the cables from the automatic cabling section. Wires/cables have played an important role in observing the best performance from an electrical system. Finally, the panels were placed as depicted in Figure 10.

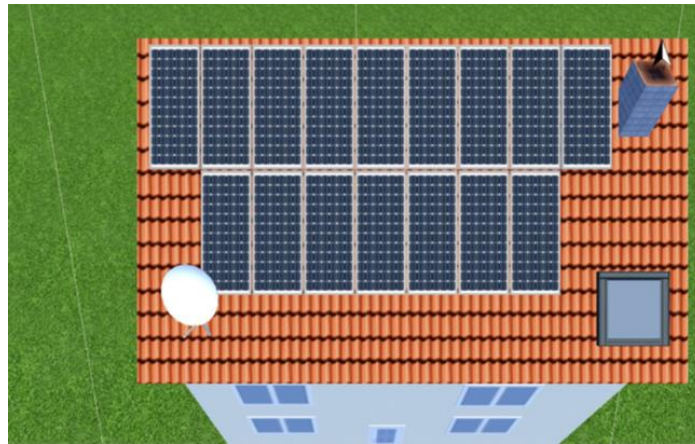


Figure 10. General view of the optimum positions for mono-c panels

2.6. *PvSol Design with Poly-c Panels*

We have selected 285 W_p poly-c solar panels from CW Energy Company (CW Energy, 2023) and then we have calculated the number of panels for the required power.

$$6400 \text{ Wp} \div 285 \text{ Wp} = 22 \text{ (number of panels)}$$

Depending on the structural properties of poly-c panels and the reported results in the literature, it can be said that the efficiency of poly-c panels is lower than the mono-c panels (Jiang et al., 2020). As a result of this, unlike other designs, a greater number of panels was required and the design covered more area on the roof.

As well as in mono-c panel design, shading effect and MPPT design have been made in this poly-c design. The shading effect of the poly-c covered roof, MPPT splitting, and general view of the roof obtained with PvSol can be seen in Figure 11, Figure 12 and Figure 13 respectively.

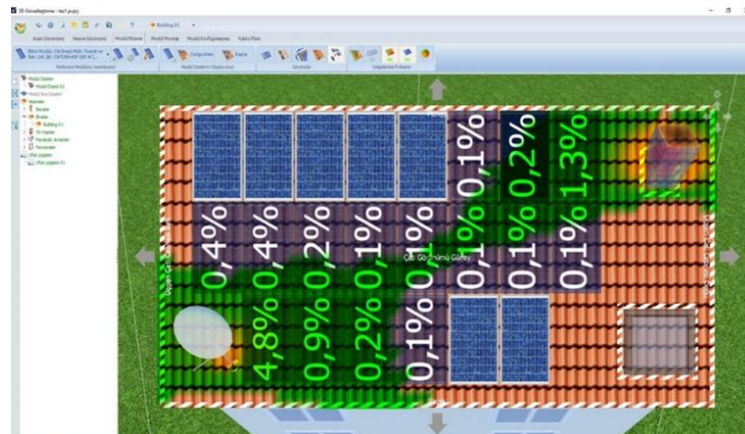


Figure 11. Shading on poly-c panels

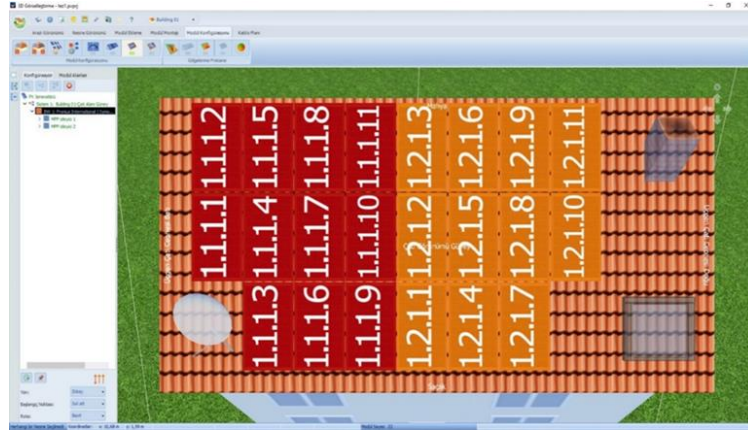


Figure 12. MPPT1 and MPPT2 for poly-c design

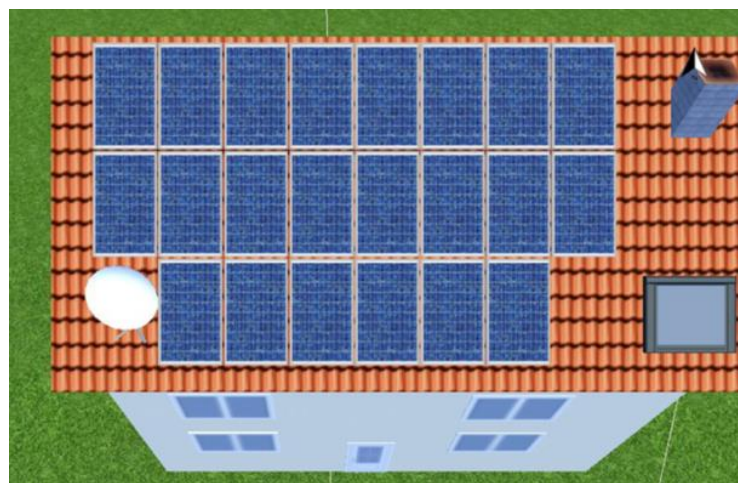


Figure 13. General view of the roof entirely covered with poly-c panels

2.7. PvSol Design with Half-Cut Mono-c Panels

We have selected 455Wp half-cut mono-c solar panel from CW Energy Company (CW Energy, 2023). The number of half-cut panels that we have used to produce this energy was calculated as follows:

$$6400Wp \div 455Wp = 14 \text{ (number of panels)}$$

Since the half-cut mono-c panels can produce higher energy compared to the other panel types, we have used less number of half-cut mono-c panels (Kewte, 2023). After simulating several alternatives, the best positioning for the panels have been selected. As done for mono-c and poly-c panel designs, also for this case the shadowing effect was investigated as shown in Figure 14. Thanks to the less number of panels, different from the aforementioned types, the shadowing effect has not dropped the output that much. To minimize the shadowing effect and to get the maximum efficiency, we have divided the MPPT in half as shown in Figure 15.

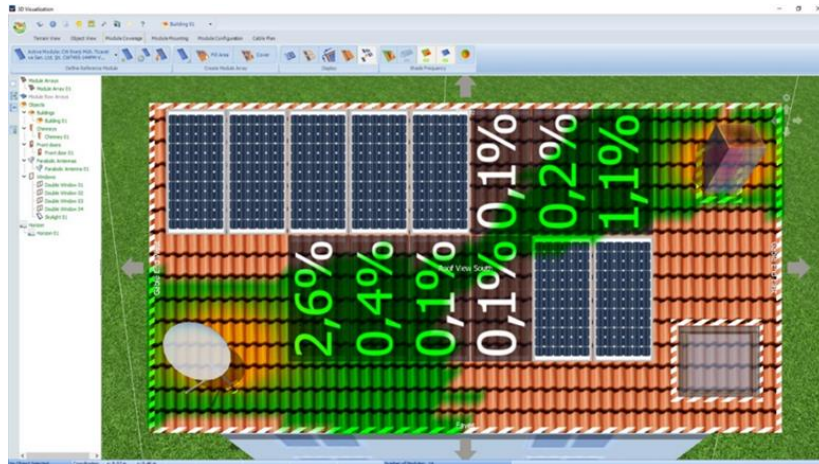


Figure 14. Shading on half-cut mono-c panels

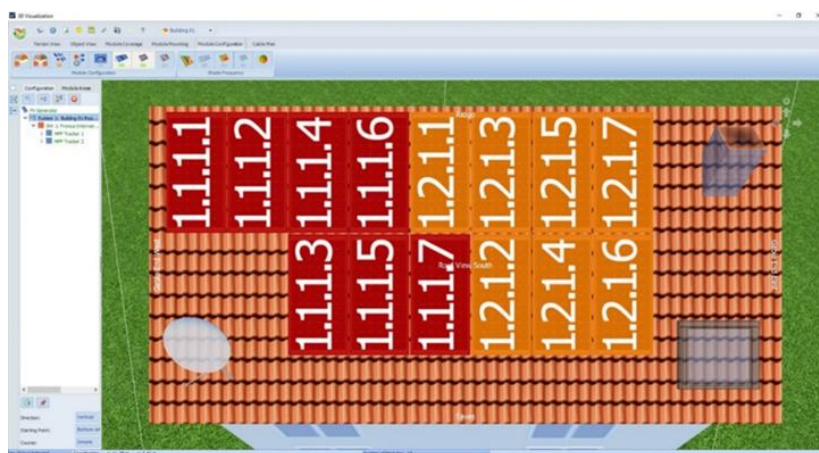


Figure 15. MPPT1 and MPPT2 for half-cut design

Unlike mono-c and poly-c type designs, the half-cut mono-c panels covered the smallest area as shown in Figure 16. The reason for this is that, as explained before, half-cut panels produce more energy than other panel types as summarized in Table 4.

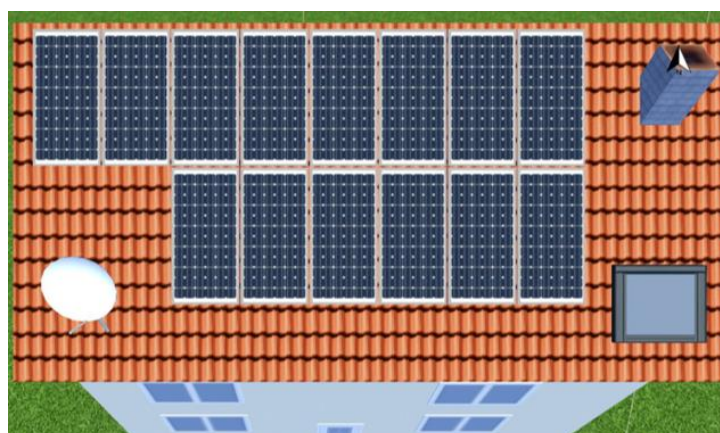


Figure 16. General view of the roof covered with half cut mono-c panels

3. Results and Discussion

3.1. Simulation Results and Comparison of Different Panel Types

According to the physical properties and the maximum energy that the panel types can produce, the number of required panel number was calculated, which is consistent with the results reported in the literature (Duman and Alçı, 2022). Half-cut mono-c panels have the highest efficiency and as a result of this high output, the number of required panel number was lower, as expected. The results of our simulation study can be summarized as tabulated in Table 4.

Table 4. The summary of our simulation study based on different panel types

Types of Panels	Mono-c	Poly-c	Half-cut Mono-c
Number of PV modules	16	22	14
Number of inverters	1	1	1
PV generator energy	10.639 kWh	10.607 kWh	10.932 kWh
Grid feed-in	10.639 kWh	10.607 kWh	10.932 kWh
Spec. annual yield	1.662,33 kWh/kWp	1.684,58 kWh/kWp	1.716,14 kWh/kWp
Performance ratio	82.90%	84.10%	85.7%
Yield reduction due to shading	5.3 %/Year	4.7 %/Year	1.3 %/Year
CO ₂ emissions avoided	5.000 kg/year	4.964 kg/year	5.138 kg/year
PV generator surface	32 m ²	36.1 m ²	30.5 m ²
PV generator output	6.4 kWp	6.27 kWp	6.4 kWp
Cost for one panel	160 \$	85.5 \$	191.1 \$

It was found that the best among other panel types was the half-cut mono-c. Half-cut panels have been recently preferred more and more, day by day (Khan et al. 2023). The amount of use has been increasing recently. It is a new technology resulting with high efficiency values. The reason of the better performances compared to other panel types is the decrease in cell's resistance based on structural facts (Duman and Alçı, 2022).

One of the main benefits of renewable energy is that it generates significantly lower CO₂ emissions than non-renewable sources (Arif, 2013). Half-cut panels can prevent more CO₂ than mono-c and poly-c as shown in Table 4. Using Equation 4, CO₂ factor for different countries and different panel types were calculated as shown in Table 5 and Table 6 respectively (Solar Blog by Kerem Çilli, 2022).

$$\text{CO}_2 \text{ (kg)} = \text{kWh generated energy} \times \text{CO}_2 \text{ factor (g/kWh)} \text{ (for Turkey: 619.8 g/kWh)} \quad (4)$$

Table 5. CO₂ factor table by different countries

Country	CO ₂ Factor (g/kWh)
USA	689.56
Japan	450
Turkey	619.8
Spain	265.4

Table 6. CO₂ (kg) values for different types of panels

Types of Panels	Mono-c	Poly-c	Half-cut Mono-c
Calculated value	5.000 kg/year	4.964 kg/year	5.138 kg/year

Upon comparing the simulation results with the studies in literature, it can be concluded that maximum CO₂ emissions avoided can be observed with the half-cut mono-c panels as shown in Figure 17.

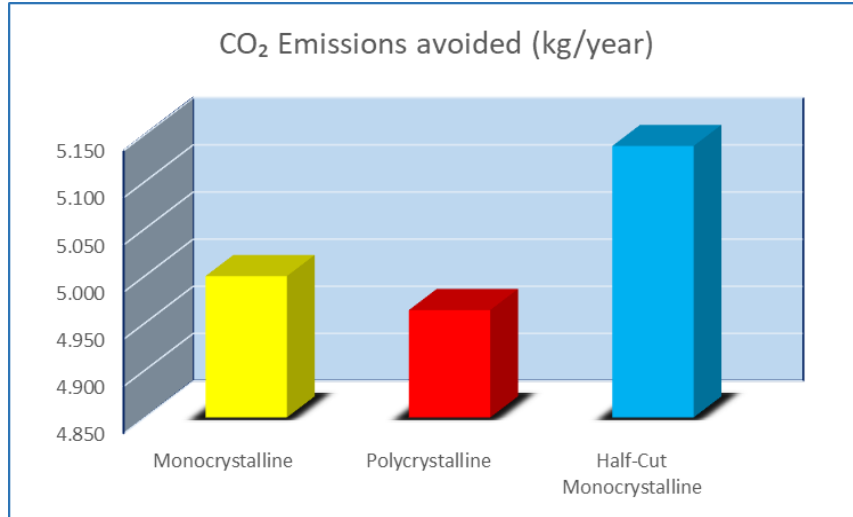


Figure 17. CO₂ emission data for different panel types

4. Conclusion and Future Work

In this paper we have presented the results of our simulation studies made for a house located in Muğla, using PvSol program. Based on the actual consumption of the designed house, the daily energy requirement was calculated and taken as 6.4 kWp. According to the real consumption amount and the physical properties of the house, such as shadowing, roof area, the location, three different panel types were investigated and analyzed, as explained in Table 4. As regards to the simulation outcomes, it was found that the optimum results, with the highest efficiency, were obtained with a roof decorated with half-cut monocrystalline panel type. This panel type has the lowest CO₂ emission amount. In addition to minimizing CO₂ emission, the smallest area coverage could be managed with half-cut panel type. For a house located in Muğla, the fourth rainiest province in Turkey, the optimum panel selection was proved to be the half-cut monocrystalline panel type, which is compatible with the real application examples. As a future work, the results will be updated and implemented depending on the energy requirement of either a house, or a factory.

Acknowledgement

Thanks to the infrastructure and facilities of Disolar Energy and to Mehmet Dişçigil.

Statement of Conflict of Interest

The authors have declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the authors is equal.

Abbreviations

PV: Photovoltaic

CO₂: Carbon Dioxide

Mono-c: Monocrystalline

Poly-c: Polycrystalline

DC: Direct Current

AC: Alternating Current

Si: Silicon

c-Si: Crystalline Si

MPPT: Maximum Power Point Tracking

References

- Adak S., Cangi H., Yılmaz AS. Mathematical model for computing output voltage of pv solar module dependent on temperature and irradiance. *International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences* 2018; 2(2): 124-138.
- Adak S., Cangi H., Eid B., Yılmaz AS. Developed analytical expression for current harmonic distortion of the PV system's inverter in relation to the solar irradiance and temperature. *Electrical Engineering* 2021; 103: 697-704.
- Alrikabi NMA. Renewable energy types. *Journal of Clean Energy Technologies* 2014; 2(1): 61-64.
- Bimenyimana S., Asemota GNO., Kemunto MC., Li L. Shading effects in photovoltaic modules: simulation and experimental results. *2nd International Conference on Power and Renewable Energy*, 20-23 Sept. 2017: 904-909.
- Bolat M., Arifoğlu U., Demiryürek HK. Analysis of lebit energy solar power plants with pvsyst program. *BEU Journal of Science* 2020; 9(3): 1351-1363.
- CW Energy. <https://cw-enerji.com/tr/index.html> (Access date: 17.05.2023)
- Duman S., Alçı M. Investigation of the parameters affecting the total efficiency of solar energy panels designed with half and full photovoltaic cells. *Niğde Ömer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences* 2023; 11(3): 592-600.
- Güven Ş., Atalay O., Use of the renewable energy resources in Turkey. *The Eurasia Proceedings of Science, Technology* 2018; 4: 167-170.
- Jiang L., Cui S., Sun P., Wang Y., Yang C. Comparison of monocrystalline and polycrystalline solar modules. *IEEE 5th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference*, 12-14

June 2020: 341-344.

- Joshi A., Khan A., SP A. Comparison of half-cut solar cells with standard solar cells. *Advances in Science and Engineering Technology International Conferences*, 26 March-10 April 2019: 1-3.
- Kewte S., Kewte GS. Performance evaluation of 445 wp half cut monocrystalline solar panel with 380wp mono crystalline and 330wp polycrystalline solar panel for partially shading effect. *Third International Conference on Advances in Electrical, Computing, Communication and Sustainable Technologies*, 5-6 January 2023: 1-5.
- Liu J., Hou R. Solar cell simulation model for photovoltaic power generation system. *International Journal of Renewable Energy Research* 2014; 4(1): 49-53.
- Mashail SA. Residential solar panels and their impact on the reduction of carbon emissions. Rep Berkeley University of California 2013: 1-18.
- PenneState. <https://www.e-education.psu.edu/meteo300/search/node/solar%20spectrum> (Access date: 15.05.2023)
- Photovoltaic Geographical Information System, https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/ (Access date: 15.05.2023)
- PvSol. <https://pvsol.software/en/> (Access date: 18.05.2023)
- Schubert EF. Doping in III-V semiconductors. Cambridge University Press: New Jersey; 1993.
- Solar Blog by Kerem Çilli, <https://www.keremcilli.com/> (Access date: 16.09.2023)
- Solar Design Guard. <https://solardesignguide.com/solar-panel-tilt-and-azimuth/> (Access date: 16.09.2023)
- Solar Reviews. <https://www.solarreviews.com/blog/best-direction-orientation-solar-panels> (Access date: 16.09.2023)
- Uslu YD. Green energy in Turkey. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 2016; 12: 384-392.
- Üzüm A., Mandong A. Analysis of silicon solar cell device parameters using pc1d. *Sakarya University Journal of Science* 2019; 23(6): 1190-1197.

Adaçayı (*Salvia officinalis*)'nda Tuzluluk (NaCl) Stresi Üzerinde Salisilik Asit Uygulamalarının Etkisi

Gizem KAMÇI TEKİN^{1*}, Erhan AKALP², Vedat PİRİNÇ³, Özlem TONÇER⁴

¹Şırnak Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, 73000, Şırnak

^{2,3}Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, 21000, Diyarbakır

⁴Dicle Üniversitesi, Diyarbakır Tarım Meslek Yüksekokulu, Organik Tarım Programı, 21000, Diyarbakır

¹<https://orcid.org/0000-0001-6551-8669>

²<https://orcid.org/0000-0003-3471-8996>

³<https://orcid.org/0000-0001-9701-2240>

⁴<https://orcid.org/0000-0001-5273-8101>

*Sorumlu yazar: gzmkm2@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 01.02.2023

Kabul tarihi: 20.10.2023

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Salvia officinalis L.

Tuzluluk

Salisilik asit

Adaçayı

Prolin

ÖZ

Adaçayı, Lamiaceae familyasına ait bir tür olup, içerdiği uçucu yağ ve diğer sekonder metabolitler nedeniyle Türkiye ve dünya yüzeyinde önemli bir ticari öneme sahiptir. Bu çalışma farklı tuz ve salisilik asit uygulamalarının adaçayı (*Salvia officinalis* L.) bitkisinin morfolojik özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Araştırmada; Kontrol (0), 5 farklı tuz (50, 100, 150, 200 ve 250 mM NaCl) ve üç farklı Salisilik asit (SA) (0,1, 0,5 ve 1,0 mM) konsantrasyonları uygulanmıştır. İncelenen özellikler değerlendirildiğinde; adaçayında bitki boyunun 11,78-24,17 cm, kök uzunluğunun 9,13-20,70 cm, taze bitki ağırlığının 1,94-7,03 g/bitki, taze kök ağırlığının 0,89-3,50 g/bitki, bitki zararlanma skalasının 3-5 arasında değiştiği ve bitkinin sentezlediği prolin miktarının 0,10-1,56 (µmol/mg T.A.) aralığında olduğu tespit edilmiştir. Kontrol uygulaması incelenen özellikler açısından yüksek değerler verse de salisilik asit ve tuz uygulamasının incelenen özellikleri olumlu etkilediği görülmüştür.

Effect of Salicylic Acid Application on Salinity (NaCl) Stress in Sage (*Salvia officinalis*)

Research Article

Article History:

Received: 01.02.2023

Accepted: 20.10.2023

Published online: 11.03.2024

Keywords:

Salvia officinalis L.

Salinity

Salicylic acid

Sage

Proline

ABSTRACT

Sage, a member of the Lamiaceae family, holds significant commercial significance in Turkey and worldwide due to its essential oil and secondary metabolites. This investigation aims to examine the impacts of diverse salt and salicylic acid applications on *Salvia officinalis* L. plant's morphological features. The study applied various treatments, including Control (0) and 5 different salt concentrations (50, 100, 150, 200, and 250 mM NaCl), and three Salicylic acid (SA) concentrations (0.1, 0.5, and 1.0 mM). Upon evaluation, sage plants exhibited a range of characteristics such as plant height ranging from 11.78 to 24.17 cm, root length ranging from 9.13 to 20.70 cm, fresh plant weight ranging from 1.94 to 7.03 g/plant, and fresh root weight ranging from 0.89 to 3.50 g/plant. The scale of damage to the plant ranges from 3 to 5, and the plant synthesizes between 0.10-1.56 (µmol/mg T.A.) proline. Though high values were obtained in the control application in relation to the assessed properties, the application of salicylic acid and salt was observed to have a beneficial effect on these properties.

To Cite: Kamçı Tekin G., Akalp E., Pirinç V., Tonçer Ö. Adaçayı (*Salvia officinalis*)'nda Tuzluluk (NaCl) Stresi Üzerinde Salisilik Asit Uygulamalarının Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(2): 500-511.

Giriş

Adaçayı, Lamiacea familyasına ait çok yıllık ve tek yıllık türleri bulunan önemli bir tıbbi ve aromatik bitkisidir. Türkiye’de Ege ve Akdeniz bölgelerinde; Dünyada ise ılıman iklim koşullarına sahip bölgelerde yetiştirilmektedir. En önemli *Salvia* türleri *S. officinalis* L., *S. fruticosa* Mill., (syn. *S. triloba* L.), *S. pomifera* L., *S. lavandulaefolia* Vahl ve *S. sclarea* L.'dir. Türkiye florasında *Salvia* cinsi 100 tür ve 107 takson ile temsil edilmektedir (Tursun ve ark., 2021). *Salvia officinalis* L. yabancı döllen, 60-100 cm kadar boylanabilen, yeşil-tüylü yaprağa, beyaz ve pembe çiçek rengine sahip olan tıbbi aromatik bitkidir (Kusaksız, 2019).

Adaçayının ticari olarak kullanılan kısımları yaprakları olmakla birlikte bünyesinde bulundurduğu uçucu yağ içeriğindeki α -tuyon, 1,8-sineol, β -tuyon ve kafur gibi bileşenlerin antimikrobiyal ve antioksidan aktivitesinin olduğu bildirilmektedir (Karakuş ve ark., 2017). Geleneksel tıpta ağrıkessici, kabızlık önleyici, aşırı terleme ve cilt rahatsızlıklarının giderilmesinde kullanılmaktadır (Çamlıca ve ark., 2019).

Bitkiler vejetatif ve generatif gelişme süreçlerinde birçok olumsuz koşullara maruz kalmaktadır. Olumsuz koşullar stres olarak adlandırılmakta olup; biyotik ve abiyotik stres olarak ikiye ayrılmaktadır. Biyotik stres; funguslar, bakteriler, virüsler, bitkiler, nematodlar, antropojenik etkiler, hayvanlar gibi faktörleri içerirken, abiyotik stres ise; tuzluluk, kuraklık, radyasyon, yüksek-düşük sıcaklık, atmosfer kirliliği, yüksek-düşük ışık şiddeti gibi etkileri kapsamaktadır. Bitkilerin yaşadığı stres koşulları; reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumunu ve birikimini artırarak ciddi metabolik işlev bozukluklarına neden olur, bu da Deoksiribo Nükleik Asitte (DNA) hasara, lipid peroksidasyonuna ve enzimlerin inaktivasyonuna yol açabilen bir oksidatif stres ile sonuçlanmaktadır (Tounekti ve ark., 2013).

Abiyotik stres faktörlerinden biri olan tuzluluk stresi bitkilerde verim ve kalitenin yanısıra sürdürülebilir tarım kapsamında toprak yapısını negatif yönde etkilemektedir. Kurak ve yarı kurak koşullarda yüksek buharlaşma, bilinçsiz ve vahşi sulama tuzluluğu artıran etmenlerden birkaç tanesi olarak sıralanabilmektedir. Çalışmalar; *S. officinalis*'de tuz stresi uygulamalarının bitkide incelenen parametrelerde önemli değişikliklere neden olduğunu bildirmektedir (Hendawy ve Khalid, 2005; Torun, 2019). İncelenen parametreler ışığında tuz stresine karşı bitkiler prolin ve çözünür şeker gibi uyumlu ozmolitleri biriktirerek bir mekanizma oluşturmaktadır (Hussain ve ark., 2011). Tuz stresini önlemeye yönelik yapılan çalışmalarda bazı büyüme düzenleyicilerinin işe yaradığı rapor edilmiştir (Kaydan ve ark., 2007). Bu bitki büyüme düzenleyicilerinden biri de salisilik asittir. SA hidroksil grubu aromatik halkaya sahip bir fenolik olup endojen bir bitki büyüme düzenleyicisidir, çok sayıda metabolik süreçte önemli roller oynar ve ağır metaller, tuzluluk ve yüksek sıcaklık gibi farklı abiyotik strese maruz kalan bitkilerde solunum, fotosentez ve antioksidan mekanizmalarını düzenler (Haydari ve ark., 2019; Sharma ve ark., 2020). Bitkilerde kök sayısını, kök uzunluğunu artırır, köklenme süresini kısaltır, köklerde absorpsiyon ve membran taşınım mekanizmasını, stomaların kapanmasını engeller, vejetatif aksam gelişimini artırdığı yapılan çalışmalarla bildirilmiştir (Aktaş ve Güven, 2005;

Özeker, 2005). Salisilik asit bitkinin köklerinde biriken tuz sebebiyle oluşan su stresinin oksidatif hasarı engellenmesine ve protein yapısının korunmasında etkin olduğu tespit edilmiştir (Rivas-San Vicente ve Plasencia 2011). Idrees ve ark. (2011); Choudhary ve ark. (2021) yaptıkları çalışmalarda SA uygulamalarının bitkilerde stresi azalttığı ve çimlenmeyi artırdığını bildirmişlerdir. Hendawy ve Khalid (2005) *S.officinalis* bitkisinde salisilik asidin (SA) abiyotik stres karşısında toleransı artırdığını rapor etmişlerdir. Salisilik asidin temel olarak zararlı koşullarda ekonomik ürünlere direnç kazandırdığı bilinmesine rağmen, adaçayı bitkisinde tuzluluk üzerine etkilerini inceleyen çok az çalışma mevcuttur.

Bu çalışmada adaçayı (*Salvia officinalis* L.) bitkisinde farklı SA ve tuz uygulamaları (NaCl) ile salisilik asit ön uygulamasının tuzluluk stresine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Metot

Çalışma, 2020 yılı ilkbahar döneminde Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi'ne ait uygulama ve araştırma serasında yürütülmüştür. Sera koşulları gündüz sıcaklığı 25°C±1; gece sıcaklığı ise 20 °C±1 olarak ayarlanmıştır. Araştırmada bitki materyali olan adaçayına ait tohumlar, Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsünden temin edilen Elif çeşidine aittir. Çalışmada kullanılmış olan bitkilere ait tohumların ekimleri serada toprak, torf, kum, perlit karışımı (3:1:1:1) bulunan viyoller içerisine 25 Mart 2020 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Tohumlarda çıkışı garantilemek için viyollerin her gözüne 4 tohum ekilmiş ve gereklikçe sulamaları yapılmıştır. Çıkışlar görüldükten sonra her viyol gözlerinde 1 fide kalacak şekilde seyreltme yapılmıştır. Bitkiler 10-15 cm boyunda 5-6 yapraklı olduğu dönemde su kültürüne alınmıştır. Saksıların üzerine fideleri yerleştirmek amacıyla eşit sayıda delik bulunan tablalar bırakılmış ve tablaların üzerindeki deliklere fideler süngerlere sarılarak su kültürüne alınmıştır. Deneme tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuştur. Çalışma 1 saksıda 5 bitki olacak şekilde 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür.

Bitkilerin su kültüründe yetiştiriciliği için 2,7 lt hacme sahip deliksiz saksılar kullanılmış; saksı içerisindeki suyun oksijen miktarını artırmak için her saksı içerisine hava sirkülasyonunu sağlayacak hava motoru kullanılmıştır. Kompresör elektriği zamanlayıcı ile verilmiş; zamanlayıcı 24 saat boyunca 1 saat çalışacak 1 saat duracak şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca saksılardaki oksijen miktarını artırmak için saksı içerisindeki su 3 günde bir değiştirilmiş ve aynı anda besin solüsyonu suya eklenmiştir (Kuşvuran ve ark., 2008). Bitkileri su kültüründe besleyebilmek için Hoagland besin çözeltisi kullanılmıştır (Hoagland ve Arnon, 1950). Verilen gübre değerleri yapılan çalışmalar ışığında Ec ölçer cihaz yardımıyla ölçülerek ortalama 1,5-2,0 dS/m aralığında tutulmaya çalışılmıştır. Kullanılan salisilik asit (SA) Merck firmasından temin edilmiştir. Araştırmada; Kontrol (0), 5 farklı tuz (50, 100, 150, 200 ve 250 mM NaCl/l) ve üç farklı Salisilik asit (SA) (0,1, 0,5 ve 1,0 mM/l) konsantrasyonları uygulanmıştır, tuz uygulaması her gün 50 mM dozların verilmesiyle beş günde 250 mM'ye tamamlanmıştır. Çalışmada ayrıca belirlenen farklı salisilik asit dozları üzerine uygulanan NaCl uygulaması ile oluşturulan kombinasyonlar da uygulamaları oluşturmuştur. Fidelerin saksılara

dikiminden 1 hafta sonra bitkilerin ortama uyum sağladığına karar verilerek uygulamalar başlatılmıştır. Saksılara önce belirlenen farklı dozlardaki SA tek seferde verilmiş ve ardından 2 gün sonra her gün 50 mM olacak şekilde NaCl konsantrasyonları uygulanmış ve 5. günün sonunda toplamda 250 mM tuz konsantrasyonu tamamlanmıştır. Son tuz uygulamasından 10 gün sonra bitkiler saksılardan çıkarılmış ölçüm ve gözlemleri alınarak çalışma sonlandırılmıştır. Hasat edilen bitkilerde, bitki hasar skalası (Kuşvuran, 2010), bitki yaş ağırlığı, kök yaş ağırlığı, kök uzunluğu, bitki boyu, prolin içeriği incelenmiştir. Prolin miktarının belirlenmesinde Bates ve ark. (1973)'nin geliştirildiği yöntemle göre, 520 nm'de spektrofotometrede (Shimadzu 1208) $\mu\text{mol/mg T.A.}$ olarak hesaplanmıştır.

İstatistik Analizler

Çalışmadan elde edilen veriler JMP 14 PRO istatistik programında Tukey varyans analizine tabi tutulmuştur. LSD testi kullanılarak uygulamaların arasındaki ortalama farkları belirlenmiştir.

Bulgular

Tablo 1 incelendiğinde, adaçayında farklı SA ve tuz uygulamaları ve bunların kombinasyonları birlikte değerlendirildiğinde; bitki boyu üzerine uygulamaların etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0,001$). En yüksek bitki boyu (24,17 cm) 0,5 mM SA + 200mM NaCl uygulamasından elde edilirken, en düşük bitki boyu 11,78 cm ile 1 mM SA + 250mM NaCl uygulamasından elde edilmiştir.

Adaçayında farklı SA ve NaCl uygulamalarının kök uzunluğu üzerine etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0,001$). Çalışmada en yüksek kök uzunluğu 200 mM NaCl uygulamasından (20,70 cm), en düşük kök uzunluğu ise 100mM NaCl (9,13 cm) uygulamasından elde edilmiştir.

Adaçayında farklı SA ve NaCl uygulamalarının taze bitki yaş ağırlığı üzerine etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0,001$). Çalışmada en yüksek bitki ağırlığı 0,5 mM SA + 150 mM NaCl (7,03 g) ve 0,5 mM SA (7,00 gr) uygulamalarından elde edilmiştir. En düşük bitki ağırlığı ise 1,94 g ile 0,1 mM SA + 200mM NaCl uygulamasından elde edilmiştir.

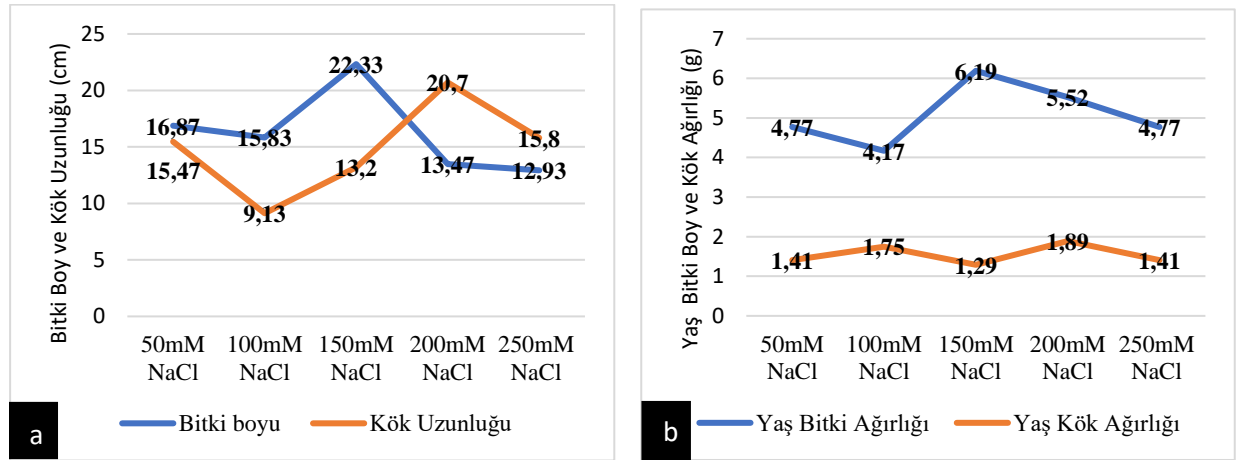
Adaçayında farklı SA ve NaCl uygulamaları ile birlikte kombinasyonların kök yaş ağırlığı üzerine etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0,005$). Çalışmada en yüksek kök ağırlığı 0,5 mM SA (3,50 g) uygulamasından elde edilmiştir. En düşük kök yaş ağırlığı ise 0,1 mM SA (0,89 g) uygulamasından elde edilmiştir.

Adaçayında farklı SA ve NaCl uygulamalarının bitkilerde meydana gelebilecek hasarlar üzerine etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir ($p<0,005$). Sıfırdan beşe kadar verilen puanlamada; sıfır hasarın olmadığı bitkiler olarak kabul edilmiş, beş ise hasarın en fazla meydana geldiği bitkiler olarak değerlendirilmiştir.

Hasar indeksi incelendiğinde kontrol grubundaki bitkilerde de zararlanmanın 3 düzeyinde olduğu tespit edilmiştir. En az zararlanmanın 0,5 mM SA + 150mM NaCl, 0, 5mM SA + 50 mM NaCl ve 200 mM NaCl uygulamalarından elde edildiği genel olarak SA dozları ile SA ve NaCl'nin kombinasyonları ile yapılan uygulamalarda hasar indeksinin arttığı tespit edilmiştir. 1,0 mM SA + 100 mM NaCl, 1,0 mM SA + 150 mM NaCl, 1,0 mM SA + 200 mM NaCl ve SA 1,0 mM + 250 mM NaCl uygulamalarında zararlanma indeksi kontrol grubuyla aynı olduğu tespit edilmiştir.

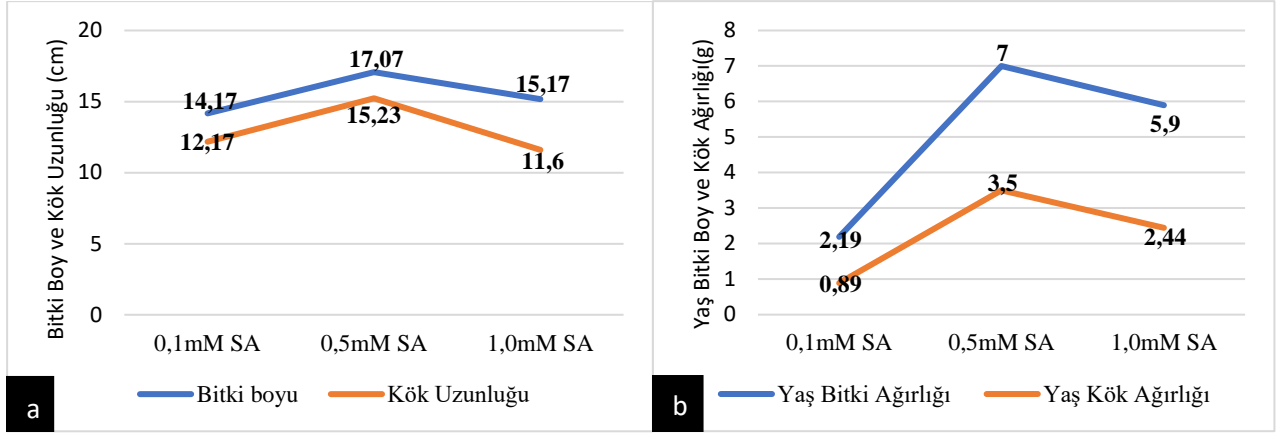
Adaçayında farklı SA ve NaCl uygulamalarının bitki stres direncinin bir sonucu olarak artan prolin miktarı üzerine etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir ($p < 0,001$). Çalışmada elde edilen verilere göre çalışmamızda stres uygulanan gruplarda prolin içeriği, kontrole kıyasla artmış, en yüksek prolin içeriği (1,56 $\mu\text{mol/mg}$ T.A.) 1,0 mM SA + 200 mM NaCl uygulamasından elde edilirken, bunu 1,49 $\mu\text{mol/mg}$ T.A. ile 0,5 mM SA + 200 mM NaCl ve 0,5 mM SA + 50 mM NaCl (1,49 $\mu\text{mol/mg}$ T.A.) uygulamalarında tespit edilmiştir. En düşük prolin içeriği ise; 1,0 mM SA + 250 mM NaCl (0,10 $\mu\text{mol/mg}$ T.A.) ve 100 mM NaCl (0,11 $\mu\text{mol/mg}$ T.A.) uygulamalarından elde edilmiştir.

Salisilik asit uygulamasının ardından uygulanan tuz uygulamalarının bitki gelişimi açısından kontrole göre farklılıklarının gözlemlendiği çalışmada, tuz uygulaması ve salisilik asit uygulamalarının tek başına etkileri Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. NaCl Uygulamasının Bitki Boyu ve Kök Uzunluğu (cm) ile (a) Yaş Bitki Ağırlığı ve Kök Ağırlığına (g) (b) Etkisi

Bitkilere kademeli olarak verilen farklı NaCl (50 mM, 100 mM, 150 mM, 200 mM, 250 mM) konsantrasyonlarının meydana getirdiği değişimlerde, bitki boyu 150 mM dozunda en yüksek olurken, daha yüksek dozlarda bitki boyunda düşüşler gözlenmiştir. Kök boyunda da benzer bir eğilim gözlenmiş 200 mM dozunda maksimum kök boyu elde edilmiştir. En yüksek yaş bitki ağırlığı 200 mM tuz uygulamasından elde edilmiş, yüksek dozun olumsuz etkisi bitki ağırlığında da kaydedilmiştir. Yaş kök ağırlığı açısından dozların etkisi belirgin olmamakla birlikte 200 mM tuz uygulamasının en yüksek değeri verdiği belirlenmiştir.



Şekil 2. Farklı Salisilik Asit Dozu Uygulamalarının Bitki Boyu ve Kök Uzunluğu (cm) (a) ile Yaş Bitki Ağırlığı ve Kök Ağırlığına (g) (b) Etkisi

Çalışmada farklı salisilik asit dozlarının (01 mM, 0,5 mM ve 1,0 mM SA) bitki gelişimi üzerine etkisi bakımından, salisilik asidin 0,5 mM dozunun bitkinin kök uzunluğu, bitki boyu, yaş bitki ağırlığı ve yaş kök ağırlığını artırdığı belirlenirken, artan dozda incelenen bu özelliklerde tekrar düşüşler gözlenmiştir.

Tablo 1. Adaçayı (*Salvia officinalis*)’nda farklı tuz ve salisilik asit uygulamalarının bazı bitkisel özellikler ve prolin içeriğine etkileri

Uygulamalar	Bitki Boyu (cm)	Kök uzunluğu (cm)	Yaş Bitki Ağırlığı (g/bitki)	Yaş Kök Ağırlığı (g/bitki)	Skala	Prolin (µmol/mg T.A.)
Salisilik Asit						
0,1 mM SA	14,17 f-g	12,17 b-e	2,19 bc	0,89 b	4	0,34 d-g
0,5 mM SA	17,07 b-g	15,23 a-e	7,00 a	3,50 a	5	0,41 c-g
1,0 mM SA	15,17 efg	11,6 c-e	5,9 abc	2,44 ab	4	0,31 efg
NaCl						
50 mM NaCl	16,87 b-g	15,47 a-e	4,77 abc	1,41 b	4	0,34 d-g
100 mM NaCl	15,83 d-g	9,13 e	4,17 abc	1,75 ab	5	0,11 fg
150 mM NaCl	22,33 abc	13,2 b-e	6,19 abc	1,29 b	3	0,15 fg
200 mM NaCl	13,47 fg	20,70 a	5,52 abc	1,89 ab	2	0,61 b-g
250 mM NaCl	12,93 g	15,8 a-e	4,77 abc	1,41 b	4	0,80 a-g
Salisilik Asit + NaCl Uygulaması						
0,1 mM SA + 50mM NaCl	21,87 a-d	17,00 abc	4,74 abc	1,43 b	4	1,27 ab
0,5 mM SA + 50mM NaCl	17,83 a-g	12,87 b-e	3,56 abc	1,7 ab	2	1,49 a
1,0 mM SA + 50mM NaCl	21,6 a-e	17,2 abc	4,15 abc	1,32 b	4	1,12 a-d
0,1 mM SA + 100mM NaCl	17,73 a-g	10,63 cde	4,88 abc	1,6 ab	4	1,11 a-d
0,5 mM SA + 100mM NaCl	22,53 ab	16,37 a-d	3,65 abc	1,83 ab	5	0,90 a-f
1,0 mM SA + 100mM NaCl	15,4 d-g	9,77 de	5,59 abc	1,71 ab	3	0,30 efg
0,1 mM SA + 150mM NaCl	17,17 b-g	15,8 a-e	5,01 abc	1,32 b	5	0,13 fg
0,5 mM SA + 150mM NaCl	19,53 a-f	14,30 a-e	7,03 a	1,51 ab	2	0,99 a-e
1,0 mM SA + 150mM NaCl	15,97 c-g	15,13 a-e	6,64 ab	2,56 ab	3	0,26 efg
0,1 mM SA + 200mM NaCl	12,57 g	10,7 cde	1,94 c	1,77 ab	3	0,23 efg
0,5 mM SA + 200mM NaCl	24,17 a	12,07 b-e	2,31 bc	1,49 ab	4	1,49 a
1,0 mM SA + 200mM NaCl	14,77 fg	16,77 abc	3,08 abc	1,33 b	3	1,56 a
0,1 mM SA + 250mM NaCl	13,23 fg	15,37 a-e	3,21 abc	1,96 ab	4	1,15 abc
0,5 mM SA + 250mM NaCl	15,47 d-g	14,63 a-e	4,29 abc	1,62 ab	4	0,48 b-g
1,0 mM SA + 250mM NaCl	11,78 g	15,33 a-e	3,78 abc	1,50 ab	3	0,10 g
Kontrol	23,00 ab	18,63 ab	6,71 ab	1,92 ab	3	0,23 efg
LSD	1,68*	1,77*	1,78**	0,52**	0	0,19*

Tartışma

Adaçayı bitkisinin hidroponik ortamda tuzlu koşullarda salisilik asit uygulamasıyla bazı morfolojik özelliklerde önemli farklılıklar tespit edilmiştir.

En yüksek bitki boyunun 0,5 mM SA uygulaması ile birlikte uygulanan 200 mM NaCl dozundan elde edildiği görülmüştür. Saksılara verilen farklı dozlardaki SA uygulamalarının farklı tuz dozlarına karşı tolerans gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. Salisilik asit uygulamalarında 0,5 mM SA dozu uygun olarak tespit edilmiştir. Göçer ve ark. (2021) yılında yapmış oldukları çalışmada tuz seviyelerindeki artışın adaçayı bitkisini önemli düzeyde etkilediğini aynı zamanda biyomas açısından da farklılıkların ortaya çıktığını bildirmişlerdir. *S. officinalis*'de bitki boyunun tuz dozu arttıkça azaldığını, bitki boyunu $36,78 \pm 4,9$ - $8,43 \pm 0,5$, kök uzunluğunun $35,5 \pm 2$ - $12,7 \pm 1,4$ arasında değiştiğini tespit etmiştir. Kulak (2011) yapmış olduğu çalışmada adaçayı bitkisinin gelişiminin 100 mM NaCl uygulamasına kadar fazla tepki göstermediğini bunun üzerindeki dozlarda bitkinin gelişiminin olumsuz yönde etkilediğini ve bitki boyunun ortalama 12,03-16,84 cm olduğunu bildirmiştir. Çamlıca ve ark. (2019) tuz stresi altında adaçayında selenyumun etkisini incelediği çalışmalarında, farklı dozlardaki selenyum uygulaması sonucu bitki boylarını 15,56-23,85 cm olarak bildirmişlerdir. Çalışmada elde edilen sonuçların önceki çalışmalarla benzer olduğu tespit edilmiştir. Yapılan araştırmada ortamdaki tuzluluğun artışı ile bitki boylarında düşüşler olduğu tespit edilmiş; ancak ortama verilecek 0,5 mM'lık SA ile bitki boylarının tek başına tuz uygulanan bitkilerden yüksek (24,17 cm) olduğu tespit edilmiştir. En yüksek kök uzunluğu 200 mM NaCl (20,70 cm) uygulamasından, en düşük kök uzunluğunun 100 mM NaCl (9,13 cm) uygulamasından elde edilmiştir. NaCl + SA uygulamalarında yapılan ölçümlerde kök uzunluğunda artışların meydana geldiği ancak kontrole karşılaştırıldığında değerlerde dalgalanmalar olduğu gözlenmiştir. Çamlıca ve ark. (2019) yaptıkları araştırmalarında kök uzunlukları bakımından farklı Selenyum dozlarında adaçayında istatistiki olarak farklılık olmadığını rapor etmişlerdir. Aynı araştırmacılar kök uzunluğunun tuzlu koşullarda yüksek bulunmasını Selenyum uygulamasının belirli miktarlarda tuz yoğunluğunu inhibe edebileceğini ileri sürmüşlerdir. Yüksek tuz seviyelerinin, kök büyümesini hızlandırdığı bazı çalışmalarda bildirilmiştir. (Wang ve ark. 2022). Zaimoğlu ve Doğru, 2016 tuz stresinin bazı mısır genotiplerinde kök, bazılarında ise gövde büyümesini inhibe ettiğini ve bunun tuz alınımı ve taşınımı konusunda genotipe bağlı farklılıklardan kaynaklanmış olabileceğini ileri sürmüştür.

Çalışmada yaş bitki ağırlıklarında kontrole karşılaştırıldığında değerlerin daha düşük olduğu, 0,1 mM SA + 150 mM NaCl dozuna kadar artışlar olduğu ortamdaki tuz miktarının artmasıyla değerlerin düştüğü görülmüştür. Sadece tuz uygulanan bitkilerde NaCl dozları arttıkça yaş bitki ağırlıkları azalmış, en yüksek yaş kök ağırlığının 0,5 mM SA (3,50 g) uygulamasından elde edildiği tespit edilmiştir. Kulak (2011) sadece tuz uygulaması yaptığı çalışmasında yaş kök ağırlığının 6,78-24,55 g arasında olduğunu rapor etmiştir.

Çalışmada skala değerlerine bakıldığında ortamdaki SA ve NaCl uygulamalarda zararlanma indeksinin yüksek; bazı uygulamalarda kontrol grubu bitkileriyle benzer olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak 1,0

mM SA'in farklı NaCl dozları ile uygulamasının zararlanma skalasını artırmadığı tespit edilmiştir. Yapılan birçok çalışmada SA uygulamalarının bitki fizyolojisi ve morfolojisini olumlu etkilediği rapor edilmektedir (Kaydan ve Yağmur, 2006; Altıkardeş ve ark., 2018).

Çalışmada bitkinin sentezlediği prolin miktarında ortamdaki SA ve NaCl dozları ile bağlantılı olarak elde edilen değerlerde dalgalanmalar olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak stres şartlarında bitkinin savunma direnci ile artan prolin miktarının, tuz uygulanmış bitkilerde yüksek olması beklenmektedir. En yüksek prolin miktarı 0,5/1,0 mM SA + 200 mM NaCl uygulamalarından, en düşük prolin miktarı 1,0 mM SA + 250 mM NaCl uygulamasından (0,10 µmol/mg T.A.) elde edilmiştir. Kontrolle karşılaştırıldığında uygulamalardan elde edilen prolin miktarları NaCl + SA uygulamalarında artış göstermiştir. Önal ve ark. (2021) bürülcede yaptıkları bir çalışmada tuzla muamele sonucu bitkilerde prolin aktivitesinin arttığını rapor etmiştir. Kaya ve ark. (2006) kavunda yaptıkları bir çalışmada prolin içeriğinin tuz stresine bağlı olduğu ve stres ile birlikte prolin içeriğinde artışlar görüldüğü belirtilmiştir. Erkılıç (2005)'ın biberde yaptığı bir çalışmada tuz uygulamasının prolin içeriğini arttırdığı belirlenmiştir. Sahar ve ark. (2011) ve Torun (2019) *Salvia officinalis* bitkisinde tuz stresine karşı prolin üretiminin arttığını bildirmişlerdir.

Sonuç

Ülkemizde adaçayı (*Salvia L.*) cinsine ait birçok türe rastlamak mümkündür (Yılmaz ve Güvenç, 2007). Bitki, alternatif tıp alanında oldukça fazla yer almakta olup halk arasında çay olarak da tüketilmektedir. Bitkilerin büyüme ve gelişme dönemlerinde karşılaşılabileceği biyotik ve abiyotik stres faktörleri bitkilerin önemli gelişim ve verim kayıplarına; hatta ölümlerine yol açabilmektedir (Hoseyni ve Rezvani, 2006; Akbari ve ark., 2007; Mahdavi ve ark., 2008; Hamidi ve Safarnejad, 2010). Tarımsal üretimde abiyotik stres faktörlerinden biri olan tuzluluğu önlemek için birçok akademik çalışmalar yapılmıştır (Elmas, 2021). Stres faktörünü tolere etmek veya ortadan kaldırmak için bu amaçla bazı besin elementlerinin kullanımı başta olmak üzere birçok organik, inorganik ve bitki düzenleyicileri çalışmalarda kullanılmıştır. Salisilik asit dünya üzerinde insanlar, hayvanlar ve bitkiler üzerinde birçok çalışmada kullanılmış, olumlu birçok özelliği üzerinde sayısız yayınlar yapılmıştır. Bu çalışma ile elde edilen bulgulara göre salisilik asidin tuzluluk stresini önlemede etkili olduğu gözlenmiş ve tuzlu topraklarda salisilik asit kullanımı ile bitkisel üretimin yapılabilmesi önerilebilir.

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

- Akbari G., Sanavy SA., Yousefzadeh S. Effect of auxin and salt stress (NaCl) on seed germination of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Pakistan Journal of Biological Sciences* 2007; 10(15): 2557-2561.
- Aktaş LY., Güven A. Bitki savunma sistemlerinde hormonal sinyal moleküller ve çapraz-iletişimleri. *Çankaya Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Journal of Arts and Sciences* 2005; 3.
- Altıkardeş E., Koyuncu MA., Erbaş D. Hıyarlarda salisilik asit uygulaması ile depolama süresinin uzatılması ve kalite kayıplarının azaltılması. *Akademik Ziraat Dergisi* 2018; 7(2): 143-150.
- Bates LS., Waldren RP., Teare ID. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil* 1973; 39(1): 205-207.
- Çamlıca M., Yaldız G., Özen F., Başol A., Aşkın H. Adaçayı ve dağ çayında tuz stresi üzerine selenyum uygulamalarının etkisi. *Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2019; 7(sp2): 29-35.
- Choudhary S., Zehra A., Mukarram M., Wani KI., Naeem M., Khan MMA., Aftab T. Salicylic acid-mediated alleviation of soil boron toxicity in *Mentha arvensis* and *Cymbopogon flexuosus*: Growth, antioxidant responses, essential oil contents and components. *Chemosphere* 2021; 276: 130153.
- Elmas S. *Salvia officinalis* (tıbbi adaçayı) bitkisinin bazı abiyotik stres faktörlerine yanıtları. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2021; 11(2): 943-959.
- Erkılıç E.G. Tuz stresi altındaki biber (*Capsicum annuum* L.) fidelerinde salisilik asitin prolin birikimi ve bazı fizyolojik özelliklere etkisi. Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Ana Bilim Dalı 2005.
- Göçer H., Yetişir H., Ulaş A., Arslan M., Aydın A. Plant growth, ion accumulation and essential oil content of *Salvia officinalis* Mill. and *S. tomentosa* L. grown under different salt stress. *Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Agriculture and Nature* 2021; 24(3): 505-514.
- Hamidi H., Safarnejad A. Effect of drought stress on alfalfa cultivars (*Medicago sativa* L.) in germination stage. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 2010; 8(6): 705-709.
- Haydari M., Maresca V., Rigano D., Taleei A., Shahnejat-Bushehri AA., Hadian J., Sorbo S., Guida M., Manna C., Piscopo M., Notariale R., De Ruberto F., Fusaro L., Basile A. Salicylic acid and melatonin alleviate the effects of heat stress on essential oil composition and antioxidant enzyme activity in *Mentha × piperita* and *Mentha arvensis* L.. *Antioxidants* 2019; 8(11): 547.
- Hendawy SF., Khalid KA. Response of sage (*Salvia officinalis* L.) plants to zinc application under different salinity levels. *Journal of Applied Sciences Research* 2005; 1(2): 147-155.
- Hoagland DR., Arnon DI. The water-culture method for growing plants without soil. *Circular. California Agricultural Experiment Station* 1950; 347(2nd edit).

- Hoseyni H., Rezvani MP. Effect of water and salinity stress in seed germination on isabgol (*Plantago ovata*). Iranian Journal of Field Crops Research 2006; 4(1): 15-22.
- Hussain SS., Ali M., Ahmad M., Siddique KHM. Polyamines: natural and engineered abiotic and biotic stress tolerance in plants. Biotechnology Advances 2011, 29(3): 300-311.
- Idrees M., Naeem M., Aftab T., Khan MMA., Moinuddin. Salicylic acid mitigates salinity stress by improving antioxidant defence system and enhances vincristine and vinblastine alkaloids production in periwinkle [*Catharanthus roseus* (L.) G. Don]. Acta Physiologiae Plantarum 2011; 33(3): 987-999.
- Karakuş M., Baydar H., Erbaş S. Tıbbi adaçayı (*Salvia officinalis* L.) populasyonundan geliştirilen klonların verim ve uçucu yağ özellikleri. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi 2017; 26(Özel Sayı): 99-104.
- Kaya C., Tuna AL., Ashraf M., Altunlu H. Improved salt tolerance of melon (*Cucumis melo* L.) by the addition of proline and potassium nitrate. Environmental and Experimental Botany 2006; 60(3): 397-403.
- Kaydan D., Yağmur M. Farklı salisilik asit dozları ve uygulama şekillerinin buğday (*Triticum aestivum* L.) ve mercimekte (*Lens culinaris* medik.) verim ve verim öğeleri üzerine etkileri. Tarım Bilimleri Dergisi 2006; 12(3): 285-293.
- Kaydan D., Yağmur M., Okut N. Effects of salicylic acid on the growth and some physiological characters in salt stressed wheat (*Triticum aestivum* L.). Tarım Bilimleri Dergisi 2007; 13(2): 114-119.
- Kulak M. Farklı tuz uygulamalarının adaçayı (*Salvia officinalis* L.)'nın gelişimi üzerine etkisi. Yüksek lisans tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Ana Bilim Dalı 2011.
- Kuşaksız G. Rare and endemic taxa of Lamiaceae in Turkey and their threat categories. Journal of Scientific Perspectives 2019; 3(1): 69-84.
- Kuşvuran Ş. Kavunlarda kuraklık ve tuzluluğa toleransın fizyolojik mekanizmaları arasındaki bağlantılar. Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Ana Bilim Dalı 2010.
- Kuşvuran Ş., Yaşar F., Abak K., Ellialtıoğlu Ş. Tuz stresi altında yetiştirilen tuza tolerant ve duyarlı *Cucumis* sp.'nin bazı genotiplerinde lipid peroksidasyonu, klorofil ve iyon miktarlarında meydana gelen değişimler. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi 2008; 18(1): 13-20
- Mahdavi B., Modares SS., Balouchi HR. Effect of sodium chloride on germination and seedling growth of grasspea cultivars (*Lathyrus sativus*). Iranian Journal of Biology 2008; 20(4): 363-374.
- Önal AÖ., Altun SM., Kaşko AY. Tuz stresinin börülcede bazı fizyolojik özellikler ve mineral madde oranlarına etkisi. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi 2021; 7(2): 297-305.

- Özeker E. Salisilik asit ve bitkiler üzerindeki etkileri. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2005; 42(1): 213-223.
- Rivas-San Vicente M., Plasencia J. Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development. Journal of Experimental Botany 2011; 62(10): 3321-3338.
- Sahar K., Amin B., Taher NM. The salicylic acid effect on the *Salvia officianlis* L. sugar, protein and proline contents under salinity (NaCl) stress. Journal of Stress Physiology & Biochemistry 2011; 7(4): 80-87.
- Sharma A., Sidhu GPS., Araniti F., Bali AS., Shahzad B., Tripathi DK., Brestic M., Skalicky M., Landi M. The role of salicylic acid in plants exposed to heavy metals. Molecules 2020; 25(3): 540.
- Torun H. Cobalt+salt-stressed *Salvia officinalis*: ROS scavenging capacity and antioxidant potency. International Journal of Secondary Metabolite 2019; 6(1): 49-61.
- Tounekti T., Hernández I., Munné-Bosch S. Salicylic acid biosynthesis and role in modulating terpenoid and flavonoid metabolism in plant responses to abiotic stress. Salicylic Acid 2013; 141-162.
- Tursun AO., Sipahioglu HM., Telci I. Genetic relationships and diversity within cultivated accessions of *Salvia officinalis* L. in Turkey. Plant Biotechnology Reports 2021; 15: 663-672.
- Wang S., Ge S., Tian C., Mai W. Nitrogen-salt interaction adjusts root development and ion accumulation of the Halophyte *Suaeda salsa*. Plants 2022; 11(7): 955.
- Yılmaz G., Güvenç A. Ankara’da aktarlarda “adaçayı” adı altında satılan drogların morfolojik ve anatomik olarak incelenmesi. Ankara Eczacılık Fakültesi Dergisi 2007; 36(2): 87-104.
- Zaimoğlu S., Doğru A. Farklı mısır genotiplerinde tuz stresinin bazı büyüme parametreleri ve fotosentetik aktivite üzerindeki etkileri. 23. Ulusal Biyoloji Kongresi, 5-9 Eylül 2016, Gaziantep.

Kültürel Peyzajlarda Etnobotanik Değeri Olan Bitkilerin Potansiyel Kullanım Alanları: Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Türkiye

Merve TANFER^{1*}, Şerife Doğanay YENER², Selim BAYRAKTAR³

¹Yalova Üniversitesi, Yalova Meslek Yüksekokulu, Park ve Bahçe Bitkileri Bölümü, 77200, Yalova

^{2,3}İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 34473, İstanbul

¹<https://orcid.org/0000-0003-0966-8368>

²<https://orcid.org/0000-0002-9229-3941>

³<https://orcid.org/0000-0002-8023-4135>

*Sorumlu yazar: merve.tanfer@yalova.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 17.02.2023

Kabul tarihi:20.10.2023

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Flora

Doğal bitkiler

Kent etnobotaniği

Papaver rhoeas

Teucrium polium

ÖZ

Bu araştırma çalışmasında, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yaygın olarak kullanılan etnobotanik bitkilerin estetik, fiziksel ve ekolojik özellikleri incelenerek peyzaj tasarımlarındaki kullanım olanakları değerlendirilmiştir. Çalışma, geçmişten günümüze birçok medeniyete ev sahipliği yapmış, karasal iklimin hakim olduğu Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yapılmıştır. 1975-2020 yılları arasında Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde etnobotanik konulu araştırma yapan araştırmacıların tespit ettiği veriler kullanılmıştır. Veriler TURBOVEG veri yönetim sistemi, JUICE ve Excel ortamında kayıt altına alınarak, analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, bölgede 113 farklı familyadan 1295 taksonun etnobotanik amaçlarla kullanıldığı tespit edilmiş olup, bu taksonlardan 26'sının halk tarafından yaygın olarak kullanıldığı belirlenmiştir. Yaygın kullanılan 26 bitkinin etnobotanik kullanımları analiz edilmiş ve bu bitkilerin tıbbi, gıda, hayvan yemi, boya ve yağ üretimi gibi 18 farklı alanda kullanıldığı saptanmıştır. Tespit edilen bitkilerin renk çeşitliliği, çiçeklenme dönemi, yaprak tekstürleri ve habitat özellikleri peyzaj tasarımlarında kullanım açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır. Çalışma, tespit edilen bitkilerin doğal bahçe düzenlemeleri, bitki kompozisyonları, meyve bahçeleri, kaya bahçeleri, çitler, yol kenarı bitkilendirmeleri gibi alanlarda geniş bir kullanım potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu kullanım alanları, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan etnobotanik kullanıma sahip bitkilerin çevresel sürdürülebilirlik ve doğal bahçe düzenlemesi açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Etnobotanik bitkilerin korunması ve daha geniş bir kullanım alanına sahip olmaları, biyolojik çeşitliliğin muhafaza edilmesi ve doğal-kültürel mirasın gelecek nesillere aktarılmasına önemli bir katkı sunacaktır.

The Potential Usage Areas of Ethnobotanically Valuable Plants in Cultural Landscapes: Southeastern Anatolia Region, Türkiye

Research Article

Article History:

Received: 17.02.2023

Accepted: 20.10.2023

Published online:11.03.2024

Keywords:

Flora,

Natural plants

Urban ethnobotany

ABSTRACT

In this research study, the aesthetic, physical, and ecological characteristics of ethnobotanical plants commonly used in the Southeast Anatolia Region have been examined, and their potential uses in landscape designs have been evaluated. The study area has hosted many civilizations from the past to the present, Southeastern Anatolia Region where continental climate type is dominant has been selected. The data used in this study were collected from research conducted by investigators

focusing on ethnobotanical studies in the Southeast Anatolia Region between 1975 and 2020. The data were recorded and analyzed using the TURBOVEG data management system, JUICE, and Excel platforms. As a result of the study, it was determined that a total of 1295 taxa from 113 different families were used for ethnobotanical purposes in the region, and 26 of these taxa were commonly utilized by the local population. The ethnobotanical uses of these 26 commonly used plants were analyzed, revealing their applications in 18 different areas, including medicinal, culinary, fodder, dye, and oil production. The diversity of colors, flowering periods, leaf textures, and habitat characteristics of these plants highlights their significant potential for use in landscape designs. The study has revealed that the identified plants have a wide range of potential applications in various areas, such as natural garden arrangements, plant compositions, fruit orchards, rock gardens, fences, and roadside plantations. It highlights the significant potential of ethnobotanical plants in the Southeast Anatolia Region concerning environmental sustainability and natural garden designs. The conservation and more widespread utilization of these ethnobotanical plants would make a valuable contribution to the preservation of natural and cultural heritage for future generations and the conservation of biological diversity.

To Cite: Tanfer M., Yener ŞD., Bayraktar S. Kültürel Peyzajlarda Etnobotanik Değeri Olan Bitkilerin Potansiyel Kullanım Alanları: Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Türkiye. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(2): 512-532.

Giriş

Türkiye'nin, bitki coğrafyası açısından önemli bir konumda yer alması, topoğrafyası ve iklim farklılıkları zengin bir bitki çeşitliliğine sahip olmasını sağlamıştır (Başköse ve ark., 2012). Kültürel yapının zenginliğiyle birleşen bu bitki çeşitliğinin sonucu etnobotanik açıdan da varlıklı bir coğrafya yaratmıştır. Son yıllarda yapılan flora araştırmalarında Türkiye florasının 11707 bitki taksonundan oluştuğu (Güner ve ark., 2012) ve 2884 taksonun da etnobotanik amaçlarla kullanıldığı tespit edilmiştir (Bellikçi Koyu, 2020).

Bitkilerin etnobotanik amaçlı kullanımları, insan ve doğanın karmaşık etkileşiminden doğan, tarihsel, coğrafi, kültürel, kültürler arası, ekonomik ve sosyal vb. yönleri olan bir olgu olarak ele alınmaktadır (Sökand ve Kalle, 2010). Yüzyıllar boyunca doğadaki olağanüstü bitki çeşitliliği, bitkilerin kullanımıyla yakından bağlantılı kültürleri ve gelenekleri teşvik etmiş, bunun sonucunda geniş ve çeşitli bir etnobotanik miras oluşmuştur (Leto ve ark., 2012). Bununla birlikte, dünya genelinde yaşanan şehirleşme ve endüstrileşme süreci, biyolojik çeşitlilik temelli “geleneksel ekolojik bilginin” (Berkes, 2012) kaybını hızlandırmakta (González-Tejero ve ark., 2008; Vitalini ve ark., 2009; Kim ve Song, 2011; Vandebroek ve Balick, 2012) ve küresel ölçekte bir sorun olarak karşımıza çıkarmaktadır (Vandebroek ve Balick, 2012).

Doğal bitkilerin peyzaj mimarlığı uygulamalarında kullanımı farklı çalışmalarda (Seyidoğlu, 2009; Koçhan, 2010; Kılıçaslan ve Dönmez, 2016; Çetin ve Mansuroğlu, 2018; Ulus ve Özdemir, 2018; Erzurumlu ve Savran, 2019; Çimen ve Ulus, 2020; Yener ve Akdeniz, 2020; Tırnakçı ve Aklıbaşında, 2023) ele alınsa da bu bitkilerin etnobotanik bağlam içinde yeni yeni ele alındığı (Yener ve Ak, 2021; Yener ve İnal, 2022) görülmektedir. Bu çalışma; Güneydoğu Anadolu Bölge'sinde yaygın olarak kullanılan etnobotanik değeri yüksek bitkilerin peyzaj özelliklerini tanımlamayı ve bu bitkilerin farklı

ölçeklerde yapılacak peyzaj düzenlemelerinde kullanım potansiyellerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yapılmış olan etnobotanik çalışmalar sistematik olarak analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Çalışmanın doğala yakın bahçe düzenlemelerine etnobotanik bir bağlam getirerek, ekolojik-kültürel mirasın korunması ve geliştirilmesine katkılar sunması beklenmektedir.

2. Materyal ve Metot

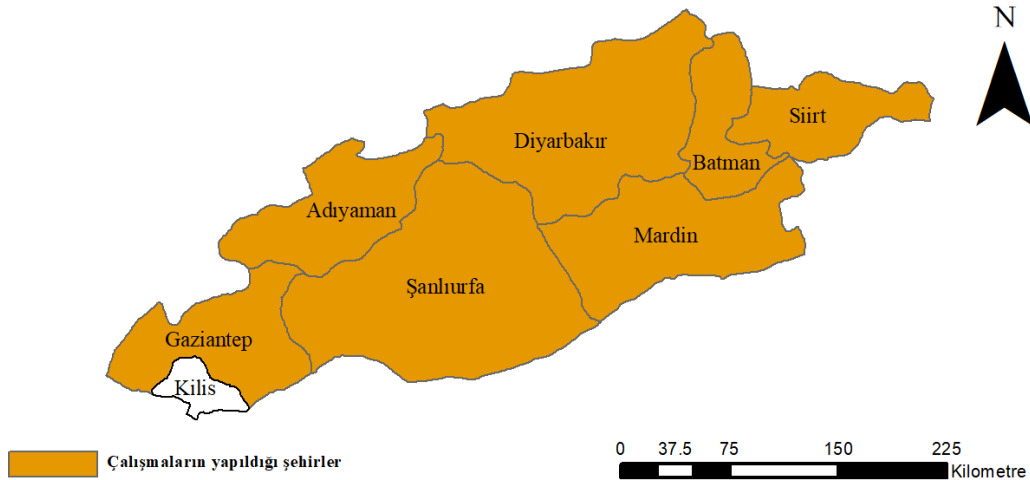
2.1. Materyal

2.1.1. Alan Tanıtımı

Güneydoğu Anadolu Bölgesi, Güneydoğu Toroslar zincirinin oluşturduğu Suriye ve Irak'ın güney sınırına kadar uzanan bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1). Bu alanın büyük bir kısmı, çok az dağlık alana sahip engebeli düzlüklerden oluşmaktadır (Demir, 2003). Bölgedeki toplam arazinin yaklaşık yarısı tarımsal üretime elverişlidir.

2.1.2. İklim ve Bitki Örtüsü

Bölgenin iklim, toprak ve bitki örtüsü Türkiye'nin diğer kurak ve yarı kurak bölgelerinden farklıdır. Akdeniz yağış rejimi altında gözlemlenen iklim koşullarının etkisiyle yazlar sıcak ve kurak olup, yaz sıcaklıkları 25–30 °C civarındadır. Yıllık ortalama yağış miktarı 400 mm ile 1200 mm arasında değişmektedir (Ozturk ve ark., 2016). Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin genel bitki örtüsü, kuru ormanlar ve meşe türleri ile karakterize edilen zengin ve çeşitli bir yapıya sahiptir. Güneydoğu Anadolu'da kuru ormanlar, yüksek platolar ve kenar dağlar üzerinde yaygın olarak bulunmaktadır. Bu ormanların hakim elemanları, kuraklık koşullarına dayanıklı olan *Quercus libani* G.Olivier ve *Q. brantii* Lindl. gibi meşe türleridir (Dönmez ve Aydınözlü, 2012). Ayrıca, Şanlıurfa çevresinde doğal step alanlarına da rastlanmaktadır (Kaya, 2010).



Şekil 1. Tespit edilen çalışmaların yapıldığı şehirler

2.1.3. Bölge Florası

Bölge ile ilgili floristik çalışmalar incelendiğinde, 121 familyaya ve 793 cinse ait toplam 3914 vasküler bitki taksonunun bölgede dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Bu taksonların 450'si endemiktir (Ozturk ve ark., 2016; Avcı, 2019; Karadağ, 2019; Koç, 2019; Çetiner, 2020; Ortaç ve Tel, 2021).

2.1.4. Etnobotanik Çalışmaların Belirlenme Metodu

Bu çalışmada Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yapılan etnobotanik çalışmaların belirlenmesi için Ulusal Tez Merkezi, TR Dizin ve ISI Web of Knowledge çevrimiçi veri tabanları kullanılmıştır.

2.1.5. Çalışmanın Kapsadığı Zaman Aralığı

Bu çalışma kapsamında, 1975-2020 yılları arasında yayımlanmış lisansüstü tezler ve makaleler arasından Türkçe veya İngilizce tam metni erişilebilen ve tür listesi içeren kaynaklar çalışmada değerlendirmeye tabi tutulmuştur.

2.1.6. Çalışmanın Kapsadığı Yayınlar

Değerlendirme sonucunda, bu niteliklere sahip toplam 31 çalışma belirlenmiştir. Bu çalışmaların 15'i yüksek lisans tezi, 2'si doktora tezi ve 14'ü araştırma makalesinden oluşmaktadır (Tablo 1). Yapılan çalışmalardan Ozturk ve ark., (2016)'nın birden fazla ili kapsayacak şekilde (Adıyaman, Diyarbakır, Gaziantep, Hakkari, Kahramanmaraş, Mardin, Siirt, Şanlıurfa ve Şırnak) çalıştığı tespit edilmiştir.

2.2. Yöntem

Bitki sosyolojisi araştırmalarında yaygın olarak kullanılan TURBOVEG (Hennekens ve Schaminée, 2001) veri tabanı yönetim sistemi, tespit edilen etnobotanik çalışmalardaki tür listelerinin topluca analiz edilmesi ve değerlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Her bir çalışmada tespit edilen türler TURBOVEG yazılımına aktarılmış ve "Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Etnobotanik Amaçlı Kullanılan Türler"e ait veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veri tabanı, türlerin sıklık ve illere göre dağılımını belirlemek amacıyla JUICE 7.0 programına (Tichý ve Holt, 2006) aktarılmış ve analiz edilmiştir. Juice 7.0 programı, "fitososyolojik tabloları düzenlemek, sınıflandırmak ve analiz etmek amacıyla" kullanılan Microsoft® Windows® tabanlı bir programdır. Bu program aracılığıyla 30000 farklı örnek alan için 4000 farklı tür kaydedilebilmekte ve sorgulanabilmektedir (Kavgacı ve ark., 2008). Bu kapsamda 31 farklı çalışma örnek olarak belirlenmiş ve toplam 1295 farklı tür kaydedilmiştir.

Tablo 1. Araştırma kapsamında yararlanılan yayınların yıllara göre sıralanmış listesi

İl	Çalışma türü	Referans
Şanlıurfa	Makale	Akan ve ark. (2005)
Şanlıurfa	Makale	Akan ve ark. (2008)
Mardin	Yüksek lisans	Akgül (2008)
Gaziantep	Makale	Şığva ve Seçmen (2009)
Adıyaman	Yüksek lisans	Gültaş (2009)
Siirt	Makale	Yapıcı ve ark. (2009)
Adıyaman	Yüksek lisans	Gelse (2012)
Şanlıurfa	Yüksek lisans	Ayaz (2013)
Şanlıurfa	Makale	Akan ve ark. (2013)
Mardin	Makale	Akan (2013)
Adıyama	Yüksek lisans	Sade (2014)
Gaziantep	Yüksek lisans	Yiğit (2014)
Şanlıurfa	Yüksek lisans	Dağlı (2015)
Bölgesel	Makale	Ozturk ve ark. (2016)
Adıyaman	Yüksek lisans	Furkan (2016)
Gaziantep	Makale	Bulut ve ark. (2017)
Mardin	Makale	Akgul ve ark. (2018)
Şanlıurfa	Doktora	Abak (2018)
Şanlıurfa	Yüksek lisans	Oymak (2018)
Şanlıurfa	Yüksek lisans	Fidan (2018)
Batman	Makale	Bulut ve ark. (2019)
Batman	Makale	Yeşil ve İnal (2019)
Diyarbakır	Yüksek lisans	Özdemir (2019)
Diyarbakır	Yüksek lisans	Çiçek (2019)
Gaziantep	Makale	Özer ve Türkmen (2019)
Mardin	Doktora	Kılıç (2019)
Mardin	Makale	Yeşil ve ark. (2019)
Şanlıurfa	Yüksek lisans	Aslan (2019)
Mardin	Yüksek lisans	Ayaz (2020)
Mardin	Yüksek lisans	Eksik (2020)
Şanlıurfa	Makale	Kaya ve ark. (2020)

Çalışma kapsamında, bitkilerin tür ve familya bilgileri için “Flora of Turkey and East Eagean Islands” (Davis, 1965-1985; Davis ve ark., 1988; Güner ve ark., 2000) referans alınmıştır. Güncel bitki isimleri ve familya adlarının yazılışı için ise “The Euro+Med Plantbase Project” ve “The Plant List” veri tabanlarından yararlanılmıştır. Bu kaynaklar, çalışma kapsamında tür listesi oluşturmak ve bitkilerin güncel bilimsel adlarını doğrulamak amacıyla değerlendirilmiştir.

Analizler sonucunda bölge kapsamında en yaygın olarak saptanan ilk 26 takson, etnobotanik özellikleri ve peyzaj tasarımlarında kullanım olanakları olmak üzere iki aşamada incelenmiştir. İlk aşamada 26 taksonun etnobotanik kullanım alanlarının tespit edildiği çalışmalar taranmış ve elde edilen bilgiler Excel ortamında oluşturulan çizelgeye sistematik bir şekilde aktarılmıştır. Daha sonra tür × kullanım alanı matrisi oluşturularak her bitkinin kullanım çeşitliliği Simpson çeşitlilik indeksine (Simpson, 1949) göre Past 3.0 programında (Hammer ve ark., 2001) hesaplanmıştır.

İkinci aşamada, “Flora of Turkey and East Eagean Islands” (Davis, 1965-1985; Davis ve ark.,1988; Güner ve ark., 2000), “Flowers of Europe” (Polunin, 1969), TUBİVES veri tabanı ve “Türkiye’nin Bitkileri” (URL-1) kaynaklarından yararlanarak bu bitkilerin yapısı, ömrü, çiçek rengi, yaprak tekstürü, habitatları gibi fiziksel ve ekolojik özelliklerini kapsamlı bir şekilde ele alan bir çizelge

hazırlanmıştır. Elde edilen veriler ışığında ve de bu bitkilerin tespit edilen etnobotanik ve yapısal özellikleri göz önünde tutularak peyzaj düzenlemelerinde kullanım alanları için öneriler sunulmuştur.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Etnobotanik Bitkileri

Yapılan literatür araştırması sonucunda bitkilerin etnobotanik amaçlı kullanımına ilişkin 3709 kayıt tespit edilmiştir. Bu kayıtlara göre, bölgede etnobotanik amaçlarla kullanılan 113 farklı familyaya ait (Tablo 2) 1295 bitki taksonu bulunmaktadır.

Tablo 2. En yaygın familyalar ve takson sayıları

Familya adı	Takson sayısı	Toplam %	Familya adı	Takson sayısı	Toplam %
Compositae	174	13,44	Solanaceae	17	1,31
Leguminosae	161	12,43	Scrophulariaceae	16	1,24
Lamiaceae	144	11,12	Caprifoliaceae	16	1,24
Apiaceae	68	5,25	Polygonaceae	15	1,16
Rosaceae	64	4,94	Asparagaceae	15	1,16
Brassicaceae	45	3,47	Iridaceae	14	1,08
Poaceae	41	3,17	Araceae	12	0,93
Boraginaceae	37	2,86	Fagaceae	12	0,93
Malvaceae	28	2,16	Cucurbitaceae	12	0,93
Caryophyllaceae	24	1,85	Plantaginaceae	12	0,93
Amaryllidaceae	24	1,85	Geraniaceae	12	0,93
Ranunculaceae	21	1,62	Convolvulaceae	10	0,77
Papaveraceae	21	1,62	Salicaceae	10	0,77
Euphorbiaceae	19	1,47	Hypericaceae	10	0,77
Amaranthaceae	18	1,39	Diğer	223	17,22
			Toplam	1295	100

Takson sayıları dikkate alındığında Türkiye florasının %23,1'inin; Güneydoğu Anadolu Bölgesi florasının da %33,1'inin etnobotanik amaçlı kullanılan türlerden oluştuğu görülmektedir. Bu yüksek orana karşın bölge illerindeki etnobotanik araştırmaların Şanlıurfa ve Mardin illeri dışında görece olarak daha az sayıda olduğu görülmektedir. (Tablo 3).

Tablo 3. İllerdeki takson sayıları

İl	Takson sayısı
Adıyaman	352
Batman	117
Diyarbakır	236
Gaziantep	213
Mardin	468
Şanlıurfa	514
Siirt	34

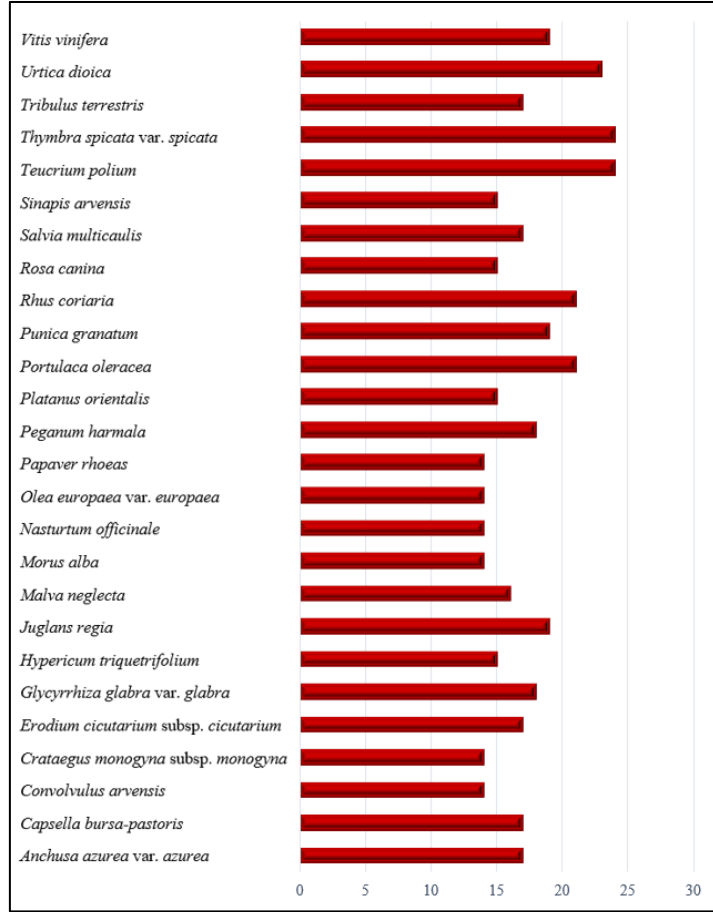
3.2. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde En Yaygın Kullanılan Etnobotanik Bitkiler

Bölgede tespit edilen taksonların çalışmalarındaki sıklıklarına baktığımızda (Tablo 4), *Teucrium polium* L. ve *Thymbra spicata* var. *spicata* L.taksonlarının 24 çalışmada da tespit edildiği, buna karşın 588 taksonun ise çalışmalarda tek kayıt ile temsil edildiği görülmektedir. Bu duruma göre, bölgedeki etnobotanik amaçlı kullanılan taksonların %66,3'ünün (n=859) nadir bitkilerden oluştuğu, yani bu taksonların sadece 1 veya 2 çalışmada kaydedildiği görülmektedir. Bu kayıtların yaklaşık yarısı ise en fazla çalışmanın yapıldığı Şanlıurfa ve Mardin illerinde görülmektedir. Bu bulgular, bölgedeki biyolojik çeşitliliğin zenginliğini ve nadir bitkilerin önemini göstermektedir. Ayrıca, nadir olarak tespit edilen bitki türlerinin etnobotanik kullanımlarının zaman içinde azalarak kaybolma riskiyle karşı karşıya olduğunu ve bu kullanımların korunması gerektiğini düşündürmektedir.

Tablo 4. Taksonların çalışmalardaki sıklığı

Sıklık	Takson sayısı	Toplam Kayıt sayısı	Sıklık	Takson sayısı	Toplam Kayıt sayısı
24	2	48	11	10	110
23	1	23	10	13	130
21	2	42	9	16	144
19	3	57	8	19	152
18	2	36	7	33	231
17	5	85	6	46	276
16	1	16	5	46	230
15	4	60	4	78	312
14	6	84	3	139	417
13	6	78	2	271	542
12	4	48	1 (Tek atıf)	588	588
			Toplam Kayıt		3709

Yapılan değerlendirmede toplam çalışma sayısının en az yarısında kaydı bulunan taksonlar (26 takson) yaygın kullanılan bitkiler olarak belirlenmiştir. Bu türlerin kullanım sıklıkları Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. En yaygın bulunan 26 bitki taksonu

En yaygın bulunan 26 bitki taksonununun ait oldukları familyalar incelendiğinde 21 familya ön plana çıkmaktadır (Tablo 5). En fazla türe sahip familyalar sırası ile Lamiaceae (3) ve Brassicaceae (3) familyalarıdır.

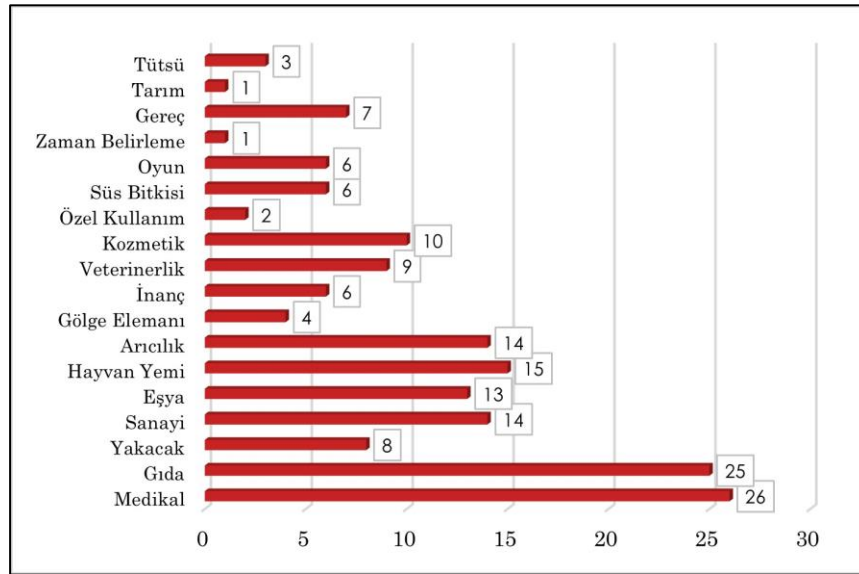
Yaygın kullanılan bu bitkilerin 19'u çok yıllık, 7'si tek yıllıktır. Bitki yapısı açısından ele aldığımızda ise 14'ü otsu, 1'i odunsu ot, 6'sı çalı, 1'i ağaççık ve 4'ü de ağaç yapısındadır.

3.3. Yaygın Kullanılan Taksonların Etnobotanik Kullanımları

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yaygın olarak kullanılan 26 bitkinin etnobotanik kullanımları analiz edildiğinde bu bitkilerin 18 farklı kullanım alanının olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3). Genel başlıklar halinde yapılan incelemede, taksonların tamamı tıbbi amaçlarla, 25 takson gıda amaçlı, 15 takson hayvan yemi olarak, 14 bitki taksonu da boya, yağ, sabun üretimi, deri, işleme amacıyla sanayide kullanılmaktadır. Bitkilerin kullanım alanları ve referansları Tablo 6'da detaylı olarak ele alınmıştır.

Tablo 5. Yaygın olarak tespit edilen bitkilerin ait oldukları familyaların dağılımı

Familya Adı	Tür sayısı
Lamiaceae	3
Brassicaceae	3
Rosaceae	2
Zygophyllaceae	1
Papaveraceae	1
Vitaceae	1
Moraceae	1
Juglandaceae	1
Oleaceae	1
Platanaceae	1
Boraginaceae	1
Lythraceae	1
Convolvulaceae	1
Nitrariaceae	1
Hypericaceae	1
Malvaceae	1
Anacardiaceae	1
Urticaceae	1
Geraniaceae	1
Leguminosae	1
Portulacaceae	1



Şekil 3. Etnobotanik bitkilerin kullanım alanları

Bir bitki için birden fazla alanda kullanım kaydının olabildiği düşünüldüğünde, bu kayıtların farklı kullanım alanlarındaki sıklığı ve dağılımı bitkilerin etnobotanik değerleri açısından bilgiler vermektedir. Tespit edilen 26 takson için 18 farklı kullanım alanında toplam 916 kullanım kaydı tespit edilmiştir. Bu kayıtların 310 adedini tıbbi amaçlı kullanımlar, 302 adedini ise gıda amaçlı kullanımlar

oluşturmaktadır. Geri kalan her biri farklı 16 kullanım alanı ise 304 kayıt ile temsil edilmektedir. 26 taksonun tamamı çeşitli şekillerde tıbbi amaçlı kullanılırken, *Platanus orientalis* L. dışındaki tüm taksonların da gıda amaçlı kullanıldığı görülmüştür. Bitkilerin kullanım kategorileri ve kayıtları göz önüne alındığında en yüksek etnobotanik kullanım çeşitliliğinin sırasıyla *Vitis vinifera* L., *Hypericum triquetrifolium* Turra *Morus alba* L., *Rosa canina* L., *Juglans regia* L., *Olea europaea* var. *europaea* L., *Papaver rhoeas* L. bitkilerinde olduğu görülmektedir. Bitkilerin farklı kullanım alanları, referansları ve çeşitlilik indisleri Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde yaygın kullanılan bitki türlerinin etnobotanik kullanım alanları

Familya adı	Bitki adı	Yapı	Kullanım alanı sayısı	Kullanım çeşitliliği	Etnobotanik kullanım şekli
Boraginaceae	<i>Anchusa azurea</i> var. <i>azurea</i> Mill.	Otsu	7	0,7328	Tıbbi (2, 8, 11, 12, 13, 23, 26, 30, 31); Gıda (1, 2, 5, 8, 11, 12, 16, 17, 19, 20, 22, 23, 24, 29); Sanayi (2); Eşya (8, 11, 13, 30); Hayvan Yemi (2, 8, 16); Arıcılık (1, 8); Veterinerlik (23)
Brassicaceae	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	Otsu	5	0,6722	Tıbbi (2, 4, 8, 9, 11, 12, 23); Gıda (1, 2, 4, 5, 8, 11, 12, 13, 16, 17, 19, 20, 21, 24, 30); Hayvan Yemi (1, 2, 8, 12, 16, 21); Oyun (12, 21); Gereç (23)
Convolvulaceae	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Çalı	7	0,7188	Tıbbi (1, 12, 21); Gıda (11, 12, 14, 23, 24); Eşya (12); Hayvan Yemi (1, 11, 12, 13, 16, 17, 18, 21, 23, 29, 30); Arıcılık (1); Süs Bitkisi (1, 12); Gereç (19)
Rosaceae	<i>Crataegus monogyna</i> subsp. <i>monogyna</i> Jacq.	Ağaççık	5	0,6701	Tıbbi (1, 3, 4, 8, 9, 11, 17, 22, 23); Gıda (1, 3, 5, 8, 11, 12, 16, 18, 19, 23); Yakacak (8, 18); Eşya (8); Arıcılık (1, 8)
Geraniaceae	<i>Erodium cicutarium</i> subsp. <i>cicutarium</i> (L.) L Hér.	Otsu	5	0,6011	Tıbbi (1, 8); Gıda (5, 8, 11, 12, 13, 16, 17, 20, 22, 23, 24, 26, 30); Hayvan Yemi (18); Oyun (8, 11, 16, 18, 21, 29); Zaman Belirleme (8)
Leguminosae	<i>Glycyrrhiza glabra</i> var. <i>glabra</i> L.	Otsu	5	0,5859	Tıbbi (1, 2, 3, 4, 7, 9, 11, 12, 14, 16, 17, 19, 20, 23, 29); Gıda (1, 2, 4, 5, 9, 12, 14, 16, 17, 19, 20, 23, 24, 27); Sanayi (12); Gölge Elemanı (12); Veterinerlik (3)
Hypericaceae	<i>Hypericum triquetrifolium</i> Turra	Otsu	10	0,6684	Tıbbi (2, 11, 12, 13, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 27, 30); Gıda (2, 18, 19, 23, 24); Sanayi (16); Eşya (12); Hayvan Yemi (12); Arıcılık (12); Gölge Elemanı (12, 16); Veterinerlik (29); Gereç (2); Tütsü (23)
Juglandaceae	<i>Juglans regia</i> L.	Ağaç	8	0,7972	Tıbbi (1, 2, 3, 4, 7, 8, 10, 11, 12, 17, 19, 20, 22, 23); Gıda (1, 2, 3, 5, 8, 10, 11, 12, 14, 21, 22, 23, 26); Yakacak (8, 23); Sanayi (1, 2, 8, 11, 17, 23); Eşya (1, 2, 8, 11); Arıcılık (1); Kozmetik (2, 3, 4, 8, 12, 21, 22, 23); Gereç (23)
Malvaceae	<i>Malva neglecta</i> Wallr.	Otsu	6	0,6593	Tıbbi (1, 2, 3, 8, 11, 12, 13, 14, 23, 30); Gıda (1, 2, 3, 5, 8, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 21, 23, 24, 26, 30, 31); Eşya (1, 8); Hayvan Yemi (2); İnanç (12); Oyun (11, 13, 30)
Moraceae	<i>Morus alba</i> L.	Ağaç	9	0,8318	Tıbbi (1, 2, 7, 8, 11, 12, 21, 22, 23); Gıda (1, 2, 7, 8, 11, 12, 17, 19, 21, 22, 23, 24, 26); Yakacak (8, 11, 12, 21, 23); Eşya (8, 11, 12, 17, 23, 28); Hayvan Yemi (12); Arıcılık (1, 8); Kozmetik (12, 17); Oyun (2, 11, 12); Gereç (12, 17, 21, 23)
Brassicaceae	<i>Nasturtium officinale</i> R.Br.	Otsu	3	0,5744	Tıbbi (2, 4, 6, 7, 8, 11, 12, 22, 23); Gıda (1, 2, 5, 8, 11, 12, 17, 22, 23, 24, 26); Kozmetik (4, 23)
Oleaceae	<i>Olea europaea</i> var. <i>europaea</i> L.	Ağaç	8	0,7955	Tıbbi (1, 2, 4, 7, 9, 10, 11, 14, 17, 21, 22, 23, 27); Gıda (1, 2, 10, 14, 21, 22, 23, 26, 27); Yakacak (11, 23, 27); Sanayi (2, 21, 23); Eşya (1, 2, 21, 22, 23); Arıcılık (1); Veterinerlik (2); Kozmetik (4, 9, 21, 22)
Papaveraceae	<i>Papaver rhoeas</i> L.	Otsu	8	0,8447	Tıbbi (1, 2, 8, 9, 11, 12, 20, 22, 23); Gıda (1, 2, 8, 11, 12, 13, 22, 23, 24, 26, 30); Sanayi (2, 8, 12, 20, 21, 23); Hayvan Yemi (1, 11, 12, 13, 23, 30); Arıcılık (1, 8); Kozmetik (12, 19); Süs Bitkisi (1, 2, 8, 11, 12); Oyun (1, 2, 8, 11, 12, 22)
Nitrariaceae	<i>Peganum harmala</i> L.	Otsu	7	0,7175	Tıbbi (1, 4, 7, 9, 11, 12, 19, 23); Gıda (23); Sanayi (4, 23); Eşya (11, 12, 13, 16, 17, 18, 20, 22, 30); Hayvan Yemi (12); İnanç (1, 4, 9, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 26, 27, 30); Tütsü (23)
Platanaceae	<i>Platanus orientalis</i> L.	Ağaç	7	0,7869	Tıbbi (1, 2, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 17, 19, 20, 21, 23); Yakacak (2, 8, 11, 12, 23); Eşya (1, 2, 8, 11, 12, 28); Hayvan Yemi (2, 8, 12); Gölge Elemanı (21); Süs

					Bitkisi (12, 21); Oyun (8); Gereç (8, 12, 17, 23)
Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i> L.	Otsu	3	0,5322	Tıbbi (1, 2, 3, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 21, 23); Gıda (1, 2, 3, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 27, 30); Hayvan Yemi (2, 8)
Lythraceae	<i>Punica granatum</i> L.	Çalı	7	0,7288	Tıbbi (1, 2, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 18, 21, 22, 23, 26); Gıda (1, 2, 4, 5, 8, 10, 11, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 26); Sanayi (2, 8, 23); Eşya (1, 11, 23, 25, 28); İnanç (17, 19); Veterinerlik (23); Kozmetik (9)
Anacardiaceae	<i>Rhus coriaria</i> L.	Çalı	6	0,655	Tıbbi (1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 17, 22, 23); Gıda (1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 22, 23, 24, 26, 27, 30); Yakacak (11, 27); Sanayi (2, 3, 8, 11, 13); Arıcılık (1); Veterinerlik (8)
Rosaceae	<i>Rosa canina</i> L.	Çalı	9	0,7608	Tıbbi (1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 12, 14, 23, 31); Gıda (1, 2, 3, 5, 8, 11, 12, 14, 22, 23, 24, 26); Yakacak (12); Sanayi (11); Eşya (8, 12); Hayvan Yemi (8, 12); Arıcılık (1); Kozmetik (22); Süs Bitkisi (2, 8, 11, 22)
Lamiaceae	<i>Salvia multicaulis</i> Vahl	Otsu	7	0,7291	Tıbbi (1, 2, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 15, 19, 20, 23, 29, 30, 31); Gıda (2, 5, 8, 11, 12, 15, 20, 24); Hayvan Yemi (2, 8, 13, 23, 30); Kozmetik (12, 17); Özel Kullanım (2, 8); Süs Bitkisi (8); Tütsü (12)
Brassicaceae	<i>Sinapis arvensis</i> L.	Otsu	5	0,5728	Tıbbi (2, 8, 11, 12, 21, 23, 31); Gıda (1, 2, 3, 5, 8, 11, 12, 16, 17, 18, 21, 23, 24, 26, 29); Sanayi (2); Hayvan Yemi (12); Arıcılık (1, 8)
Lamiaceae	<i>Teucrium polium</i> L.	Odunsu ot	5	0,459	Tıbbi (1, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 26, 27, 29, 30, 31); Gıda (4, 18, 21, 24); Arıcılık (1, 8); İnanç (8); Veterinerlik (15, 16)
Lamiaceae	<i>Thymbra spicata</i> var. <i>spicata</i> L.	Çalı	5	0,5646	Tıbbi (1, 3, 4, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 27, 30); Gıda (1, 3, 5, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 27); Arıcılık (12); İnanç (23); Gereç (23)
Zygophyllaceae	<i>Tribulus terrestris</i> L.	Otsu	3	0,265	Tıbbi (1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 17, 18, 21, 22, 27, 30); Gıda (3, 4); Sanayi (3)
Urticaceae	<i>Urtica dioica</i> L.	Otsu	6	0,6198	Tıbbi (1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 26, 27, 30); Gıda (1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 11, 12, 14, 16, 17, 18, 23, 24, 26, 27, 30); Sanayi (2, 3, 13); Hayvan Yemi (2); Veterinerlik (2); Kozmetik (4)
Vitaceae	<i>Vitis vinifera</i> L.	Çalı	13	0,8329	Tıbbi (1, 2, 7, 8, 9, 12, 19, 20, 21, 22, 23); Gıda (1, 2, 5, 8, 11, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 26, 30); Yakacak (2, 8, 11, 13, 16, 17, 18, 21, 30); Sanayi (2); Eşya (2, 8, 12, 23); Arıcılık (1, 8); (Gölge Elemanı (21, 1, 8, 17) ; İnanç (23); Veterinerlik (2); Kozmetik (8, 12); Özel Kullanım (8, 30); Süs Bitkisi (8, 9); Tarım (9)

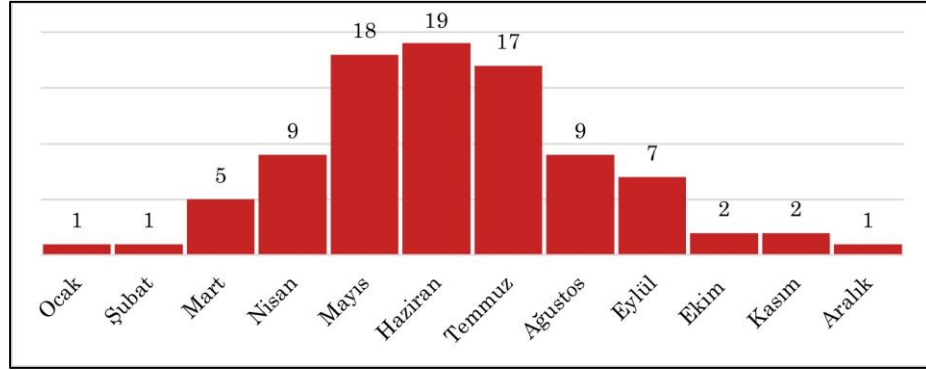
*Kaynaklar : 1 (Furkan, 2016); 2 (Gelse, 2012); 3 (Gültaş, 2009); 4 (Sade, 2014); 5 (Yeşil ve İnal, 2019); 6 (Bulut ve ark., 2019); 7 (Özdemir, 2019); 8 (Çiçek, 2019); 9 (Yiğit, 2014); 10 (Bulut ve ark., 2017); 11 (Oztürk ve ark., 2016); 12 (Kılıç, 2019); 13 (Akgül, 2008); 14 (Yeşil ve ark., 2019); 15 (Abak, 2018); 16 (Akan ve ark., 2008); 17 (Oymak, 2018); 18 (Ayaz, 2013); 19 (Kaya ve ark., 2020); 20 (Dağlı, 2015); 21 (Fidan, 2018); 22 (Aslan, 2019); 23 (Eksik, 2020); 24 (Ayaz, 2020); 25 (Akan, 2013); 26 (Özer ve Türkmen, 2019); 27 (Şığıva ve Seçmen, 2009); 28 (Akan ve ark., 2013); 29 (Akan ve ark., 2013); 30 (Akgül ve ark., 2018); 31 (Yapıcı ve ark., 2009).

3.4. Etnobotanik Bitkilerin Peyzaj Düzenlemelerinde Kullanım Olanakları

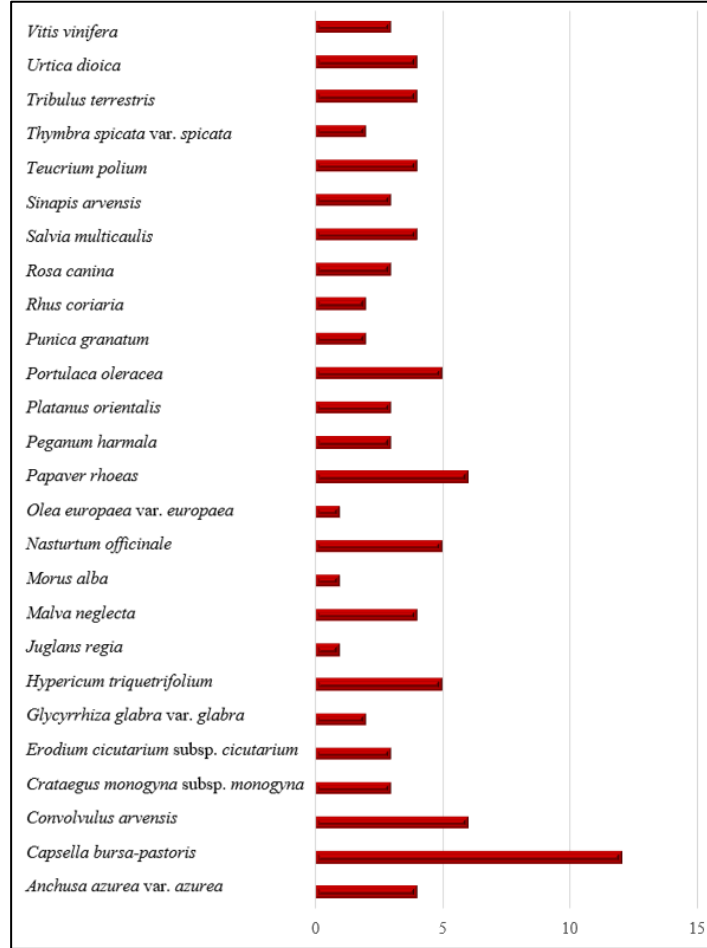
İncelenen doğal bitki türleri arasında oldukça farklı renk çeşitliliği söz konusudur. Ele alınan türler arasında en fazla beyaz ve sarı renk çiçeklere sahip bitkiler olduğu tespit edilmiştir. Bitki taksonlarının renk çeşitliliği peyzaj tasarımlarında kullanım olanakları açısından önemli bir özelliktir.

İncelenen bitkilerin çiçeklenme dönemi ağırlıklı olarak Mart-Eylül ayları arasında gerçekleşmektedir. Bitkilerin büyük birçoğunun çiçek açtığı dönem mevsim sıcaklarına göre Mayıs – Temmuz ayları arasındadır (Şekil 4). En uzun çiçekli kalma süresi tüm yıl boyunca çiçek açma özelliği nedeniyle *Capsella bursa-pastoris* bitkisinde görülmektedir. Bu bitkiden sonra en uzun süre çiçekli kalan 6 ay süre ile *Convolvulus arvensis*, *Papaver rhoeas*, 5 ay süre ile *Hypericum triquetrifolium*, *Nasturtium officinale* ve *Portulaca oleracea* bitkilerine aittir (Şekil 5). Bitkiler yaprak tekstürlerine göre ele

alındığında 14 taksonun orta tekstürlü, 6 taksonun kaba tekstürlü, 6 taksonun ince tekstürlü olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. Çiçeklenme dönemi



Şekil 5. Çiçekli kaldığı süre

Tespit edilen bitkilerin habitat özellikleri ile estetik ve fiziksel özelliklerinin yanı sıra etnobotanik kullanım olanakları da dikkate alınarak, peyzaj tasarımlarında özellikle doğala yakın bahçe düzenlemelerinde geniş bir kullanım alanına sahip oldukları gözlenmektedir. Kurak alanlardan sulak alanlara kadar birçok farklı habitatta yetişebilme yeteneğine sahip bu bitkilerin 14 farklı kullanım alanında değerlendirilebileceği belirlenmiştir (Tablo 7). Bu kullanım alanları; arı bahçesi, bitki

kompozisyonu (çiçek parteri), meyve bahçesi, kaya bahçesi, çit, yol kenarı bitkilendirmesi, gölgeleme, vurgu elemanı, perdeleme, erozyon kontrolü, kelebek bahçesi, sebze bahçesi, sınır elemanı ve su kenarlarında yapılan düzenlemeleri kapsamaktadır. Bitkilerin yapılarına göre soliter-kitlesele ya da kitlesele kullanım imkânına sahip oldukları gözlemlenmiştir. Özellikle otsu türlerin tematik bahçelerde, bitki parterlerinde ve bitkisel kompozisyonlarda kitlesele olarak kullanılması uygun bulunmuştur.

Tablo 7. Güneydoğu Anadolu Bölgesi en yaygın bitki türlerinin peyzaj tasarımlarında kullanım olanakları

Familiya	Bitki Adı	Yapı	Ömür	Çiçeklenme zamanı	Çiçek rengi	Yaprak tekstürü	Habitat	Bitkilendirme tasarımında kullanım şekli	Peyzajda kullanım alanları/ fonksiyonları
Boraginaceae	<i>Anchusa azurea</i> var. <i>azurea</i>	Otsu	Çok yıllık	4-7	Menekşe, koyu mavi, bazen soluk veya beyaz	Orta	Tarlalar, kuru bozkır, gibi	Kitlesele	Kaya bahçesi, arı bahçesi
Brassicaceae	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Otsu	Tek yıllık	1-12	Beyaz	Orta	Ekili alan, boş alan	-	-
Convolvulaceae	<i>Convolvulus arvensis</i>	Çalı	Çok yıllık	4-9	Beyaz, pembe, nadiren mavi	Orta	Kumlu bozkır, nadas tarlaları, hendeklerin kenarlarının üzerinde, nehirler ve göller	Soliter - Kitlesele	Su kenarı, bitki kompozisyonu
Rosaceae	<i>Crataegus monogyna</i> subsp. <i>monogyna</i>	Ağaç çık	Çok yıllık	4-6	Beyaz, Pembemsi	İnce	Tepe kenarları, maki, meşe çalıları, karışık ormanlar, yol kenarları	Soliter - Kitlesele	Sınır elemanı, bitki kompozisyonu, meyve bahçesi
Geraniaceae	<i>Erodium cicutarium</i> subsp. <i>cicutarium</i>	Otsu	Tek yıllık	3-5	Leylak, pembe	İnce	-	Kitlesele	Yol kenarı bitkilendirmesi, kelebek bahçesi
Leguminosae	<i>Glycyrrhiza glabra</i> var. <i>glabra</i>	Otsu	Çok yıllık	6-7	Mavi - menekşe	Orta	Ekilmiş tarlalar, alüveyaonlu nehir vadileri, kumullar	Kitlesele	Bitki kompozisyonu
Hypericaceae	<i>Hypericum triquetrifolium</i>	Otsu	Çok yıllık	5-9	Sarı	İnce	Açık kuru taşlı ve kumlu yerler, kültür tarlaları	Kitlesele	Bitki kompozisyonu, kaya bahçesi
Juglandaceae	<i>Juglans regia</i>	Ağaç	Çok yıllık	5-5	Açık yeşil	Kaba	Quercus veya karışık yaprak dökken orman, kalkerli kayalık yamaçlar, alüveyaonlu topraklar,	Soliter - Kitlesele	Bitki kompozisyonu, meyve bahçesi
Malvaceae	<i>Malva neglecta</i>	Otsu	Tek yıllık	5-8	Beyaz, Pembe	Orta	Step, tarlalar, yol kenarları, çorak yerler	Kitlesele	Sebze bahçesi, kaya bahçesi
Moraceae	<i>Morus alba</i>	Ağaç	Çok yıllık	5-5	Beyaz	Kaba	Kültür	Soliter - Kitlesele	Gölge amaçlı, perdeleme, meyve bahçesi
Brassicaceae	<i>Nasturtium officinale</i>	Otsu	Çok yıllık	3-7	Beyaz	Orta	Dere, gölet, ditches	Kitlesele	Su kenarı, arı bahçesi
Oleaceae	<i>Olea europaea</i> var. <i>europaea</i>	Ağaç	Çok yıllık	5-5	Beyaz	Kaba	Kültür	Soliter - Kitlesele	Bitki kompozisyonu, meyve bahçesi, kaya bahçesi
Papaveraceae	<i>Papaver rhoeas</i>	Otsu	Bilinmiyor	3-8	Kırmızı	Orta	Tarla, boş yer	Kitlesele	Bitki kompozisyonu, kelebek bahçesi, arı bahçesi, kaya bahçesi
Nitrariaceae	<i>Peganum harmala</i>	Otsu	Çok yıllık	5-7	Beyaz	Orta	Çorak yerler, step (bazen tuzlu)	Kitlesele	Kaya bahçesi
Platanaceae	<i>Platanus orientalis</i>	Ağaç	Çok yıllık	3-5	Yeşil - kırmızı	Orta	Ormanlar, vadi dipleri, alüveyaonlu topraklar, nehir	Soliter - Kitlesele	Yol kenarı ağaçlandırmasında, gölge ağacı

							kenarları, kültür		
Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i>	Otsu	Tek yıllık	7-11	Sarı	Orta	Ekilmiş sahalar ve denize yakın çorak yerler	Kitlesel	Sebzeye bahçesi
Lythraceae	<i>Punica granatum</i>	Çalı	Çok yıllık	5-6	Parlak kırmızı	İnce	Kalkerli yamaçlar, çalılık	Soliter - Kitlesel	Bitki kompozisyonu, meyve bahçesi
Anacardiaceae	<i>Rhus coriaria</i>	Çalı	Çok yıllık	6-7	Sarımsı yeşil	Kaba	Çalılıklar, kıyılar, ormanlar	Soliter - Kitlesel	Meyve bahçesi, kaya bahçesi
Rosaceae	<i>Rosa canina</i>	Çalı	Çok yıllık	5-7	Beyaz, Uçuk pembe, Pembe, Koyu Pembe	İnce	Kıyılar, kayalık yamaçlar, çalılık, çitler, ormanlar ve açıklıkları, başlıca kireçtaşları	Soliter - Kitlesel	Çit, kaya bahçesi, yol kenarı bitkilendirmeleri, erozyon kontrolü, bitki kompozisyonu
Lamiaceae	<i>Salvia multicaulis</i>	Otsu	Çok yıllık	4-7	Morumsu, mor, nadiren beyaz	Kaba	Kayalık kireçtaşı ve volkanik yamaçlar, şist ve kumlu yamaçlar, hareketli kayalıklar	Kitlesel	Kaya bahçesi, kelebek bahçesi, arı bahçesi
Brassicaceae	<i>Sinapis arvensis</i>	Otsu	Tek yıllık	4-6	Sarı	Orta	Yol kenarı, boş alan	Kitlesel	Arı bahçesi
Lamiaceae	<i>Teucrium polium</i>	Odun su ot	Çok yıllık	6-9	Beyaz	Kaba	Kuru yerler, meşe çalılırları, kayalık yerler, kumullar, tarla kenarları	Soliter - Kitlesel	Kaya bahçesi, arı bahçesi
Lamiaceae	<i>Thymbra spicata</i> var. <i>spicata</i>	Çalı	Çok yıllık	6-7	Mor, leylak rengi, pembe	Orta	Kuru sık sık kayalık yerler (genellikle kalkerli), çalı içinde, frigana ve bozkır	Kitlesel	Kaya bahçesi
Zygophyllaceae	<i>Tribulus terrestris</i>	Otsu	Tek yıllık	6-9	Sarı	İnce	Açık ve kumlu yerler, nadas tarlaları	Kitlesel	Bitki kompozisyonu
Urticaceae	<i>Urtica dioica</i>	Otsu	Çok yıllık	6-9	Morumsu	Orta	Ormanlar, gölgeli vadiler ve kayalar, su kenarları	Kitlesel	Kelebek bahçesi
Vitaceae	<i>Vitis vinifera</i>	Çalı	Çok yıllık	5-7	Açık yeşil	Orta	Kültür bitkisi üzüm bağları	Soliter - Kitlesel	Gölge, perdeleme, vurgu elemanı, meyve bahçesi

Tablo 7 incelendiğinde, tablodaki bitkilerden sadece *Olea europaea* var. *europaea*, *Juglans regia*, *Platanus orientalis* gibi bazı odunsu bitkilerin günümüzdeki peyzaj düzenlemelerinde yer yer kullanıldığı görülmektedir. Buna karşın, halk tarafından yaygın bir şekilde kullanılan bitkilerin tasarım öğeleri ve ekolojik istekleri incelendiğinde, peyzaj düzenlemelerinde çeşitli amaçlarla kullanılabilenleri görülmüştür. Tespit edilen öneri kullanımlar arasında öne çıkan bitkiler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- Kaya bahçeleri için kullanılabilir bitkiler: *Anchusa azurea* var. *azurea*, *Malva neglecta*, *Olea europaea* var. *europaea*, *Papaver rhoeas*, *Peganum harmala*, *Rhus coriaria*, *Salvia multicaulis*, *Teucrium polium*, *Thymbra spicata* var. *spicata*,
- Kelebek bahçeleri için kullanılabilir bitkiler: *Erodium cicutarium* subsp. *cicutarium*, *Papaver rhoeas*, *Salvia multicaulis*, *Urtica dioica*
- Arı bahçeleri için kullanılabilir bitkiler: *Anchusa azurea* var. *azurea*, *Nasturtium officinale*, *Papaver rhoeas*, *Salvia multicaulis*, *Sinapis arvensis*, *Teucrium polium*,
- Gölgeleme amaçlı kullanılabilir bitkiler: *Morus alba*, *Platanus orientalis*, *Vitis vinifera*

Bu çalışma, ülkemizde yapılmış diğer araştırmalara katkı sağlayıcı niteliktedir. Güçlü (1988) tarafından yapılan bir çalışmada, Erzurum'da doğal olarak yetişen 41 bitkinin estetik ve fonksiyonel özelliklere sahip olduğu ve peyzaj düzenlemelerinde başarılı bir şekilde kullanılabilceği belirlenmiştir. Aynı çalışma, uzun süre çiçeklenme özelliğine sahip bitkilerle kuru bahçe ve kaya bahçesi gibi başarılı düzenlemelerin yapılabileceğini vurgulamaktadır. Ulus ve Özdemir (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, İstanbul'da doğal olarak yetişen ve tozlaşma bahçelerinde kullanılabilcek 137 bitki türü tespit edilmiştir. Bu çalışma, söz konusu bitkilerin kullanımıyla diğer yeşil alan düzenlemelerinin de tozlaşma yeteneği güçlü bahçelere dönüştürülebileceğini savunmaktadır. Kuş Şahin ve Aşkın (2020) tarafından yapılan bir araştırmada, Isparta kent merkezindeki apartman bahçeleri incelenmiştir. Bu araştırmada, apartman bahçelerinin konut bahçelerinden daha büyük bir alanı kapladığı ve genellikle yan ve arka bahçelerin fayda bahçesi olarak kullanıldığı, meyve ağaçlarının ve sebzelerin yetiştirildiği belirtilmiştir. Aynı şekilde, İzmir ili Kemalpaşa ilçesinde bulunan 26 müstakil konutun bahçelerinin incelendiği bir araştırmada (Kuş Şahin ve Çalık, 2021), bazı konut sahiplerinin talepleri doğrultusunda sebzelerin yetiştirilebileceği hobi bahçeleri tasarlandığı vurgulanmıştır.

4. Sonuç

Bu çalışma, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde etnobotanik amaçlarla kullanılan bitkilerin belirlenmesi ve kültürel peyzajlardaki potansiyel kullanım alanları açısından değerlendirilmesi amacıyla yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, bölgenin etnobotanik mirası ve biyolojik çeşitliliği açısından oldukça zengin olduğu gözlemlenmiştir. Araştırmada, 113 farklı familyadan 1295 taksonun etnobotanik amaçlarla kullanıldığı belirlenmiş ve bu taksonların 26'sının halk tarafından yaygın olarak kullanıldığı tespit edilmiştir.

İncelenen 26 yaygın kullanılan bitkinin etnobotanik kullanım alanları da analiz edilmiştir. Bu bitkilerin tıbbi, gıda, hayvan yemi, boya ve yağ üretimi gibi çeşitli alanlarda kullanıldığı tespit edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki etnobotanik bitkilerin doğal bahçe düzenlemeleri, bitki kompozisyonları, meyve bahçeleri, kaya bahçeleri, çitler ve yol kenarı bitkilendirmeleri gibi alanlarda geniş bir kullanım potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Bitkilerin habitatları, renk çeşitliliği, çiçeklenme dönemi, yaprak tekstürleri ve diğer fiziksel özellikleri de peyzaj tasarımları için potansiyel taşımaktadır.

Etnobotanik amaçlı kullanılan türler, kültürel özellikleri ve kullanım amaçlarının çeşitliliği açısından önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Doğal bitki türlerinin çevre koşullarına kolay ve iyi uyum sağlaması, yabancı kökenli bitkilere göre daha az bakım ihtiyacı, daha fazla dayanıklılık, yaban hayatı için barınak ve besin kaynağı olması (Barış, 2002; Çorbacı ve ark., 2011; Ahmet ve ark., 2016; Erzurumlu ve Savran, 2019), ekolojik açıdan önemli olduğu gibi tematik bahçeler (kelebek, arı bahçesi vb.) ve kompozisyonlar yaratma konusunda da etkilidir. Araştırmalar aynı zamanda, yeşil alanların

farklı amaçlarla kullanılabileceğini ve hobi bahçeleri gibi özelleştirilmiş tasarımların konut sahipleri arasında popüler olduğunu ortaya koymaktadır. Toplumdaki bu ilginin peyzaj düzenlemelerinde etnobotanik bitkilerin kullanılmasını kolaylaştıracağı düşünülmektedir. Bu bitkilerin tanınması ve bilinçli bir şekilde kullanılması kullanıcı ile bitkiler arasındaki bağı arttırarak, estetik güzelliğin ötesinde bir etkileşime imkân sağlayacaktır. Etnobotanik bitkilerin doğal bahçe düzenlemeleri ve peyzaj tasarımlarında daha yaygın olarak kullanılması, ekolojik dengeyi destekleyecek ve biyolojik çeşitliliğin korunmasına da katkı sunacaktır.

Etnobotanik bitkilerin tıbbi amaçlı kullanımı ilaç araştırmaları için kaynak değeri oluşturduğu ve gıda, süs eşyası vb. kullanımları ile de zengin bir kültürel potansiyel sunduğu bilinmektedir. Bu çalışma, etnobotanik bitkilerin bu kullanımlarının yanı sıra kültürel peyzaj düzenlemelerinde de kullanılacak niteliklere sahip olduğunu göstermektedir. Etnobotanik değeri yüksek bitkilerin bu potansiyelinin anlaşılması ve daha sonra konut bahçesi, kaya bahçesi, arı bahçesi, kelebek bahçesi ve özellikle kurakçıl peyzaj düzenlemeleri gibi çeşitli ölçeklerdeki peyzaj düzenlemelerinde yaygın şekilde kullanılması, kültürel mirasımızın gelecek nesillere aktarılmasında önemli katkılar sunacaktır. Özellikle tespit edilen türler arasında yer alan *Platanus orientalis*, *Olea europea*, *Crataegus monogyna*, *Morus alba* gibi türler hâlihazırda ülkemizin birçok bölgesinde kullanılmakta ve fidanlıklardan temin edilebilmektedir. Ayrıca ülkemizin florasında yaygın bir şekilde bulunan *Crataegus* sp. türleri çit amaçlı düzenlemelerde kullanım için oldukça uygun bir bitki olarak öne çıkmaktadır.

Sonuç olarak, etnobotanik bitkilerin çeşitli alanlarda kullanımının arttırılması ve bu bitkilerin korunması, bölgenin tarihini ve kimliğini yansıtarak mekandaki yer duygusunu arttırma, sürdürülebilir peyzaj uygulamalarını teşvik etme, yerel iklim koşullarına iyi adapte olabilen bitkilerle çalışma imkanı sağlama, estetik ve işlevsel özellikleri, biyoçeşitliliğe ve ekolojik dirence katkı sağlaması açısından önemli bir adımdır. Bu bitkilerin daha kapsamlı çalışmalar ile ele alınması gelecekteki biyolojik çeşitlilik koruma çalışmalarına da ilham olacaktır. Ayrıca, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde botanik bahçesi, kelebek bahçesi gibi tematik bahçelerin kurulması ve halka açık etnobotanik bahçelerin oluşturulması, toplumun doğal bitki çeşitliliğine olan ilgisini arttırabilecek ve yerel bilgi ile kültürel değerlerin korunmasına katkıda bulunacaktır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Abak F. Şanlıurfa ili Lamiaceae (Ballıbabagiller) familyasının florası bazı taksonların fitokimyasal ve etnobotanik özellikleri. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Rize, Türkiye, 2018.
- Ahmet CAF., Irmak MA., Yılmaz H. Bingöl ili yeşil alanlarında kullanılan odunsu bitkiler ve kullanım amaçları. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2016; 6(2): 103-110.
- Akan H., Korkut MM., Balos MM. Arat dağı ve çevresinde (Birecik, Şanlıurfa) etnobotanik bir araştırma. Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi 2008; 20(1): 67-81.
- Akan H. An ethnobotanical investigation on the baskets of Mardin, South East Anatolia. ADYÜTAYAM 2013; 1(1): 21-30.
- Akan H., Aydoğdu M., Korkut MM., Balos MM. An ethnobotanical research of the Kalecik mountain area (Şanlıurfa, South-East Anatolia). Biological Diversity and Conservation 2013; 6(2): 84-90.
- Akan H., Aslan M., Balos M. Şanlıurfa kent merkezindeki semt pazarlarında satılan bazı bitkiler ve kullanım amaçları. Ot Sistematik Botanik Dergisi 2005; 12(2): 43-58.
- Akgül A. Midyat (mardin) civarında etnobotanik. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, Türkiye, 2008.
- Akgül A., Akgül A., Senol SG., Yıldırım H., Secmen O., Dogan Y. An ethnobotanical study in Midyat (Turkey), a city on the silk road where cultures meet. Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine 2018; 14(12):1-18.
- Aslan S. Yaslıca beldesi ve arıkök köyü (Şanlıurfa)'nın etnobotanik açıdan araştırılması. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, Türkiye, 2019.
- Avcı H. Akdağ (Çelikhan/Adıyaman) florası. İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Malatya, Türkiye, 2019.
- Ayaz H. Gölpınar mesire yeri florası ve etrafındaki köylerin etnobotanik özellikleri. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, Türkiye, 2013.
- Ayaz N. Mardin ilinde yenen yabancı bitkiler. Bitlis Eren Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bitlis, Türkiye, 2020.
- Barış M. Yeşil alan uygulamalarında doğal bitki örtüsünden yeterince yararlanıyor muyuz?. II. Ulusal Süs Bitkileri Kongresi, 2002, sayfa no:91-95, Antalya.
- Başköse İ., Paksoy MY., Savran A. The flora of Nigde University campus area and Akkaya dam lake environments (Nigde/Turkey). Biological Diversity and Conservation 2012; 5(3): 82-97.
- Bellikçi Koyu E. Türkiye'nin etnobotanik veritabanı. Ege Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, Türkiye, 2020.
- Berkes F. Sacred ecology (Vol. 711). New York: Routledge; 2012.

- Bulut G., Doğan A., Şenkardeş İ., Avcı R., Tuzlacı E. The medicinal and wild food plants of batman city and kozluk district (Batman-Turkey). *Agriculturae Conspectus Scientificus* 2019; 84(1): 29-36.
- Bulut G., Korkmaz A., Tuzlacı E. The ethnobotanical notes from Nizip. *Istanbul J. Pharm.* 2017; 47(2): 57-62.
- Çetin N., Mansuroğlu S. Akdeniz koşullarında kurakçıl peyzaj düzenlemelerinde kullanılabilecek bitki türlerinin belirlenmesi: Antalya/Konyaaltı örneği. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2018; 55(1): 11-18.
- Çetiner M. Atatürk baraj gölü havzasının Şanlıurfa bölümü florası. Adıyaman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman, Türkiye, 2020.
- Çiçek İ. Çermik ilçesi ve köylerinin (Diyarbakır) etnobotanik özellikleri. Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bingöl, Türkiye, 2019.
- Çimen Ş., Ulus A. Türkiye Milli Botanik Bahçesi'nde bulunan bazı doğal bitki taksonlarının süs bitkisi kullanım potansiyelinin belirlenmesi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2020; 34 (Özel Sayı): 269-290.
- Çorbacı ÖL., Özyavuz M., Yazgan ME. Peyzaj mimarlığında suyun akıllı kullanımı: Xeriscape. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* 2011; (1): 25-31.
- Dağlı M. Şanlıurfa merkez ve bağlı köylerde etnobotanik bir araştırma. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, Türkiye, 2015.
- Davis P. *Flora of Turkey and East Aegean Islands*. Edinburg: Vol:1-9 University Press; 1965-1985.
- Davis P., Mill, RR., Tan, K. *Flora of Turkey and the East Aegean Islands (Supplement)*. Edinburgh: Volume 10, University Press; 1988.
- Demir E. The contribution of the Southeastern Anatolian project to the domestic economy and its effect on the settlements areas. *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi* 2003; 23(3):189-205.
- Dönmez Y., Aydınöz D. Bitki özellikleri açısından Türkiye. *Coğrafya Dergisi* 2012; 1(24):1-17.
- Eksik C. Mardin ili Artuklu, Ömerli ve Yeşilli ilçelerinin bazı köylerinde etnobotanik çalışma. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, Türkiye, 2020.
- Erzurumlu GS., Savran A. Using indigenous plant species ranging on the campus area of Ömer Halisdemir university in landscape design works. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2019; 12(1): 25-37.
- Fidan EŞ. Tek Tek dağları eteklerindeki bazı köylerde etnobotanik çalışma. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, Türkiye, 2018.
- Furkan MK. Adıyaman ilinde yetişen bazı bitkilerin etnobotanik özellikleri. Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman, Türkiye, 2016.
- Gelse A. Adıyaman ve çevresinin etnobotanik özellikleri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Van, Türkiye, 2012.

- González-Tejero MR., Casares-Porcel M., Sánchez-Rojas CP., Ramiro-Gutiérrez JM., Molero-Mesa J., Pieroni A., ElJohrig S. Medicinal plants in the Mediterranean area: synthesis of the results of the project Rubia. *Journal of Ethnopharmacology* 2008; 116(2): 341-357.
- Güçlü K. Erzurumda doğal olarak yetişen bazı bitkilerin taş ve kaya bahçeleri ile kuru duvarlarda kullanılmaları üzerinde bir araştırma. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 1988; 19(1-4).
- Gültaş N. Adıyaman ilinde etnobotanik değeri olan bazı bitkilerin kullanım alanlarının tespiti. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, Türkiye, 2009.
- Güner A., Özhatay N., Ekim T., Başer KHC. Flora of Turkey and East Aegean Islands. (Supplement 2). Edinburg: Vol:11, University Press; 2000.
- Güner A., Aslan S., Ekim T., Vural T. Babaç MT. Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler). İstanbul: Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını; 2012.
- Hammer Ø., Harper DA., Ryan PD. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 2001; 4(1): 9.
- Hennekens SM., Schaminée JH. TURBOVEG, a comprehensive data base management system for vegetation data. *Journal of Vegetation Science* 2001; 12(4): 589-591.
- Karadağ HA. Ali Dağı ve ziyaret tepesinin (Adıyaman) florası. Adıyaman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman, Türkiye, 2019.
- Kavgacı A., Carnı A., Sılc U. Bitki sosyolojisi çalışmalarında kullanılan sayısal metotlar ve bazı bilgisayar programları. *Turkish Journal of Forestry* 2008, 9(2): 188-201.
- Kaya ÖF. Kaşmer Dağı (Şanlıurfa)'nın step step veriyonu üzerine sintaksonomik bir çalışma. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty* 2010; 10(1): 1-11.
- Kaya ÖF., Dağlı M., Çelik HT. An ethnobotanical research in Şanlıurfa central district and attached villages (Turkey). *Indian Journal of Traditional Knowledge* 2020; 19(1): 7-23.
- Kılıç M. Artuklu (Mardin) yöresinde yetişen bitkiler üzerine etnobotanik bir araştırma. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Manisa, Türkiye, 2019.
- Kılıçaslan N., Dönmez Ş. Göller bölgesinde doğal olarak yetişen soğanlı bitkilerin peyzaj mimarlığında kullanımı. *Türkiye Ormancılık Dergisi* 2016; 17(1): 73-82.
- Kim H., Song MJ. Analysis and recordings of orally transmitted knowledge about medicinal plants in the southern mountainous region of Korea. *Journal of Ethnopharmacology* 2011; 134(3): 676-696.
- Koç S. Adıyaman Üniversitesi kampüsünün flora ve vejetasyonu. Adıyaman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman, Türkiye, 2019.
- Koçhan N. Peyzaj planlama ve tasarım çalışmalarında kuşburnu (*Rosa canina* L.) bitkisinin değerlendirilmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi* 2010; 14(4): 33-37.
- Kuş Şahin C., Aşkın AM. Isparta kent merkezindeki apartman bahçelerinin irdelenmesi üzerine bir araştırma. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi* 2020; 22(2): 319-331.

- Kuş Şahin C., Çalık H. Konut bahçelerinde peyzaj uygulamaları üzerine bir çalışma: İzmir ili Kemalpaşa ilçesi örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2021; 12(1): 41-53.
- Leto C., Tuttolomondo T., Bella SL., Licata M. Ethnobotanical study in the Madonie Regional Park (Central Sicily, Italy)—Medicinal use of wild shrub and herbaceous plant species. *Journal of Ethnopharmacology* 2012; 146: 90-112.
- Ortaç Z., Tel AZ. Gazihan Dede Mesire Alanı (Adıyaman, Türkiye) Florası. *Türler ve Habitatlar* 2021;2(1): 33-53.
- Oymak E. Bozova (Şanlıurfa) halkının kullandığı doğal bitkilerin etnobotanik özellikleri. *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, Türkiye, 2018.*
- Ozturk M., Altay V., Gucl S., Altundag E. Plant diversity of the drylands in Southeastern Anatolia-Turkey: Role in human health and food security. Ed.: Ansari A. & Gill S.S., *Plant biodiversity-Monitoring, Assessment and Conservation* 2016; 83-124.
- Özdemir S. Diyarbakır ili aktarlarında satılan bitkiler ve etnobotanik özellikleri. *Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Artvin, Türkiye, 2019.*
- Özer H., Türkmen N. Investigation of plants with ethnobotanical use in Gaziantep Province (Turkey). *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences* 2019; 07(02): 71-78.
- Polunin O. *Flowers of Europe*. New York, Toronto: Oxford University Press; 1969.
- Sade YB. Kahta (Adıyaman) merkezi ve Narince köyünün etnobotanik açıdan araştırılması. *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, Türkiye, 2014.*
- Seyidoğlu N. Bazı doğal geofitlerin peyzaj düzenlemelerinde kullanımı ve üretimi üzerine araştırmalar. *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, Türkiye, 2009.*
- Sökand R., Kalle R. Herbal landscape: the perception of landscape as a source of medicinal plants. *Trames: A Journal of the Humanities and Social Sciences* 2010; 14(3):207.
- Simpson EH. Measurement of diversity nature, ??163, 688;1949.
- Şığva HÖ., Seçmen Ö. Ethnobotanic survey of Işıklı (Çarpın), Dağdancık and Tokdemir in Gaziantep, Turkey. *IUFS Journal of Biology* 2009; 68(1): 19-26.
- Tichý L., Holt J. JUICE program for management, analysis and classification of ecological data. Brno: *Vegetation Science Group, Masaryk University, 2006.*
- Tırnakçı A., Aklıbaşında M. Doğal bitki türlerinin kentsel alanlardaki bitkisel tasarımlarda kullanımı. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 2023; 24(1): 167-177.
- Ulus A., Özdemir A. Kent ekolojisine farklı bir yaklaşım: tozlaşma bahçeleri. *İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi* 2018; 8(18):17-28.
- URL-1 Türkiye'nin Bitkileri, web adresi: <https://turkiyebitkileri.com/tr/> Erişim tarihi: 04.03.2023
- Vandebroek I., Balick MJ. Globalization and loss of plant knowledge: challenging the paradigm. *PloS one* 2012; 7(5): e37643.

- Vitalini S., Tomè F., Fico G. Traditional uses of medicinal plants in Valvestino (Italy). *Journal of Ethnopharmacology* 2009; 121(1): 106-116.
- Yapıcı İÜ., Hoşgören H., Saya Ö. Kurtalan (Siirt) ilçesinin etnobotanik özellikleri. *Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi* 2009; 12: 191-196.
- Yener ŞD., Akdeniz NS. Evaluation of the natural geophyte taxa of Sarıyer (Istanbul) and their use in urban landscape. *Eurasian Journal of Forest Science* 2020; 8(1): 79-93.
- Yener ŞD., Ay Ak BR. Doğu Anadolu Bölgesi'nin etnobotanik kullanımını olan bazı bitkilerin peyzaj düzenlemelerinde kullanım olanakları. *Eurasian Journal of Forest Science* 2021; 9(3): 92-106.
- Yener ŞD., İnal Ö. Kent peyzajına ekolojik bir yaklaşım - Etnobotanik kullanıma sahip bitkiler: Marmara Bölgesi Örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022, 13(1): 93-104.
- Yeşil Y., Çelik M., Yılmaz B. Wild edible plants in Yeşilli (Mardin-Turkey), a multicultural area. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 2019; 15(52): 1-19.
- Yeşil Y., İnal İ. traditional knowledge of wild edible plants in Hasankeyf (Batman Province, Turkey). *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 2019; 88(3): 1-22.
- Yiğit SŞ. Gaziantep ili aktarlarında satılan bitkiler ve etnobotanik özellikleri. *Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep, Türkiye, 2014.*

Doğal Dil İşlemede Veri Ön İşleme Tekniklerinin Sosyal Medya Yorumlarında Kullanılarak Şeker Hastalığı Analizi

Sinan ALTUN^{1*}

¹Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı, Kahramanmaraş

¹<https://orcid.org/0000-0002-2356-0460>

*Sorumlu yazar: s.altun@yaani.com.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 06.06.2023

Kabul tarihi: 22.10.2023

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Doğal dil işleme

Makine öğrenmesi

Sosyal medya

Şeker hastalığı

ÖZ

Sosyal medya araçları şeker hastaları tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. En yaygın şeker hastalıklarından ikisi olan Tip1 ve Tip2, sosyal medya sitesi Reddit'te iyi bir şekilde temsil edilmektedir. Bu çalışmada R/diabetes alt başlığında yorumları incelemek, yorum yapanların ilgi düzeyini ve şeker hastalığı için yaygın tedavilerle ilgili yorumları izlemek için doğal dil işleme araçlarını kullanılmıştır. 2019-2022 yılları arasında r/diabetes (n=110,483) alt başlığından gelen tüm yorumlar alınarak doğal dil işleme araçları kullanılarak işlendi. 2019-2022 yılları arasında alternatif tedaviler, yaşam tarzı değişiklikleri ile ilgili yorum hacmi dalgalı bir süreç göstermiştir. Çalışma 3 ana başlık altındaki yorumları inceleyecek şekilde yapılmıştır. Şeker hastalığı ile ilgili genel ifadeler (5 terim), tedavide kullanılan ilaçların etkin maddeleri (6 terim), alternatif tedavi yöntemleri ve yaşam stilleri (6 terim) başlıklarıdır. Terimlerin tamamına yakını yıllara göre yorumlarda yer alma sıklığı dalgalı bir seyir göstermekle beraber “bicycling” ve “Repaglinide” terimleri hariç 2022 yılında artış göstermişlerdir. “Hydrotherapy” teriminin yorumlarda yer almasında, bütünde yıllarda düzenli bir artış varken “Bicycling” ifadesine düzenli bir azalış söz konusudur. “Glizlazide” etken madde terimde, 2020 yılından 2021 yılına geçişte yüksek bir artış gözlemlenmiştir. Bu analizler şeker hastalığı tedavileriyle ilgili hasta ilgi düzeyi ve duyarlılığı ile ilgili olarak ek araştırma alanı önermektedir.

Analysis of Diabetes Using Natural Language Processing Methods in Social Media Comments

Research Article

Article History:

Received: 06.06.2023

Accepted: 22.10.2023

Published online: 11.03.2024

Keywords:

Natural language processing

Machine learning

Social media

Diabetes mellitus

ABSTRACT

Diabetics widely use social media tools. Two of the most common diabetes diseases, Type1 and Type2, are well represented on the social media site Reddit. In this study, we used natural language processing tools to analyze comments on the R/diabetes subthread and track commenters' levels of interest and comments about common treatments for diabetes. All comments from the sub-topic r/diabetes (n=110483) between 2019 and 2022 were retrieved and processed using natural language processing tools. Between 2019 and 2022, the volume of comments on alternative treatments and lifestyle changes showed a fluctuating process. The study was conducted to examine comments under 3 main headings. These are general statements about diabetes (5 terms), active ingredients of drugs used in treatment (6 terms), alternative treatment methods, and lifestyle changes (6 terms). Almost all of the terms showed an increase in 2022, except for the terms

"bicycling" and "Repaglinide", although the frequency of occurrence in the comments fluctuated according to the years. The term "Hydrotherapy" in the comments showed a steady increase in all years, while "Bicycling" showed a steady decrease. The active ingredient term "Glizlazide" increased greatly from 2020 to 2021. These analyses suggest additional areas of research about patient interest and responsiveness to diabetes treatments.

To Cite: Altun S. Doğal Dil İşlemede Veri Ön İşleme Tekniklerinin Sosyal Medya Yorumlarında Kullanılarak Şeker Hastalığı Analizi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(2): 533-542.

1. Giriş

Kronik bir hastalık olan diyabette, vücut insülin üretmez veya ürettiğini uygun şekilde kullanamaz. Şekerin kan dolaşımından hücrelere getirilmesini insülin gerçekleştirir. Vücut insülin yapamazsa veya buna cevap vermezse, şeker kan dolaşımında kalır ve hücreler ihtiyaç duydukları şekere ulaşamazlar (Zhao ve ark., 2023). Damarlardaki bu yüksek kan şekeri düzeyinin bir sonucu olarak, sonunda kan damarlarında ve organlarında hasar meydana gelir. Diyabetin belirtileri arasında bulanık görme, aşırı susama, yorgunluk, sık idrara çıkma, açlık ve kilo kaybı sayılabilir. Diyabetli kişilerin hemoglobin A1c seviyelerini her üç ila altı ayda bir kontrol ettirmeleri gerekir. A1c, önceki iki ila üç ay boyunca ortalama kan şekerinin bir ölçüsüdür (Eldib ve ark., 2023). Üç ana diyabet türü vardır. Tip 1 diyabet genellikle çocukluk çağında teşhis edilir. Bu diyabet tipinde vücut çok az insülin yapar veya hiç yapmaz, bu nedenle günlük insülin enjeksiyonları gerekir. Tip 2 diyabet genellikle yetişkinlerde görülür. Bu diyabet tipinde pankreas, genellikle vücut insüline iyi yanıt vermediği için kan şekerini normal seviyede tutacak kadar insülin üretmez (Zheng ve ark., 2023).

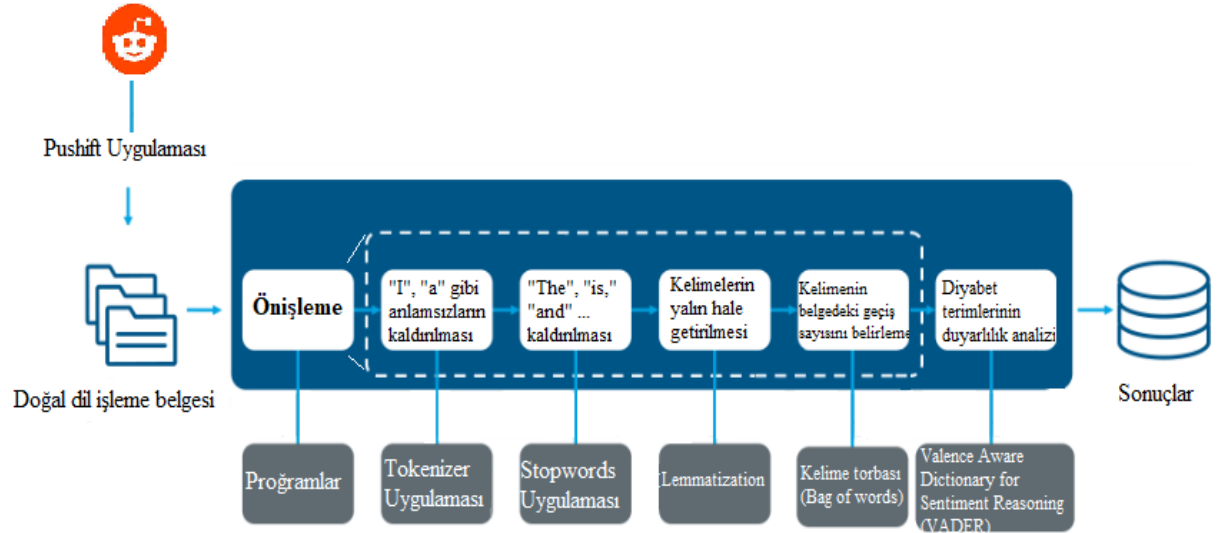
Dünyada, 537 milyon yetişkin (20-79 yaş) diyabetle yaşıyor. Bu sayının 2030'da 643 milyona ve 2045'te 783 milyona çıkacağı tahmin ediliyor (IDF Diabetes Atlas; 2021). Diyabetli her 4 yetişkinden 3'ü düşük ve orta gelirli ülkelerde yaşamakta olup, 2021'de 6,7 milyon ölüm diyabet kaynaklı olup bu 5 saniyede 1 ölüme denk gelmektedir. Şeker hastalığı, son 15 yılda 966 milyar dolarlık sağlık harcamasına neden olmuştur. Tip 2 diyabet hastalığı yönünden yüksek risk altına sokan Bozulmuş Glikoz Toleransına (IGT) sahip yetişkin sayısı 541 milyondur (IDF Diabetes Atlas, 2021).

Yetişkin hastaların atopik dermatit algılarının değerlendirilmesini, büyük sayıda veri içeren hasta anketi Doğal dil işleme (DDİ) yöntemi kullanılarak incelenmiştir (Falissard ve ark. 2020). Sosyal medyada birçok güncel konu tartışılabilir ve insanlar tecrübelerini paylaşabilmektedirler. Bu paylaşımlar arasında sağlık problemleri de büyük oranda konu başlığı oluşturabilmektedir. DDİ, şeker hastalarının hastalıklarıyla ilgili bilgilerini arttırmak için büyük miktarlarda sosyal medya yorumlarını etkili bir şekilde işleyebilir (Moulaei ve ark., 2022).

Reddit, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki en popüler 6. web sitesi olup tartışılacak konuya özgün alt başlıklar içermektedir. Reddit sosyal medya platformunda "diabetes" isimli bir forum bulunmakta olup, şeker hastalıklarıyla ilgili hasta raporları ve yorumları için kaynaklardan bir tanesidir. DDİ, Reddit platformunda bulunan "diabetes" forumundaki yorumları işleyerek hastaların hızlı şekilde faydalanabileceği hale getirebilir. Bu çalışmada, hastaların şeker hastalığı tedavilerine olan ilgisini

anlamak için DDİ yöntemini kullanmaktadır. DDİ, yorumların yoğunluğunu ve ayrıca bu tür forumlarda tartışılan hasta tarafından bildirilen advers ilaç reaksiyonlarını irdelemektedir.

Şekil 1’de çalışmanın özeti yer almaktadır. Çalışmamız Pushift Uygulaması kullanılarak Reddit sosyal medya platformundan “r/diabetes” forumundan yorumların çekilmesi ile başlamaktadır. Bu veriler çalışmanın ham veri seti olup 4 aşamalı ön işleme tabi tutulacaktır. Bu 4 ön işleme aşamasının amacı verilerden en faydalı bilgilerin çıkartılmasıdır. Ön işlemenin ilk aşamasında “I”, “a” gibi anlam taşımayan edatların veri setinden kaldırılmasıdır. Bunlar herhangi bir anlam taşımayıp doğal dil işleme sonucunu olumsuz etkileyecektir. Türkçe ve diğer dillerde genel olarak tekrar eden ve işlenmesi sonucu etkilemeyecek “Stopwords” kelimeler vardır. Bunlar Türkçe’de “ve”, “veya” gibi kelimeler iken bizim veri setimizdeki cümlelerin dili olan İngilizce’deki “The”, “is” şeklindeki kelimelerdir. Gereksiz edat ve anlam ifade etmeyen terimlerden arındırılan cümlelerde eklerinde kaldırılması gerekmektedir. Bu işlemde ön işlemenin 3. adımını olan “Lemmatization” uygulamasında gerçekleştirilmektedir. Son aşamada ise işlenecek hale gelen yalın cümlelerdeki en sık tekrar eden kelimelerin “Bag of words (BOW)” ile sayılması işlemi yer almaktadır.



Şekil 1. Çalışma blok diyagramı

Hastalık hakkında sağlık okuryazarlığı zayıf diyabetli hastalar, zayıf uyum sergileyebilir ve fazla komplikasyon yaşayabilir. Bununla birlikte, sağlık hizmeti sağlayıcıları genel nüfus arasındaki diyabet kavramsal uçurumu tam olarak anlayamamıştır. Sosyal medyadaki diyabetle endişelerin şifresini çözmek, bu açığı kapatmaya yardımcı olabilecek bir çalışma yapılmıştır (Wang ve ark., 2022). Verilerin kalitesini kontrol ettikten sonra, metin madenciliği kullanarak insanların internetteki tartışmalarındaki eğilimleri analiz etmişlerdir.

Hasta eğitimi, diyabetin kendi kendine yönetiminin temel bir yönüdür. Oturumlar sırasında ve sonrasında kitle etkileşimi, Twitter analitiği, Tweepstap ve YouTube Studio kullanılarak gösterimler ve katılım oranı dahil olmak üzere sosyal medya ölçümleri kullanılarak analiz etmişlerdir. 22 “tweetorial” oturumu ve 5 quiz toplam 151 anket (tweetorial ve quiz oturumlarında) toplam 21.269 oy aldığı

makalede belirtilmektedir. Genel olarak, 1 saatlik tweet oturumları, %6,3 etkileşim oranıyla 1.821.088 gösterim kazandı (Thomas ve ark., 2021).

Dünyada 420 milyondan fazla diyabetli insan var. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), diyabete bağlı ölümlerin sayısının 2030 yılına iki katına çıkacağını tahmin etmektedir. Diyabetle yaşamak, sağlık bilgilerini arama ve uygulama becerisini gerektirir. Çalışmada Kapsam belirleme incelemesinin yapılmış olup, diyabet hastalarının sosyal medya kullanımına ilişkin hangi kanıtların mevcut olduğunu ve sosyal medyanın sağlık bilgisi aramak veya duygusal destek elde etmek için kullanılıp kullanılmadığını ortaya çıkarmak amacı taşımaktadır (Zora, 2023).

(An Online Ethnographic Study, 2019) çalışma, Hindistan'da tip 2 diyabetli kişiler bir refah mekanizması olarak sosyal medyanın kullanımını ve faydalarını değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Mevcut gözden geçirme makalesi, sosyal medya kullanımının tip 2 diyabet yönetiminde olumlu etkisini yansıtmakta olup, bu aynı zamanda sosyal desteğin teorik temelini ve uzun vadeli hastalıkları yönetmede biyopsiko-sosyal modeli kanıtlamaktadır.

Sosyal medya platformları, insanların iletişim kurmaları ve kendilerini ifade etmeleri için yeni yollar yaratmıştır. Bu nedenle, e-sağlıkla bilgilerin bu platformlarda nasıl üretildiğini ve yayıldığını araştırmak önemlidir. İsveç'teki insanlar diyabetle ilgili konular hakkında konuşmak için Twitter'ı kullandıklarında bilgi akışını ve içeriğini araştıran bir çalışma yapılmıştır. Hedeflerine ulaşmak için, 10 aylık bir süre boyunca toplanan Twitter verilerini keşfetmek, analiz etmek ve kümelemek için veri madenciliği ve görselleştirme tekniklerini kullanmışlardır (Oyebode ve ark., 2019).

Literatürde yer alan başka bir çalışmada eker hastalığı olan bireylerden web tabanlı de klinik içi anketler toplanmıştır. Katılımcıların diyabete özgü sosyal ağ sitesi davranışlarını değerlendirmek için tanımlayıcı ve korelasyon analizleri kullanılmıştır. 45 hasta web tabanlı anketi ve 167 klinik tabanlı anketi tamamlayarak ve bunlardan 40'ı diyabete özgü sosyal ağ sitelerini ziyaret etmiştir. Klinik tabanlı anket verileri, DM'ye özgü web sitelerini kullandıklarını bildiren hastaların, kullanmayanlara kıyasla evdeki glikoz değerlerini sık izlediklerini ve insülin uygulamasına iyi uyum sağladıklarını (her ikisi de $p < 0,05$) bulunmuştur (Nelakurthi ve ark., 2018).

En yaygın iltihaplı deri hastalıklarından ikisi egzama ve sedef hastalığı, sosyal medya sitesi Reddit'te aktif şekilde ve çokça tartışılmaktadır. R/psoriasis ve r/egzema alt dizilerindeki yorumları incelemek (birleşik kullanıcı tabanı>187,000), yorum yapanların ilgi düzeyini ve sedef hastalığı ve egzama için yaygın tedavilerle duygularını ve advers ilaç reaksiyonlarının tartışılmasını izlemek için doğal dil işleme araçlarını kullanılmıştır. Çalışmada, 2014- 2020 yılları r/egzama (n=196,571) ve r/psoriasis (n=123,144) alt dizinlerinden gelen yorumlar alındı ve doğal dil işleme araçları kullanılarak işlendiği anlatılmaktadır (Cummins ve ark., 2023b).

2. Materyal ve Metot

Spor, sağlık ve diğer konular olmak üzere çok çeşitli alt başlık konularına bölünen Reddit, aylık 430 milyondan fazla aktif kullanıcısı olan bir sosyal medya platformudur. Pushshift API sosyal medya

platformlarında bulunan yorum ve postların kaydedilmesi için kullanılan bir uygulamadır. Çalışmamızda “r/diabetes” alt başlığında bulunan, 2017'ten 2022'ye kadar olan yorumlar Pushshift API ile kaydedilmiştir. Boş ya da boşluktan başka karakter içermeyen yorumlar, otomatik mesajlar, Reddit moderatörleri veya gönderen kullanıcı tarafından kaldırılanlar ve Unicode olmayan karakterler içeren yorumlar, Unicode olmayan karakterler yorumlardan kaldırılarak veri seti ön işleme yapılmıştır.

Filtreleme sonucu elde edilen veri seti Doğal Dil İşleme (DDİ) ile işlenmiştir. Metinlerin tamamı küçük harfle yapılarak noktalama işaretleri kaldırılmıştır. Daha uzun bir kelimenin parçası olmayan ve İngilizce’ de anlam taşıyan "I", "a" gibi tek harfli kelimeler kaldırılmıştır. DDİ’ de işlenecek kelime/cümleyi tokenize etmek gerektiğinden her yorum bir kelime listesine dönüştürülerek tokenize edilmiştir.

Stopwords (Stopwords, herhangi bir dilde yaygın olarak kullanılan bir dizi sözcüktür. Örneğin, İngilizce’de "the", "is" ve "and" kolaylıkla durak kelimeler olarak nitelendirilebilir. NLP ve metin madenciliği uygulamalarında, durak kelimeler önemsiz kelimeleri elemek için kullanılır ve uygulamaların bunun yerine önemli kelimelere odaklanmasını sağlar.), DDİ verilerinde fazla anlam taşımayan ve gürültü oluşturan yaygın sözcükler olup, Genism ve Natural Language Toolkit’in (NLTK) durdurma sözcükleri listesinin yanı sıra “kullan” ve “beğen” sözcükleri kullanılarak durdurma sözcükleri çıkarıldı (Bird ve ark., 2009; Řehůřek ve Sojka 2010).

Kelimelerde bulunan eklerin kaldırılarak kelimenin yalın hale getirilmesine Lemmatization adı verilmektedir. NLTK'nin WordNet Lemmatizer'ı kullanılarak veri yorumlarda Lemmatization işlemi yapılmıştır. (Freihat ve ark., 2018). İşlenen yorumlar, bir genizm sözlüğü kullanılarak belgedeki bir kelimenin geçiş sayısını sayan bir kelime torbası (Bag of Words (BOW)) modeli oluşturmak için kullanıldı (Nabizadeh-ShahreBabak ve ark., 2021).

Elde edilen 1000 kelimelik liste gözden geçirilerek, kelime sayısı şeker hastalığı ile ilgisine göre 90 kelimedenden aza indirildi. Düzenli ifadeler (Regular expressions (RE)) alt dizinde seçilen ilgili kelimelerin her birini içeren yorumları belirlemek için kullanılabilir. Sözcüklerin bireysel RE analizinin işlenmesine ek olarak, RE analizi için aynı ilacın marka adları aynı anlama geldiğinden bazı sözcükler de RE grupları olarak alınmıştır. İlaç isimleri içeren incelemelerin ilgisini belirlemek için Valence Aware Dictionary for Sentiment Reasoning (VADER) kullanılarak duyarlılık analizi yapılmıştır (Hutto ve Gilbert 2014). VADER, -1 en olumsuz, +1 en olumluyu, 0 tamamen etkisiz durumu ifade etmektedir. Bu çalışmada, incelemelerin VADER puanları -0,988 ile 0,981 arasında hesaplanmıştır. Zaman içindeki duyarlılık puanları ve bu puanların grafik hesaplaması, Kruskal-Wallis sıralama toplamı testleri kullanılarak yapılmıştır. Güven aralığı ise Wilson skor aralıklarına dayanmaktadır. İki taraflı p değerleri <0,05 istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

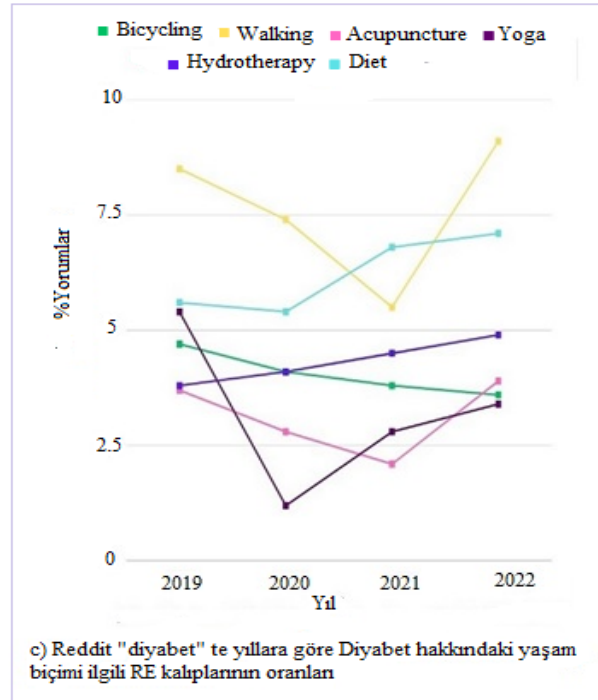
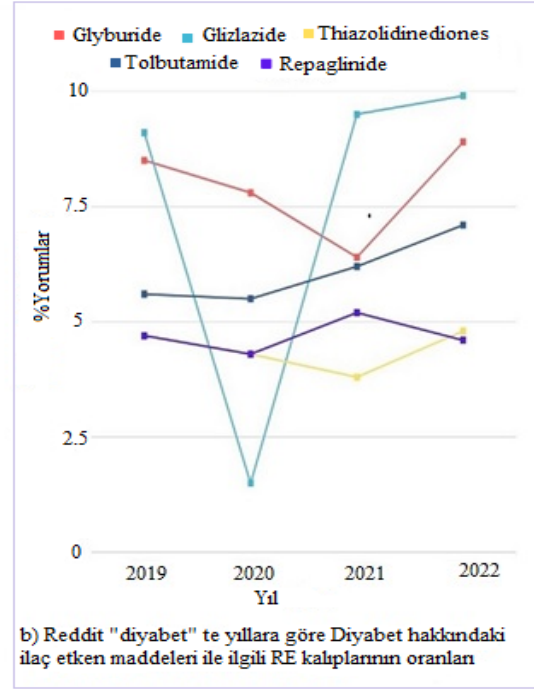
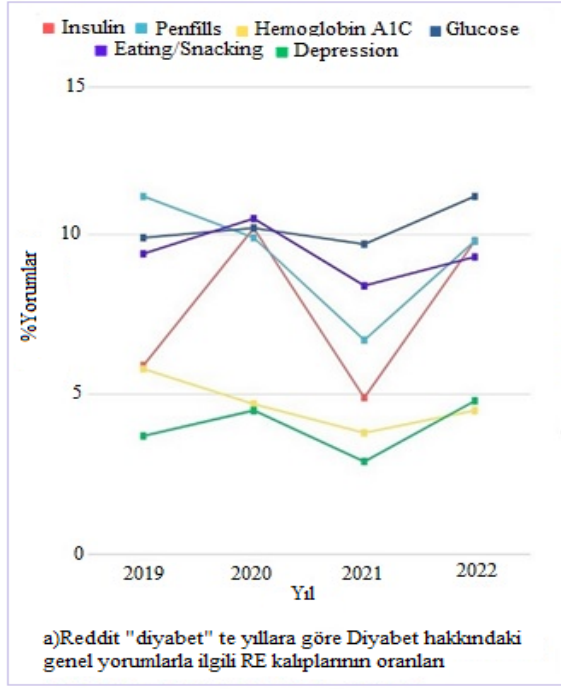
3. Bulgular ve Tartışma

Filtreleme işlemleri yapıldıktan sonra, “diabetes” alt başlığında 110.483 yorum toplanmıştır. Alt başlıkta, yıllara göre farklı yorumcu sayıları şu şekildedir: 2019: 4.005, 2020: 5.060, 2021: 5.275, 2022: 5.098. Tablo 1’ de yıllara göre yorumcu başına düşen yorum sayısı görülmektedir.

Tablo 1. r/diabetes yıllık yorum sayısı, benzersiz yorumcu sayısı ve benzersiz yorumcu başına yorum sayısı

Yıl	Yorum sayısı	Yorumcu sayısı	Yorumcuya düşen yorum sayısı
2019	23.633	4005	5.9
2020	30.867	5060	6.1
2021	27.432	5275	5.2
2022	28.551	5098	5.6

Şekil 2’ de “diabetes” alt başlığında yer alan terimlerin yıllara göre değişim oranı görülmektedir. Şekil 2. (a)’ da şeker hastalığı ile ilgili, yorumlarda geçen en sık ifadeler görülmektedir. 6 terimin yorumlarda yer alma sıklığı yıllara göre hep dalgalı olarak gerçekleşmiştir. Dalgalanmanın en fazla olduğu ifade ‘Insulin’ dir. Terimler arasında en fazla orana %11,2 ile 2022 yılında ‘Glucose’ sahiptir. Terimler arasında en düşük orana 2021 yılında %2,9 ile ‘Depression’ sahiptir. ‘Glucose’ terimi bütün yıllarda yüksek oranda yorumlarda bulunduğu söylenebilir. Ayrıca bu terimdeki dalgalanma diğer terimlere göre daha azdır. ‘Penfills’ ve ‘Hemoglobin A1C’ terimlerinde, 2019’dan 2021’e kadar düzenli bir azalış söz konusudur. 2022 yılında ise bu iki terim yorumlarda yer alma oranı artmıştır. Aslında 6 terimin hepsinde 2021 yılından 2022 yılına geçişte artış söz konusudur. Terimlerin yorumlarda yer alma oranı 2022 yılında şu şekilde gerçekleşmiştir: Insulin=%9,8, Penfills=%9,8, Hemoglobin A1C=%4,5, Glucose=%11,2, Eating/Snacking=%9,3, Depression=%4,8. Şekil 2 (b)’ de şeker hastalığı tedavisinde kullanılan ilaç etken maddelerinin, 2019-2022 yılları arasındaki yorumlarda yer alma oranları görülmektedir. Yıllara göre dalgalanma en fazla ‘Glizlazide’ terimindedir. ‘Tolbutamide’ teriminde 2019’dan 2020’ye geçişte önemsenmeyecek bir düşüş olmakla beraber düzenli bir artış söz konusudur. 2022 yılında ‘Repaglidine’ terimi %5,2’den %4,6’ ya düşmüş diğer 4 terim ise yükselmiştir. ‘Glizlazide’ terimindeki 2019 yılından 2020 yılına geçişte oransal düşüş %83’ü bulmuştur. Şekil 2 (c)’ de şeker hastalığının tedavisinde alternatif yöntem terimlerinin yıllara göre oransal değişimi görülmektedir. Genel terimler ve tedavide kullanılan ilaçların etken madde adlarındaki dalgalanma burada yoktur. ‘Hydrotherapy’ teriminde düzenli bir artış varken, ‘Bicycling’ teriminde düzenli bir azalış söz konusudur. 2022 yılında ‘Bicycling’ hariç bütün terimler artış göstermiştir. 2019 yılından 2020 yılına geçerken 6 terimden ‘Hydrotherapy’ hariç hepsi düşüş göstermiştir. 2019 yılından 2020 yılına geçişte ‘diet’ teriminde küçük bir düşüş olsa da düzenli artış vardır. 2022 yılında terimlerin yorumlardaki oransal olarak şu şekilde gerçekleşmiştir: Bicycling=%3,6, Walking=%9,1, Acupuncture=%3,9, Yoga=%3,4, Hydrotherapy=%4,9, Diet=%7,1.



Şekil 2. Reddit belirtilen düzenli ifade modellerini içeren r/diabetes alt başlığındaki yorumların yıllara göre yüzdesi (p=0,038)

4. Sonuç

Bu çalışma, diyabet tedavi seçenekleri hakkında fikirlerin yanı sıra yan etki raporlarına ilgi ve duyarlılık düzeylerini yapay zeka ile araştırılması imkanı sunmaktadır. Sonuçlar, r/diabetes hakkında yorum yapan Reddit kullanıcılarının bir dizi tedaviye aşına olduğunu gösterdi. Çoğu durumda, açıklanan hacimdeki artışlar ve azalmalar, mevcut verilere ve fikir birliğine dayalı olarak bu

tedavilerin hekimler tarafından tercih edilme derecesi ile tutarlı görünmektedir. Alt dizinde biyolojik ve oral ilaçlarla ilgili anahtar kelime aramaları, ilacın adını içeren yorumların yüzdesinin genel olarak dalgalı bir seyir işlerken 2022 yılında oransal olarak artış göstermiştir. İncelenen tüm yıllar boyunca yaygın olarak kullanılan ilaçlara ve alternatif tedavi yöntemlerine olan ilginin devam ettiğini gösteriyor.

Son yıllarda, r/diabetes alt dizini, alternatif tedaviler, yaşam tarzı ve diyet yaklaşımlarıyla ilgili terimler içeren yorumların yüzdesinde genel olarak artış yaşanmıştır. Bu değişiklikler, bu konulara olan ilgideki gerçek bir artışı yansıtabilir veya Reddit kullanıcılarının bu seçeneklere olan ilginin artması nedeniyle göreceli bir artışı yansıtmış da olabilir.

Alt dizinlerdeki yorumların hacmi, Reddit kullanıcılarının mevcut önerilen yönetimi anladığını gösteren hastalık yönetimi ve dermatoloji topluluğunda zaman içinde beklenebilecek önerilerdeki değişiklikleri yansıttığı söylenebilir. Bir ilaç kullanılmadan önce, tartışmalar ilacın beklentisine ve önceki ilaçlara göre algılanan faydasına odaklanabilir; bu, ilaç önceki seçeneklere göre bir gelişme olsa bile, fiili kullanımdan sonra azalabilir. Benzer şekilde, Repaglinid gibi uzun yıllardır FDA tarafından onaylanan ilaçlar, muhtemelen zamanla daha yeni ve daha etkili ilaçlarla karşılaştırıldığında etkiyi azalttıkları için zamanla daha az duyarlı hale gelebilirler.

Bu çalışma, birçok hastanın madde kullanımıyla ilgili semptomları kendi kendine bildirdiğini göstermektedir, bu nedenle DDI aracı, potansiyel madde kullanımı ve yaşanabilecek semptomlar için binlerce forum yorumunu aramak için değerli bir araç olabilir. Uyuşturucu kullanımının ve olası semptomların bilindiği durumlarda, izleme incelemeleri ve ilaç açıklamaları, uyuşturucu kullanımının ve olası semptomların daha iyi tanımlanmasına yardımcı olur. Buna ek olarak, daha önce ilk klinik denemeler sırasında tespit edilemeyen olası nadir semptomları belirlemek için büyük verilerdeki kalıpları belirlemek için daha geniş çapta uyuşturucu kullanımına ve olası semptomlara odaklanan araçlar kullanılabilir. Hasta tarafından bildirilen toplu sonuç göstergelerini belirlemek için bu tür verileri araştırmak, ek bir güçlü kullanım durumu sağlar.

Bu çalışmanın bulguları, r/diabetes alt dizini içinde bildirilen yorumlarla sınırlıdır ve bu nedenle tüm şeker hastalarını genellemez. Bu alt başlık içinde yorum yapan bireyler, hastalık yönetimine daha fazla para harcıyor olabilir ve bu koşullara sahip ortalama şeker hastalarından daha fazla hastalık etkisine sahip bir topluluğu temsil ediyor olabilir. Reddit kullanıcılarının bu sosyal medya forumuna katılabilmeleri için teknik bilgiye de sahip olmaları gerekmektedir. DDİ, büyük miktarlarda yapılandırılmamış verinin işlenmesine izin vermesine rağmen, sosyal medyanın standartlaştırılmamış doğası, alternatif yazımlar veya kelime seçimleri veya belirli konuların alternatif forumlara geçişi nedeniyle yakalanmamış veriler gibi doğal sınırlamalara sahiptir. Torba kelimeler metodolojisi yaklaşımı (BOW), en sık kullanılan terimleri tanımlayarak bu sınırlamayı hafifletmeye yardımcı olmuştur. Diğer bir sınırlama, çalışma yılları boyunca belirli ilacın hangi hastalıklara ve hangi biçimde uygun olacağını veya bir operasyonun hangi koşullarda gerekli olduğunu belirlemek için her ilaç satış

veya reçete hacmine ilişkin bulunmaması ve yorum hacimlerini her bir ilaç için reçete sayısı gibi bir ölçüyle doğrudan karşılaştırma olanağını sınırlamasıdır.

Veri analizi için öncelikle DDİ'ye dayanan herhangi bir çalışma, manuel inceleme yoluyla tanımlanabilecek daha ince ayrıntıların ve anlamların bazılarını kaçırma eğilimindedir. Bu çalışmada kullanılan BOW yaklaşımı, tek tek kelimeleri yakalar ancak bir cümlenin veya yorumun tam anlamını sağlamaz, bu da yorumun amaçlanan anlamının yorumlanmasını sınırlamaktadır.

Bu makale, hastalığı ve hastaların tedavi deneyimlerini daha iyi anlamak için diğer tıp forumlarında uygulanabilecek bir model olarak şeker hastalığına başarıyla uygulanmış bir DDİ aracı sunmaktadır. Sosyal medya geri bildirim, klinisyenlerin ve araştırmacıların hasta deneyimini, yapılandırılmış anketlerin sınırlamaları veya klinisyenleri veya araştırmacıları memnun etmeye çalışan hastaların önyargısı olmadan, hastaların kendi sözleriyle daha iyi anlamalarına olanak tanıdığı için benzersiz bir şekilde değerlidir. Sosyal medya forumlarındaki binlerce yorumu analiz etmek, hastalık ve tedavi müdahaleleriyle ilgili duygu ve endişelerdeki eğilimleri etkili bir şekilde belirleyebilir.

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

Bird S., Klein E., Loper E. Natural language processing with python 2009.

Cummins JA., Zhou G., Nambudiri VE. Natural language processing for large scale analysis of eczema and psoriasis social media comments. JID Innovations 2023b; 00210.

Eldib AH., Dhaver S., Al-Badri M., Salah T., Kibaa K., Elenani O., Tomah S., Gardner H., Hamdy O. Magnitude of A1C improvement in relation to baseline A1C and amount of weight loss in response to intensive lifestyle intervention in real-world diabetes practice: 13 years of observation. Journal of Diabetes 2023.

Exploring the Role of social media as a support mechanism among persons with diabetes: An online ethnographic study. Journal of Content, Community & Communication 2019; 10(9).

Falissard B., Simpson EL., Guttman-Yassky E., Papp KA., Thyssen JP., Gadkari A., Saba G., Gautier L., Abbe A., Eckert L. Correction to: qualitative assessment of adult patients' perception of atopic dermatitis using natural language processing analysis in a cross-sectional study. Dermatology and Therapy 2020; 10(2): 307–310.

Freihat AA., Abbas M., Bella G., Giunchiglia F. Towards an optimal solution to lemmatization in arabic. Procedia Computer Science 2018; 142: 132–140.

- Hutto C., Gilbert, E. Vader: A parsimonious rule-based model for sentiment analysis of social media text. *Proceedings of the International AAAI Conference on Web and Social Media 2014*; 8(1): 216–225.
- International Diabetes Federation. *IDF diabetes Atlas, 10th edn.* Brussels, Belgium: 2021. Available at: <https://www.diabetesatlas.org>
- Moulaei K., Dinari Z., Dinari F., Jahani Y., Bahaadinbeigy K. The role of social networks in diabetes self-care: A cross-sectional study. *HealthScienceReports 2022*; 5(3).
- Nabizadeh-ShahreBabak Z., Karimi N., Khadivi P., Roshandel R., Emami A., Samavi S. Detection of COVID-19 in X-ray images by classification of bag of visual words using neural networks. *Biomedical Signal Processing and Control 2021*; 68: 102750.
- Nelakurthi AR., Pinto AM., Cook CB., Jones LC., Boyle M., Y, J., Lappas T., He J. Should patients with diabetes be encouraged to integrate social media into their care plan? *Future Science OA 2018*; 4(7).
- Oyebode O., Orji R. Detecting factors responsible for diabetes prevalence in nigeria using social. *Media and Machine Learning 2019*.
- Řehůřek R Sojka P. Software framework for topic modelling with large corpora. *proc. LREC 2010 Workshop New Chall. NLP Framew. Valletta, Malta: ELRA 2010*: 45–50
- Thomas RL., Alabraba V., Barnard S., Beba H., Brake J., Cox AJ., Bowker R., Edwards DM., Epps A., Fletcher-Salt T., Holmes P., Kar P., Kausar N., Kelly B., Leveridge M., Newland-Jones P., Ng SM., Puttana A., Stewart R. Use of social media as a platform for education and support for people with diabetes during a global pandemic. *Journal of Diabetes Science and Technology 2021*; 17(2): 353–363.
- Wang R., Hong Y., Li C., Li S., Liu J., Wu C., Chiu CJ. Using social media data in diabetes care: bridging the conceptual gap between health providers and the network population. *BMC Primary Care 2022*; 23(1).
- Zhao H., Zhuo L., Sun Y., Shen P., Lin H., Zhan S. Response to: Critical commentary on the association between thiazolidinedione use and dementia risk in patients with type 2 diabetes. *PubMed 2023*.
- Zheng J., Shen S., Xu H., Zhao Y., Hu Y., Xing Y., Song Y., Wu X. Development and validation of a multivariable risk prediction model for identifying ketosis-prone type 2 diabetes. *PubMed 2023*.
- Zora H. The use of social media-communities by diabetes patients- a scoping review. *Population Medicine 2023*; 5(Supplement).

Spark Plazma Sinterlenmiş Cu-SiC Kompozitlerinin Fiziko-Mekanik ve Elektriksel Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Gökhan AÇIKBAŞ^{1,2*}, Nurcan ÇALIŞ AÇIKBAŞ³

¹ Mersin University, Department of Nanotechnology and Advanced Materials, 33110, Mersin, Türkiye

^{2,3} Mersin University, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 33110 Mersin, Türkiye

^{1,2} <https://orcid.org/0000-0002-5695-3658>

³ <https://orcid.org/0000-0001-6193-8252>

*Sorumlu yazar: gokhanacikbas@mersin.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 21.06.2023

Kabul tarihi: 22.10.2023

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Cu-SiC kompozitler
Kıvılcım plazma sinterleme
Sertlik
Mikroyapı
Elektriksel iletkenlik

ÖZ

Yapılan çalışmada, SiC takviyeli Cu matrisli kompozitler, hızlı yoğunlaşma sağlamak, zayıf ara yüzey bağı ve tane büyümesini ve fazlar arası bölgede istenmeyen fazları önlemek amacıyla kıvılcım plazma sinterleme tekniği ile üretilmiştir. Ayrıca takviye oranının (hacimce %10, 20, 30) ve partikül boyutlarının (1, 11, 24 µm) bakır kompozit malzemelerin fiziko-mekanik (yoğunluk, sertlik) ve elektriksel özelliklerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Kompozitlerin bulk yoğunluk değerleri Arşimet yöntemi, mikroyapı analizleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve faz analizi X-Işınları difraksiyonu (XRD) tekniği ile belirlenmiştir. Uygun sinterleme rejiminin seçimi, kompozit numunelerin istenmeyen fazlar oluşmadan, Cu ve SiC tanecikleri arasında uygun ara yüzey bağı ile neredeyse tam yoğunluğa sahip Cu-SiC kompozitlerine ulaşılması için çok önemli olup bu çalışmada çok yüksek bulk yoğunluk (min. %99,48), düşük toplam gözeneklilik %0,15-0,52, iyi sertlik (HV 122-186) ve elektriksel iletkenlik elde edilmesini sağlamıştır. İnce SiC partikülleri (~1 mikron) kullanıldığında ve SiC miktarı arttığında, elektrik iletkenliğinde fazla bir kayıp olmadan kompozitlerin sertlik değeri etkili bir şekilde artmıştır. Bu bağlamda, yapılan çalışma, mükemmel sinerjik performansa sahip Cu-SiC kompozitlerinin üretimi için etkili bir çözüm sunmaktadır.

Evaluation of the Physico-Mechanical and Electrical Properties of Spark Plasma Sintered Cu-SiC Composites

Research Article

Article History:

Received: 21.06.2023

Accepted: 22.10.2023

Published online: 11.03.2024

Keywords:

Cu-SiC composites
Spark plasma sintering
Hardness
Microstructure
Electrical conductivity

ABSTRACT

In this study, SiC reinforced Cu matrix composites were produced by spark plasma sintering to provide rapid consolidation and to prevent weak interfacial bonding and grain growth, undesired phases at the interphase region. In addition, the influence of the reinforcement ratio (vol.% 10, 20, 30) and particle sizes (1, 11, 24 µm) on the physico-mechanical (density, hardness) and electrical characteristics of copper based composite materials was aimed. The bulk density values were determined by Archimedes' method, SEM, EDS, and XRD analysis were used to identify microstructural factors and phase analysis. It was found that the selection of the appropriate sintering regime is very important for composite samples to reach nearly fully dense Cu-SiC composites with proper interfacial bonding between Cu and SiC grains without the formation of any undesired phases, results in very high relative density (min. 99.48%), low total porosity (0.15-0.52), good hardness (HV 122-186) and electrical conductivity. When fine SiC particles (~1 micron) are

used and the amount of SiC increases, the hardness value of the composites was effectively improved without much loss in electrical conductivity. In this respect, this study provides an effective solution for the production of Cu-SiC composites with excellent combined performance.

To Cite: Açıkbaz G., Çalış Açıkbaz N. Evaluation of the Physico-Mechanical and Electrical Properties of Spark Plasma Sintered Cu-SiC Composite. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(2): 543-562.

1. Introduction

Due to its good ductility, corrosion resistance, high electrical and thermal conductivity, copper is one of the most widely used functional and structural engineering material (Abedi et al., 2021). However, its low hardness and yield strength, weak thermo-mechanical properties limit the use of pure copper in engineering applications. To overcome these limitations, copper matrix is reinforced with strong ceramic particles (Celebi et al. 2011; Dash et al. 2012; Thankachan et al., 2019; Torabi and Arghavani, 2019; Shu et al. 2022). Silicon carbide (SiC) is the most common one as ceramic particulate reinforcement in many composite matrixes (Nair et al. 1985; Zhou and Xu, 1997; Mallik, et al. 2011; Mallik, et al. 2012; Suryanarayanan et al. 2013).

SiC improves the thermo-mechanical properties of copper at high temperatures due to its high hardness, strength, superior wear resistance, high decomposition temperature, high elastic modulus, excellent resistance to arc erosion and high thermal conductivity. Besides its excellent thermo-mechanical properties, SiC has good electrical conductivity (semiconductor material) and is used in many functional applications. SiC particulate-reinforced copper metal matrix composites are quite popular in electrical and electronic industries (e.g. electrical contacts, high performance switches, heat sinks, electronic packaging, resistance welding electrodes) because of their excellent thermo-mechanical and electrical conductivity properties as well as welding and brazing properties (Tjong and Lau, 2000; Shu and Tu, 2003; Brendel et al. 2004; Schubert et al. 2007; Efe et al. 2011; Efe et al. 2012; Shabani et al. 2014; Shabani et al. 2016; Moustafa and Taha, 2021). However, poor bonding between the copper matrix and SiC particles limits the properties of SiC reinforced copper matrix composites (Pelleg, et al. 1996).

Powder metallurgy (PM) and casting methods are common methods for the production of SiC reinforced Cu matrix composites (Tjong and Lau, 2000; Shu and Tu, 2003; Moustafa and Taha, 2021). PM method is generally preferred to casting. One of the most important stages in the production of SiC reinforced Cu matrix composites by powder metallurgy is the sintering process. The sintering technique creates significant changes, especially in the microstructure and thus in the material properties (Chmielewski et al. 2017).

Cu-SiC composites are sintered with conventional sintering, hot pressing (HP), hot isostatic pressing (HIP) and spark plasma sintering (SPS) (Kuskov et al. 2021; Abedi et al. 2022). The main problem in the production of SiC reinforced copper matrix composites with sintering is the differences in melting/decomposition temperatures of Cu and SiC (T_{mCu} : 1085 °C and T_{dSiC} : 2830 °C). At high

temperatures during sintering, silicon and carbon dissolve in the copper matrix (Sundberg, et al. 2005). With the dissolution of silicon in copper, new Cu-Si phases are formed, and these phases adversely affect the thermal, mechanical and electrical properties of MMCs. The affinity of carbon dissolved from SiC to Cu and the solubility of this carbon in Cu are negligible (Schubert, et al. 2007). In addition, carbon dissolved from SiC forms an interlayer at the metal-ceramic interface that prevents good interfacial bonding (Grzonka et al. 2015; Nosewicz et al. 2019). On account of this, rapid consolidation is required for the production of Cu-SiC composites to prevent these negative effects. Among other sintering techniques, spark plasma sintering (SPS) provides better densification with high heating and cooling rates and short dwell time (Hu et al. 2020; Abedi et al. 2022). During SPS, the mass transfer rate increases by evaporation and convection at the point of contact between the particles thanks to the electric current, and at the same time, oxides are removed from the surface of the copper particles with the increase in temperature. The activation energy required for diffusion is reduced, which increases the rate of material densification.

In literature there are some studies on the production of Cu-SiC composites with SPS (Zhang et al. 2003; Akbarpour and Alipour, 2017; Chmielewski et al. 2017; Mallikarjuna et al. 2017; Bazarnik et al. 2019; Chmielewski et al. 2019; Nosewicz et al. 2019; Hu et al. 2020). In these studies, it is stated that SPS provides a better densification rate. However, even if Cu-SiC composites are produced with SPS, it has been reported that the short heating time at maximum temperature does not protect the surface of silicon carbide from negative interactions with the copper matrix (Nosewicz et al. 2019). It should be noted that with the selection of the appropriate sintering regime and the appropriate production process, the mentioned negative situations can be prevented (Abedi et al. 2022). Thus, composites with good Cu-SiC interface can be developed without the need for extra processing stages (e.g. coating of SiC particles). Therefore, in this study, SPS sintering temperature was chosen as 800°C using thermodynamic data (Zhang et al. 2003). Cu-SiC composites were produced with different SiC particle sizes and ratios, and microstructure-property relations were investigated and interface interactions of SiC-Cu phases were studied with special attention.

2. Materials and Methods

2.1. Materials

In this study, Cu powder with >99.9 % purity and an average particle size of ~20 µm (Sentasbir, İzmir, Turkey) was used as matrix material in the production of metal matrix composites. Three different SiC powders with high purity (99.99 %) and average particle size of 1 (coded as SC-1), 11 (coded as SC-11) and 24 (coded as SC-24) micrometers were used as reinforcement material (Saint Gobain, France).

2.2. Composite Production Process and Characterization

Cu and SiC powders are weighed in accordance with the recipes given in Table 1, and mixed in a Fritsch Pulverisette Planetary Mill for 10 minutes at 200 rpm, adjusting the ball and powder volume to

be 1: 1 has been kept. In order to prevent oxidation on the surface of the powders, a composite mixture was prepared by using a short mixing time, a low mixing speed and isopropyl alcohol was used instead of water. The composite mixtures were dried in an oven at 105 °C. The dried powders were kept at room temperature in a desiccator in vacuum bags until sintering.

Table 1. Cu-SiC composite compositions

Sample Codes	SiC (vol. %)	SiC Particle Size, μm	Copper (Cu) (vol. %)
Cu	0	-	100
A1	10	1	90
A2	20	1	80
A3	30	1	70
B1	10	11	90
B2	20	11	80
B3	30	11	70
C1	10	24	90
C2	20	24	80
C3	30	24	70

Composite powder mixtures were sintered by spark plasma sintering method (SPS, HPD-50, FCT System GmbH, Germany) in a vacuum atmosphere at uniaxial pressure of 50 MPa, at a heating rate of 100°C/min., at 800 °C for 10 minutes, and pellets with a diameter of ~20 mm and a thickness of ~1.5 mm were obtained. Phase analyzes of the starting samples and sintered composite samples were performed using X-ray diffraction (XRD, Rigaku-SmartLab) device at a rate of 2 °/min between the 30-80°, 2 thetas. The particle shape and size of the starting powders and the microstructures of the sintered composite structures were investigated using FEI, Quanta 650 Field Emission model scanning electron microscope (FEG-SEM) with back scattered electron (BSE) detector and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS). Theoretical density values of the composite samples were calculated according to the mixing rule. The bulk density values of the composites were calculated using the Archimedes principle (Açıkbaş, et al. 2018; Açıkbaş, 2018). % Theoretical density values of composites were calculated by dividing the bulk density to theoretical density of composites (Açıkbaş, 2018). The hardness of the composite samples was determined under 300 g load by taking 5 measurements from each sample and using the Emcotest DuroScan 20 model Vicker's Microhardness device. The electrical conductivities of samples were measured by eddy currents as %IACS (Fischer, Sigmascope SMP350). A composite production flow chart and characterization scheme are given in Fig. 1.

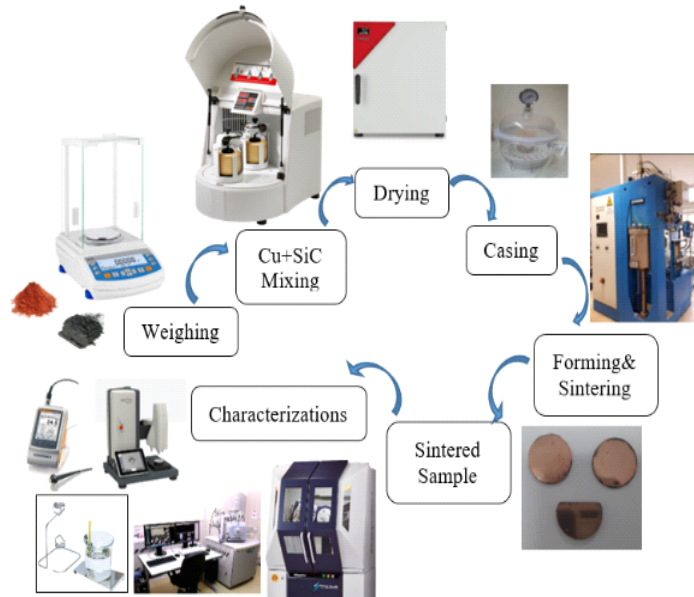


Figure 1. Composite production flow chart and characterization scheme

3. Results and Discussion

3.1. Characterization of Starting Powders

Since the chemistry (content) and physical properties of the starting powders used in the experimental studies affect the material properties and performance, the characterization of the starting powders was carried out first. The XRD analysis of the SiC powders showed that α -SiC as a major phase in the form of 6H, 4H and 15 R polytypes in all samples (Fig. 2.). Each symbol in the SiC structures has a distinct meaning. Both 4H SiC and 6H-SiC represent the hexagonal crystal system, and the difference between them lies in their stacking sequences. In 4H SiC, the layers are stacked in an ABCB array while in 6H-SiC the stacking array is ABABAB. R denotes the family of rhombohedral polytypes, for example, 15R-SiC. Representative SEM images of initial SiC powders with different particle sizes are given in Fig. 3. As seen from the images, SC-1 powder is very fine and average particle size around 1 μm . On the other hand, SC-11 and SC-24 powders are coarse, and the average particle sizes ~ 11 and 24 μm , respectively. The SiC particle shapes are irregular and have sharp edges. Figure 4 a,b revealed particle size distribution graphs of SC-11 and SC-24 powders obtained by laser diffraction method. The results show that SC-11 powder has an average particle size of 11.47 μm (d_{50}) while SC-24 powder has an average particle size of 22.97 μm (d_{50}).

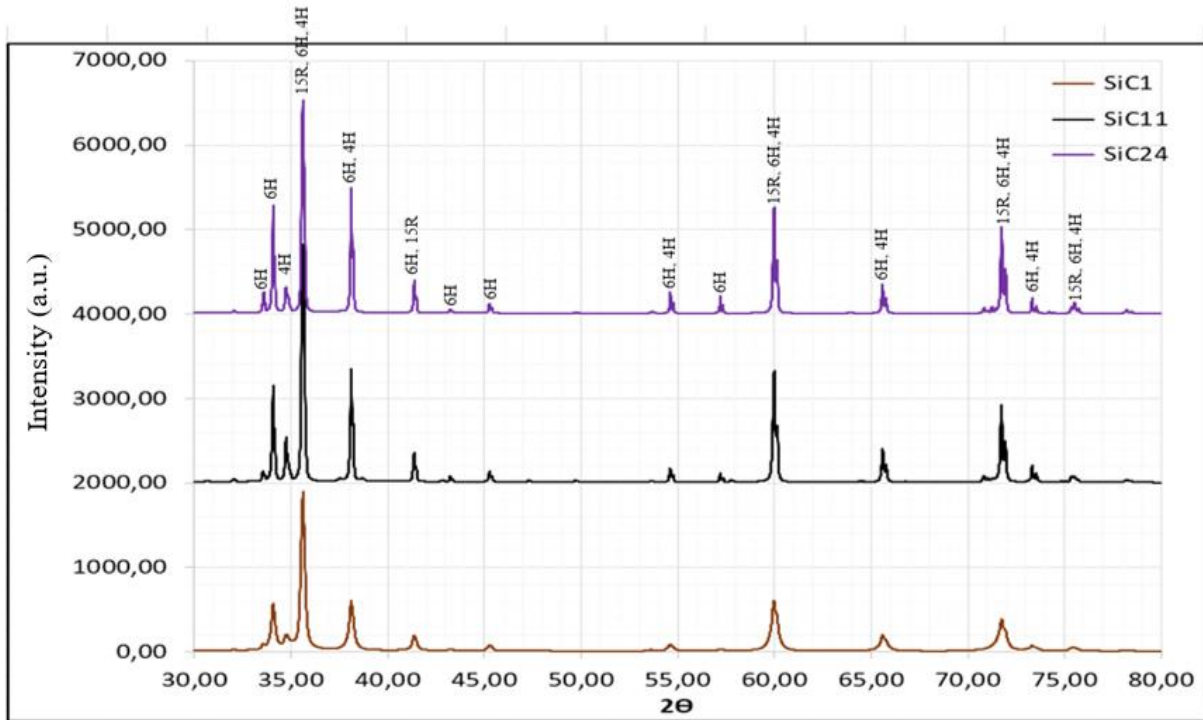


Figure 2. XRD graph of starting SiC powders: α -SiC as a major phase in the form of 6H, 4H and 15 R polytypes

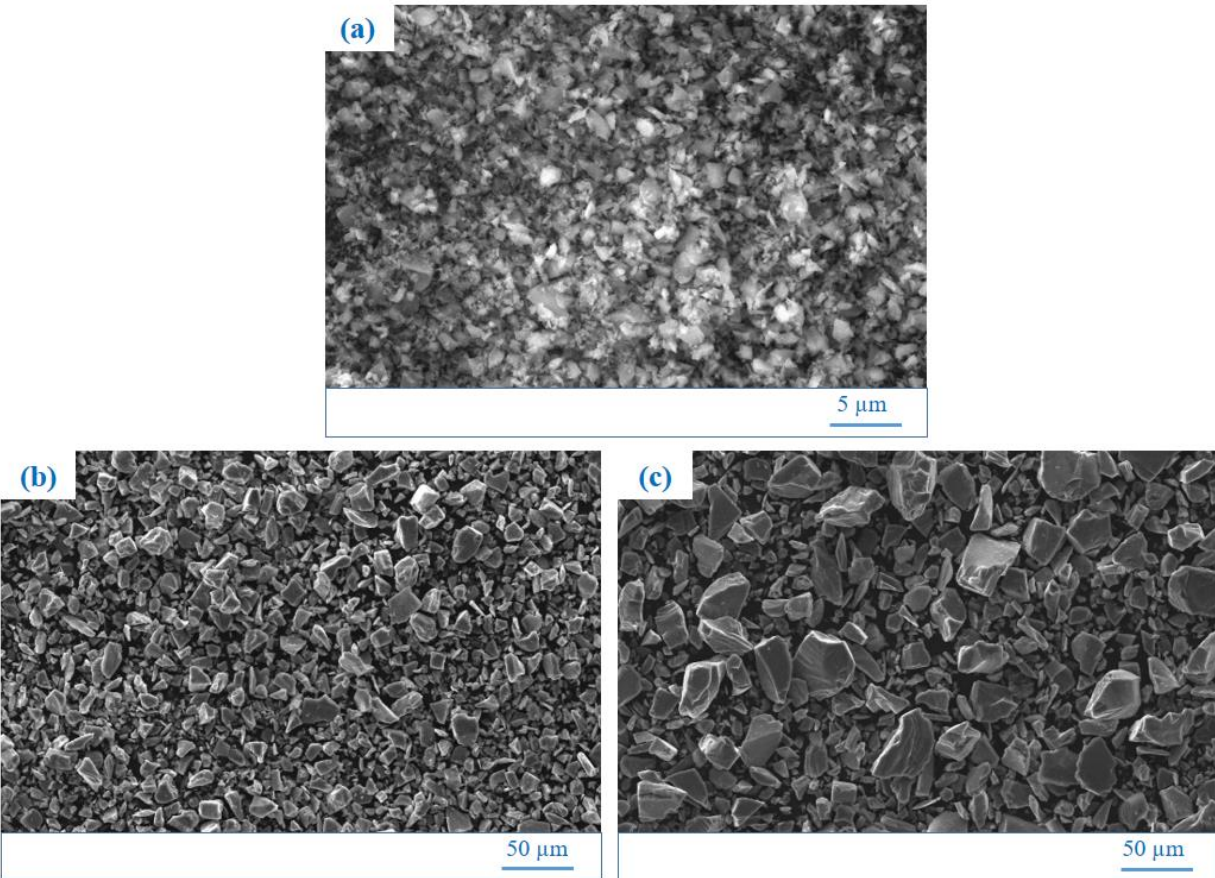
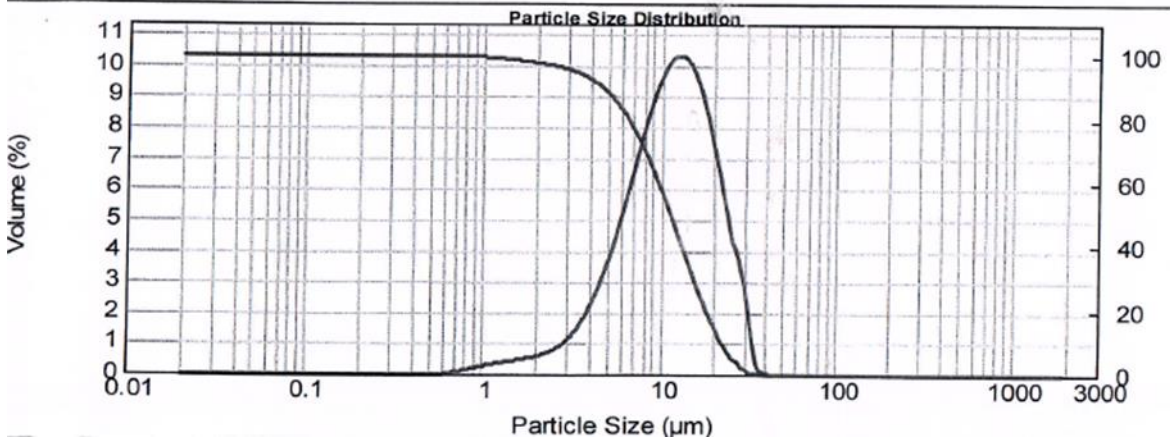


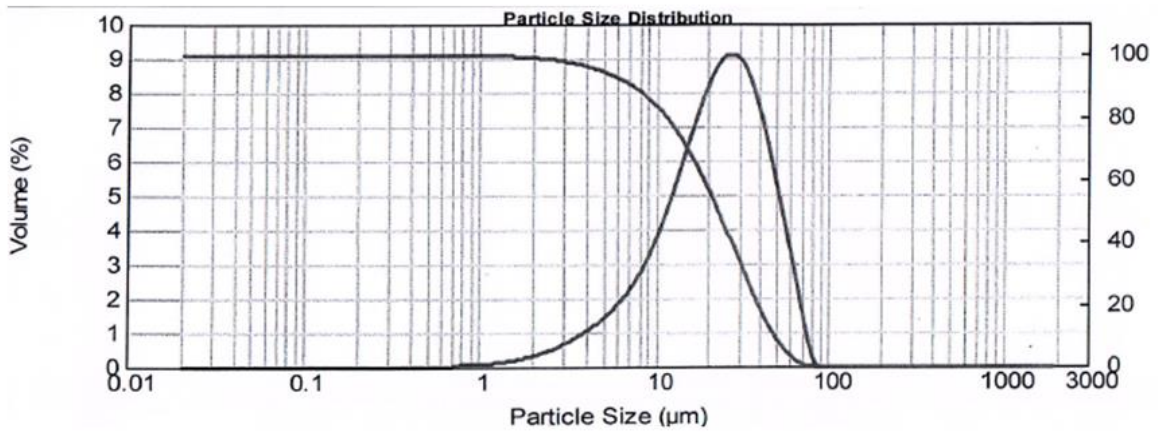
Figure 3. Representative SEM images of starting SiC powders with different particles sizes (a) SC-1 powder, (b) SC-11 powder, (c) SC-24 powder

D 50% : 11.47 μm D 80% : 6.60 μm D 85% : 5.71 μm D 90% : 4.68 μm
 D 94% : 3.60 μm D 95% : 3.25 μm D 0% : 38.24 μm Percentage below 3.50 μm : 5.70%



(a)

D 50% : 22.97 μm D 80% : 11.63 μm D 85% : 9.58 μm D 90% : 7.33 μm
 D 94% : 5.33 μm D 95% : 4.78 μm D 0% : 82.75 μm Percentage below 3.50 μm : 2.81%



(b)

Figure 4. Particle size distribution graphs of (a) SC-11 and (b) SC-24 powders.

The XRD graph of initial Cu powder is given in Fig. 5. The copper powder is pure and just copper phase is available. All the copper particles almost spherical in shape, and diameters change between 5 microns and 60 microns (Fig. 6).

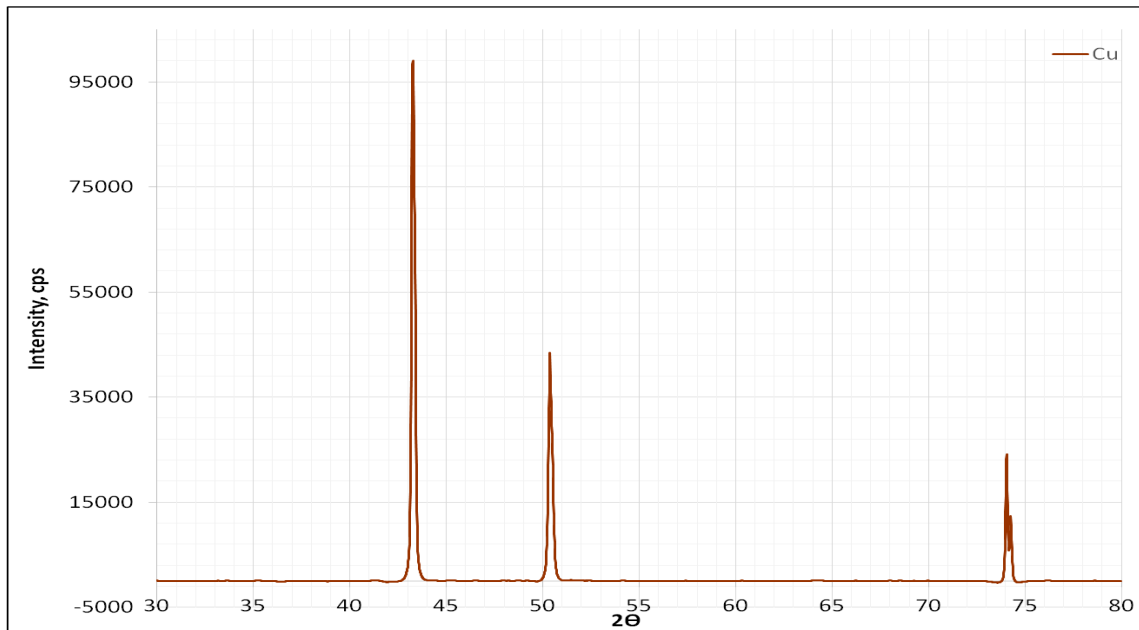


Figure 5. The XRD graph of initial Cu powder used as matrix in the composite production

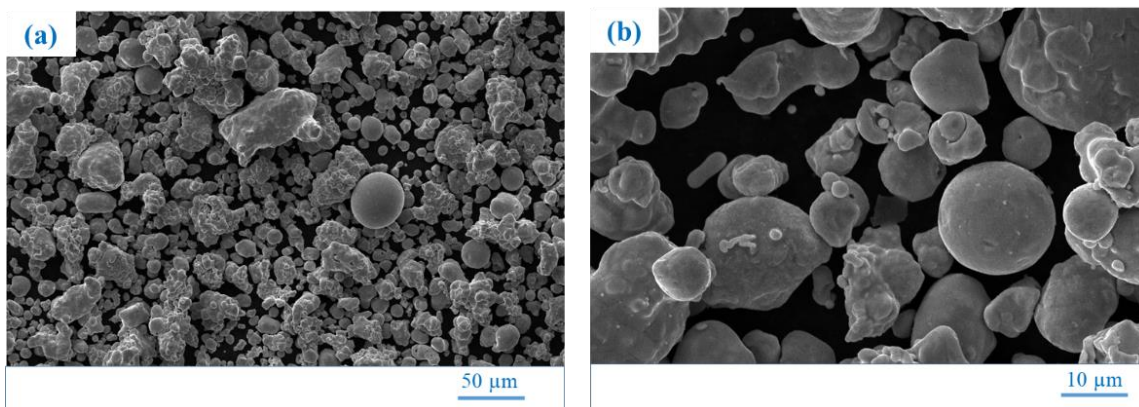


Figure 6. Representative SEM images of initial Cu powder

After the characterization studies on the initial powders, it was seen that Cu and SiC powders did not contain any impurities, Cu powders were approximately 20 μm in size and spherical shaped, SiC powders were 1, 11 and 24 μm average particle sizes and irregular shaped and has sharp corners.

3.2. *Densification, Phase and Microstructural Characterization*

The theoretical density of the produced composites was calculated for the assumed volume contents, using the density of silicon carbide $\rho_{\text{SiC}} = 3.21 \text{ g/cm}^3$ and the density of copper $\rho_{\text{Cu}} = 8.93 \text{ g/cm}^3$ were assumed from suppliers' specifications. The measured bulk density, theoretical density% values of Cu-SiC composites were given in Table 2. The spark plasma sintered Cu-SiC composites show superior densification behavior with high % theoretical density values (min 99.48 and max 99.85). These results approved that the applied sintering regime is appropriate for designed compositions. The use of a finer SiC particle size (1 μm) improved the densification of the composite material only to a

small extent. In all compositions, as the amount of SiC increased and the SiC particle size became coarser, the bulk density and relative density decreased, and the pore amount increased slightly. It was observed that in all examined cases, the composites were effectively sintered and well densified. The total porosity values are very low and change between 0.15% to 0.52%. Chmielewski et al. conducted study on Cu-SiC composites (SiC content vol.% 5-25, SiC particle size 80 μm , Cu powder particle size 40 μm) and they sintered samples with SPS (sintering temperature = 950 $^{\circ}\text{C}$, heating rate = 100 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$, holding time = 10 min, and pressure = 50 MPa) and they found relative densities change between 98.4 to 99.1% (Chmielewski et al., 2017). The general trend is that the temperature increase causes the final density of the consolidated materials to increase. This phenomenon is valid until reaching relatively high final densities. The selection of the appropriate sintering regime is very important for composite samples to reach a high density. Compared to the study of Chmielewski et al., the use of finer Cu and SiC starting powders resulted in completely dense and desirable phase development at a lower temperature (150 degrees less). In our case, the 150 $^{\circ}\text{C}$ increase in SPS temperature may have evaporated the Cu metallic phase and eventually caused a reduction in final density. The obtained density and porosity results showed that the applied sintering regime was very effective for the produced composites. A better densification of composites obtained with A1 sample which has low SiC content and fine SiC particle size (1 μm). As the amount of SiC and particle size increased, a slight decrease in the relative density and a slight increase in the amount of porosity were observed. Since the fine SiC powders are homogeneously dispersed in the copper matrix powders, there was no negative effect on the condensation behavior of the composite. This shows that the applied mixing procedure in the planetary mill is very effective.

Table 2. The bulk density, theoretical density, % theoretical density, % total porosity values of Cu-SiC composites with varying amount of SiC reinforcement and particle sizes, produced by SPS

Sample Code	SiC particle sizes (μm)	SiC content (vol. %)	Theoretical Density (g/cm^3)	Bulk Density (g/cm^3)	%Theoretical Density	%Total Porosity
A1	1	10	8.34	8.32 \pm 0.010	99.85	0.15 \pm 0.011
A2	1	20	7.76	7.74 \pm 0.012	99.74	0.26 \pm 0.012
A3	1	30	7.19	7.17 \pm 0.014	99.69	0.31 \pm 0.012
B1	11	10	8.34	8.31 \pm 0.011	99.71	0.29 \pm 0.013
B2	11	20	7.76	7.73 \pm 0.013	99.64	0.36 \pm 0.014
B3	11	30	7.19	7.16 \pm 0.016	99.56	0.44 \pm 0.014
C1	24	10	8.34	8.31 \pm 0.012	99.64	0.36 \pm 0.012
C2	24	20	7.76	7.73 \pm 0.014	99.58	0.42 \pm 0.013
C3	24	30	7.19	7.15 \pm 0.015	99.48	0.52 \pm 0.014

The microstructural images of Cu-SiC composites after sintering is given in Fig. 7. In the definition of SEM-BSE images, the dark area represents the SiC reinforcement phase, while the gray color represents the Cu matrix. There is almost no porosity in all composite microstructures. These observations coincided with the calculated density and porosity results. As can be seen from the SEM-BSE images, it was observed that the SiC ceramic phase was homogeneously dispersed in the Cu matrix, regardless of the volume fraction. The size and grain boundaries of Cu grains are evident in all A-coded samples and very similar in all SiC content, with a SiC grain size is very fine (1 μm). Cu grains are surrounded by SiC particles. The grain size of Cu grains are changes between 10-70 μm and these grains are relatively equiaxial. In the applied SPS regime, the sintering process of the SiC grains did not occur. The starting powders in SPS samples generally retain their initial dimensions. When the particle size of the starting SiC powder used became coarser (11 and 24 μm), the size of the Cu grains decreased. The microstructures of B and C coded composite samples with the SiC particle size is 11 and 24 μm are similar in terms of homogeneous distribution of SiC grains, Cu grains and porosity, as shown in Fig. 6. In the composites containing 20% and 30% SiC, the ceramic particles led to the thinning of the copper grains. As the amount of SiC increased, the aggregation of SiC grains increased. When fine SiC powder was used (1 μm), the aggregation of SiC grains increased as the amount of SiC increased. As SiC particle size increased at constant additive ratio, aggregation of SiC grains around copper grains decreased as expected (see Fig. 8). Since there is a copper phase between fine SiC grains, the aggregation of SiC grains did not adversely affect the densification behavior of the composite.

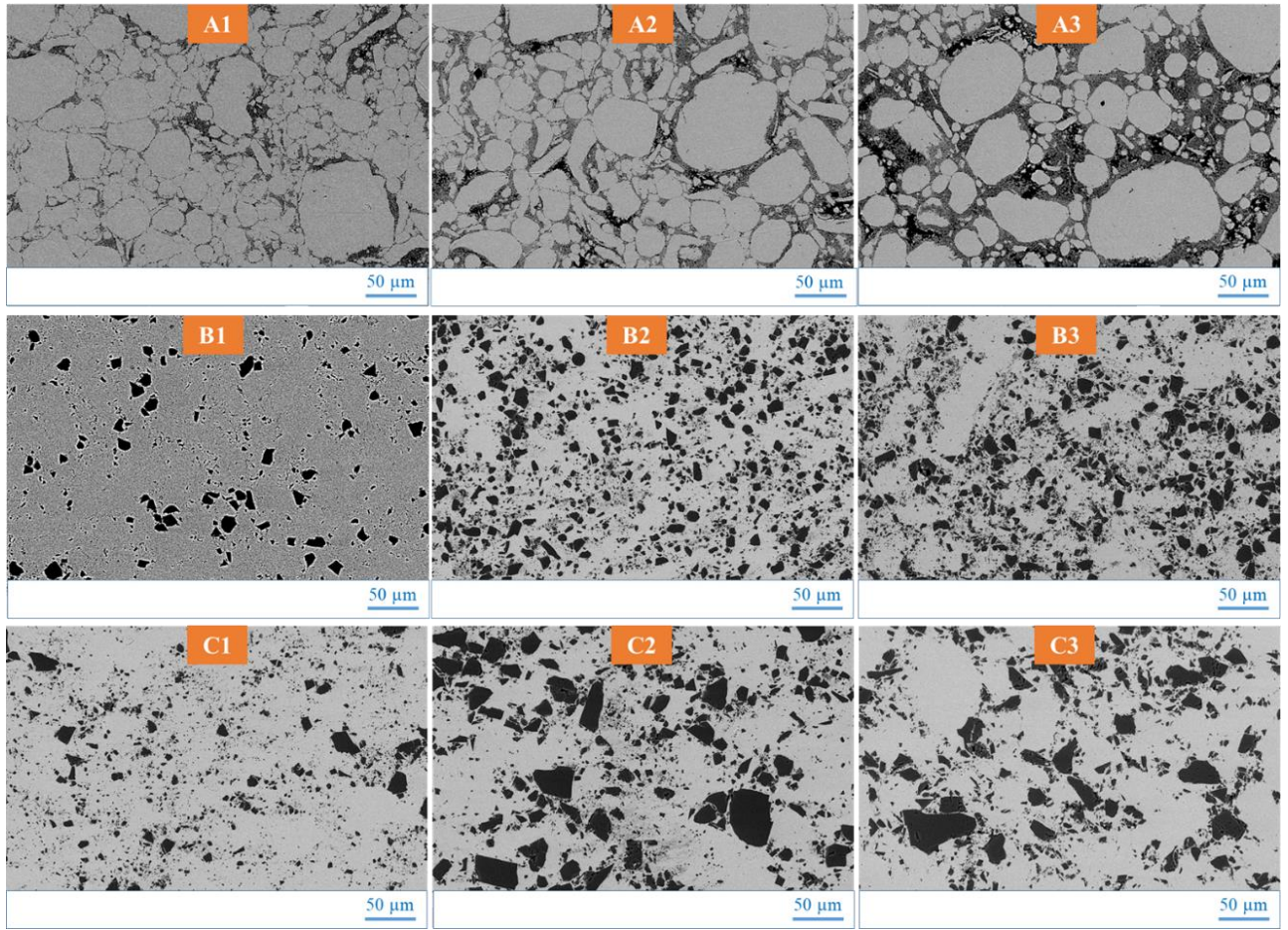


Figure 7. SEM-BSE images of the microstructures of Cu–SiC composites after SPS processing at low magnification (1000 x) with 10%, 20, 30 SiC content

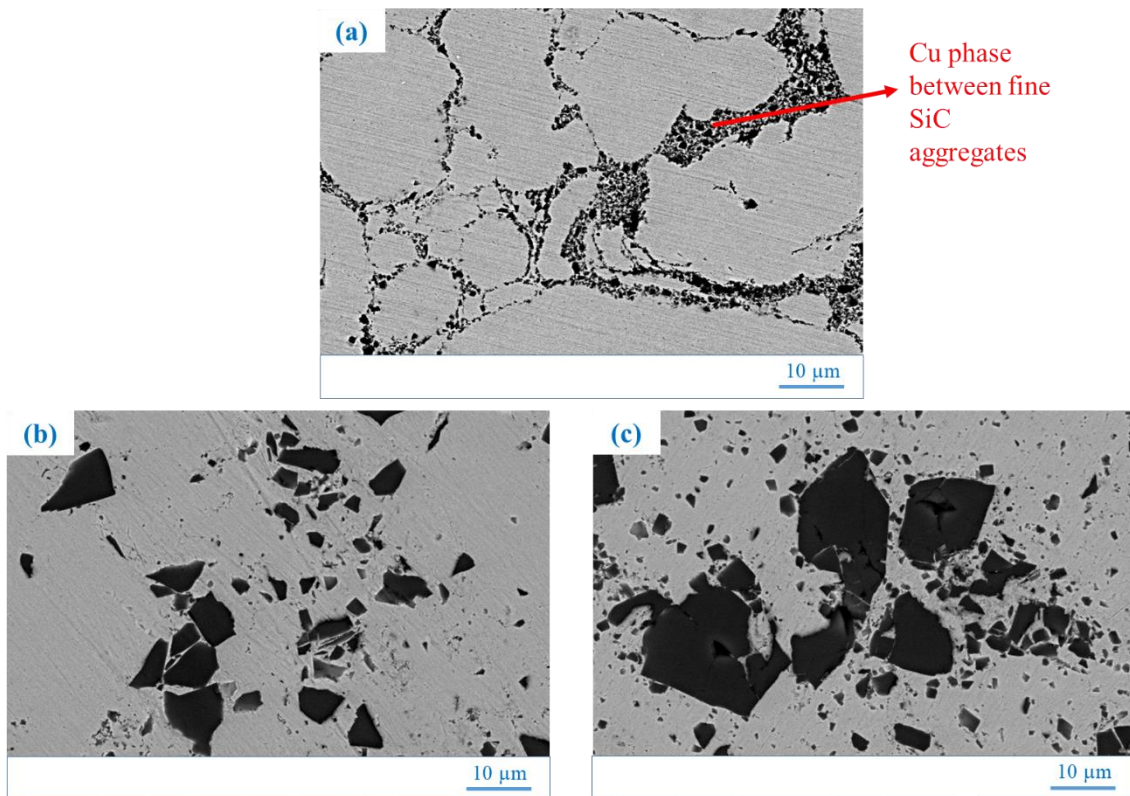


Figure 8. SEM-BSE images of the Cu–SiC composites with 10 vol.% SiC addition after SPS

The detailed SEM-BSE analysis of the matrix/reinforcement interface is given in Fig. 9. There are two broad ways to look at the interface's importance. First, the interface's physical condition and the presence of potential property-changing material flaws at or close to the interface. The chemical condition of the interface is the second consideration, as interactions between the metal matrix and ceramic reinforcements during processing could result in the formation of a new phase. SEM images show that there are no additional phases and defects (porosity, nanocracks, etc.) in the interfacial regions between Cu and SiC grains in all composites during the sintering process, regardless of SiC particle size and amount. The formation of Cu_3Si phase has been reported in the literature as one of the important problems affecting the performance of the material in the production of Cu-SiC composites (Schubert, et al. 2007; Balog, et al. 2010). Cu_3Si phase formation at the Cu matrix SiC phase interphase was not observed in this study. The obtained Cu matrix SiC reinforcement interface images show that the applied sintering regime and other process parameters are convenient and thus effective composite performance can be achieved by this way. From the SEM images at high magnifications, it is clear that no other phase formation takes place between the Cu matrix and the SiC reinforcement and there is a good bonding between Cu and SiC grains. The results of XRD and SEM-EDX analyzes also confirm this situation (see Fig. 10 and 11).

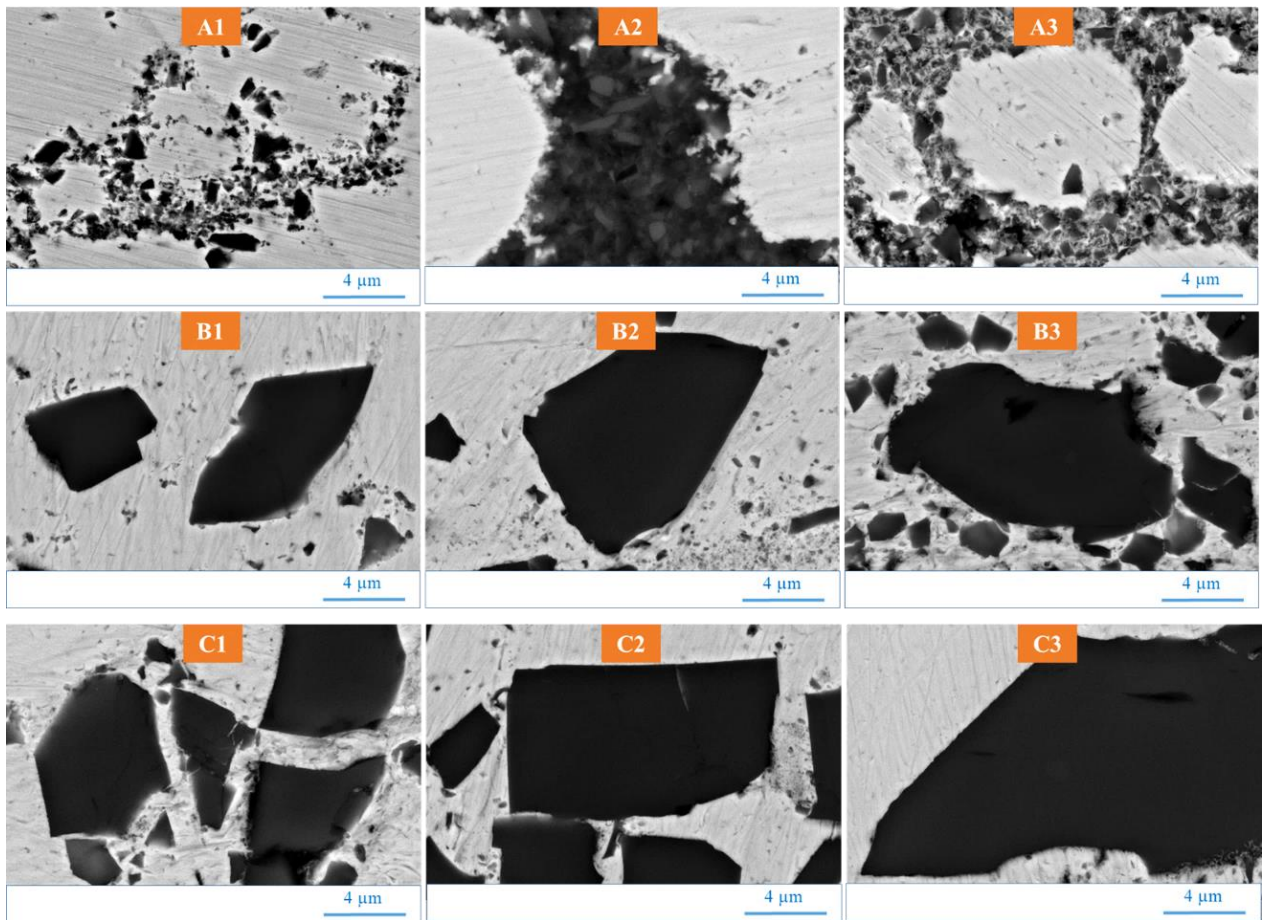


Figure 9. SEM-BSE images of Cu-SiC interface in composites with different SiC content and particle sizes

Additionally, the analytical investigation of elements was carried out by SEM-EDS line analysis. The existence and deploying of elements of the A2 and C2 coded samples are presented in Fig. 10. According to SEM-EDX line analyses at the interphase regions, Si and C elements did not react with the copper matrix. No oxygen was detected at the Cu-SiC interface in the C2 coded composite sample, while very little oxygen was detected in the A2 coded sample due to fine SiC particles. The similar observations were obtained in the study conducted by Celebi et al (Efe, et al. 2012).

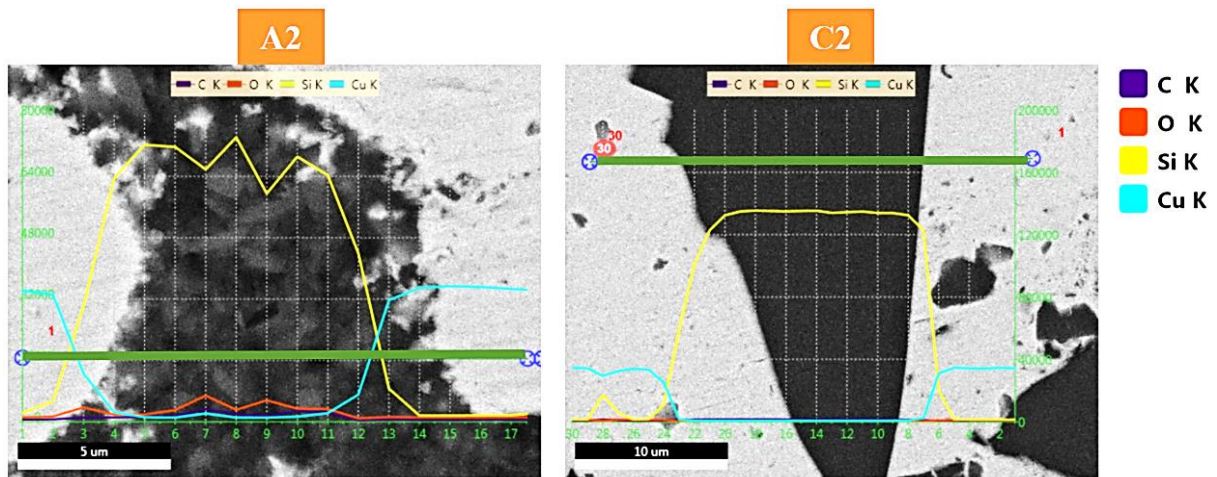


Figure 10. SEM/EDS line analysis of Si-C-Cu-O elements for Cu-SiC composites

The XRD patterns of the all sintered composite samples which have different amount of SiC content and particle sizes are given in Fig. 11. The XRD graphics showed that the all composite samples composed of copper and SiC phases. The formation of any undesirable interphases (Cu_3Si etc.) was not observed, and hence XRD analysis results coincided with the SEM-BSE and SEM-EDX analysis. As SiC content and SiC particle size increased, SiC peak intensity increased in the XRD plot of Cu-SiC composites. The absence of any phase other than Cu and SiC phases in Cu-SiC composites is very crucial in electrical conductivity as well as thermo-mechanical properties. As a summary, the contact zones between the Cu matrix and the SiC reinforcements following SPS show no signs of undesired phases, voids, de-bonding, or cracking.

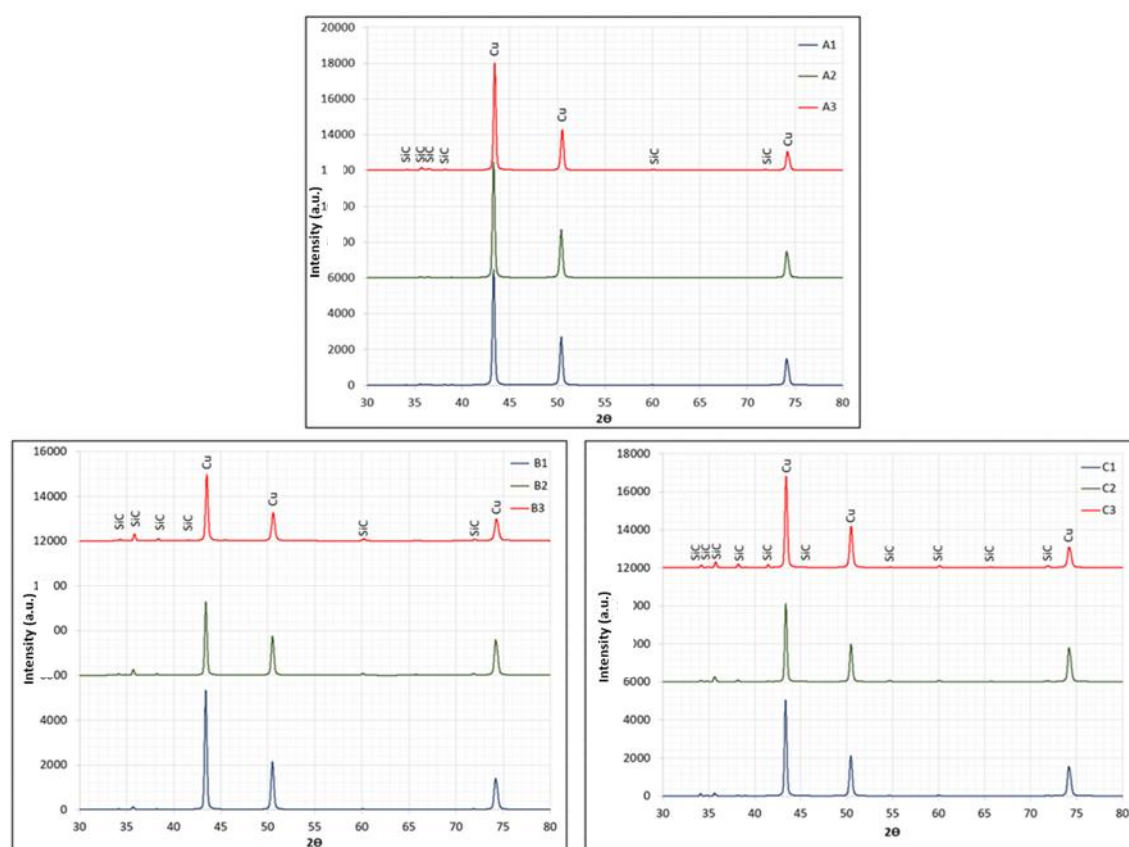


Figure 11. XRD patterns of spark plasma sintered Cu-SiC composites with different SiC content and particle sizes

3.3. Hardness

The use of a rigid ceramic second phases is a very effective method for improving the hardness of a metal matrix. The Vickers microhardness test results of spark plasma sintered Cu matrix composites with different SiC particle sizes and content were given in Fig. 12. It is found that the micro hardness of the pure Cu sample (coded SB) produced with SPS was 110, the hardness value improved significantly with the addition of SiC phase (between 122 and 186). The presence of hard SiC particles increases the hardness of the Cu matrix due to the Orowan strengthening mechanism. SiC

effectively prevents dislocation slippage and gliding, which boosts the overall strength of the metal matrix. On the other hand, when high volume fractions of fine SiC particles are added to the copper matrix, indent is more likely to come into hard SiC particles, resulting in higher hardness values. The second influence on increase in hardness could be dislocation density caused by thermal inconsistency between the Cu matrix and the ceramic reinforcement. These pressures create dislocations at the matrix particle interface, which can accumulate as reinforcement content increases. As well as, when SiC particles hindered grain growth in composite samples, the microstructure was homogenous in terms of grain size, and the hardness values were higher when compared to metal matrix.

When finer SiC grains were used and the amount of SiC increased, the hardness value of the composites increased. This result may be due to the effect of fine grain size (Hall-petch effect) (Abedi, et al. 2022). The results obtained are generally consistent with the behavior of fine-grained materials. With fine particles (small inter-particle spacing), constrained deformation of the ductile matrix limits plastic flow, thus contributing to the hardness and strength. The hard and tightly packed SiC particles, which are homogeneously dispersed around the copper grains, prevent the movement of dislocations. On the other hand, one of the most important factors affecting hardness is relative density and therefore porosity. The applied sintering regime caused effective consolidation of the microstructure, and the densification behavior of all composites was very good. Since Cu-SiC composites have low porosity, their hardness values are high and close to each other.

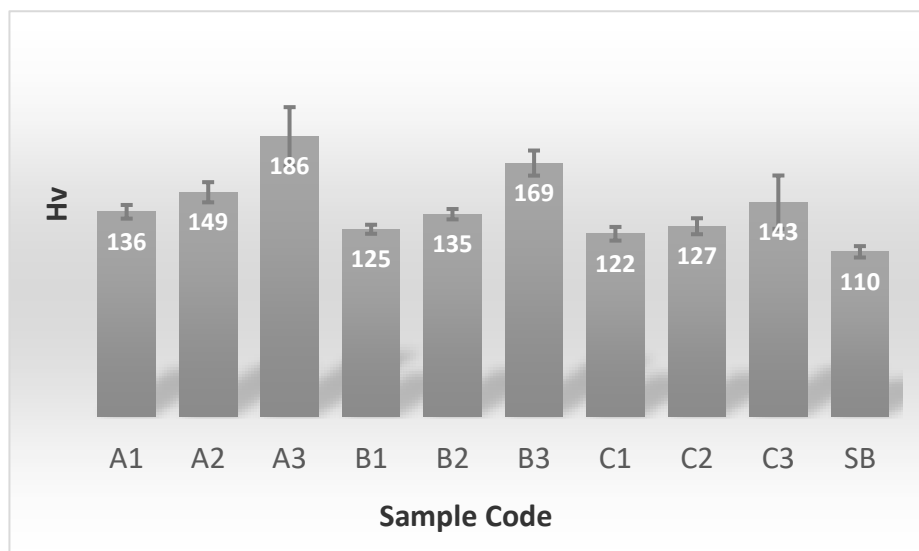


Figure 12. Microhardness test results of Cu-SiC composites

3.4. Electrical conductivity

Electrical conductivity of Cu-SiC composites are affected by electrical conductivity of the materials that make up the composites, microstructural parameters like grain size, shape, porosity, volume fractions and distributions of constituent phases (Moustafa, and Taha, 2021). Regardless of SiC particle size and amount, the relative density values of the produced composites are quite high and the

amount of pores is low. On the other hand, the absence of any phases except Cu and SiC and the strong interfacial bond between Cu-SiC grains affect the electrical conductivity positively. The electrical conductivity results of produced Cu-SiC composites were given in Fig. 13. As the amount of SiC increased in the Cu-SiC composites produced, the electrical conductivity of the composites decreased. SiC grains create a barrier for copper electrons that provide electrical conductivity and cause a decrease in electrical conductivity. The electrical conductivity values of Cu-SiC composites produced using coarse SiC particles are higher than those produced using fine SiC particles. This result is due to the fact that the fine SiC grains surround the Cu grains better and form a barrier. The results obtained are consistent with the studies in the literature (Efe, et al. 2012). As the SiC grain size increases, the SiC grains in the composite structure lose their coupling and act as isolated clusters in a highly conductive phase. In the study, the homogeneous distribution of SiC grains in the copper matrix and the absence of any interphase at the Cu-SiC grain interface and their good bonding ensured that the produced composites had good electrical conductivity. The electrical conductivity values in the 10% SiC added composites were around 66.4 in the fine SiC-grained composites, increased to 76.8 when the SiC grain size increased to 11 μm , and increased to 81.8 when the SiC grain size increased to 22 μm . Similar trend was observed in all SiC ratios.

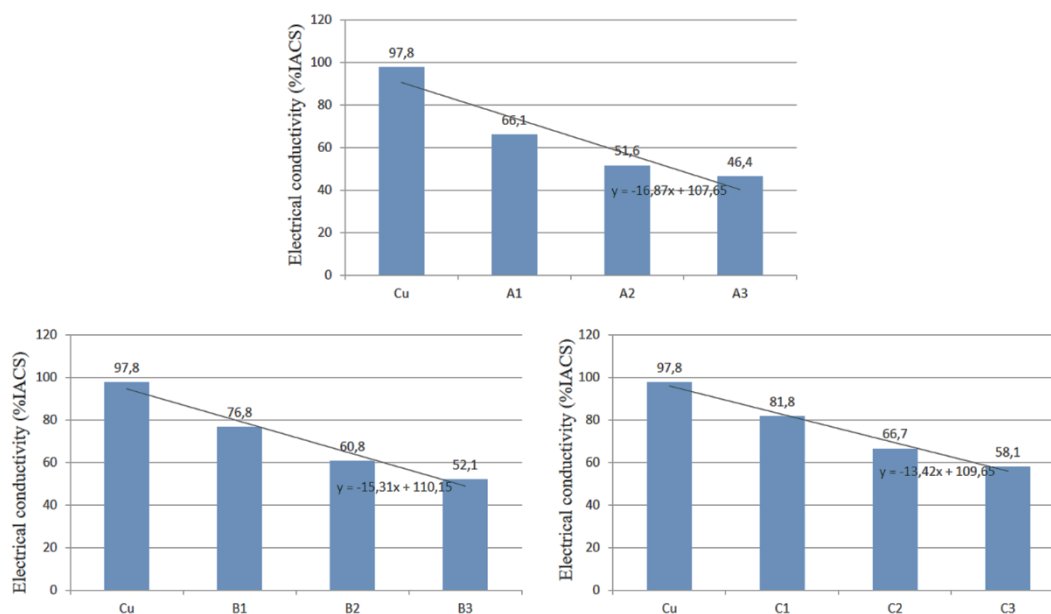


Figure 13. Electrical conductivity of spark plasma sintered Cu-SiC composites

4. Conclusions

In this study, SiC reinforced Cu matrix composites were manufactured using spark plasma sintering to offer quick consolidation while preventing weak interfacial bonding, abnormal grain growth and undesirable phases in the interphase region. Furthermore, the effect of the reinforcement ratio (vol.% 10, 20, 30) and particle sizes (1, 11, 24 μm) on the physico-mechanical (density, hardness) and electrical properties of copper composite materials was intended. Previously reported that, even if Cu-

SiC composites are produced with SPS, the short heating time at maximum temperature does not protect the surface of silicon carbide from negative interactions with the copper matrix and hence undesired phase evolution inevitable. In this conducted study, Cu-SiC composites sintered with SPS and sintering temperature was determined by using thermodynamic data, besides in order to prevent oxidation on the surface of the powders, a composite mixture was prepared by using a short mixing time, a low mixing speed and isopropyl alcohol was used instead of water.

The obtained experimental results revealed that, composites with good Cu-SiC interface bonding, very high relative density (min. 99.48%), low total porosity (0.15-0.52), good microhardness (HV 122-186) and electrical conductivity were developed without the need for extra processing stages (e.g. coating of SiC particles). Regardless of the volume fraction, SEM images demonstrated that the SiC ceramic phase was homogeneously dispersed in the Cu matrix. The hardness value of the composites was effectively improved without significant loss in electrical conductivity when fine SiC grains (1 μm) are utilized, and the amount of SiC is increased. The size of the Cu grains in composite microstructure decreased as the particle size of the starting SiC powder increased (11 and 24 μm). The Cu matrix SiC reinforcement interphase images produced suggest that the applied sintering regime and other process parameters are appropriate, and hence effective composite performance may be accomplished in this manner.

Conflicts of interest

There are no conflicts to declare.

Author contributions

Gökhan Açıkbaz: Conceptualization, Methodology, Validation, Visualization, Resources, Investigation, Interpretation of data, Revised it critically for important intellectual content, Writing - original draft and review; Nurcan Çalış Açıkbaz: Methodology, Validation, Interpretation of data, Revised it critically for important intellectual content, Writing-editing.

Acknowledgements

I would like to thank Erhan Ayas, a member of Eskişehir Technical University Advanced Technology Materials Laboratory, for his support in the production of composites with SPS.

References

- Abedi M., Asadi A., Vorotilo S., Mukasyan AS. A critical review on spark plasma sintering of copper and its alloys. *Journal of Materials Science* 2021; 56: 19739–19766.
- Abedi M., Sovizi S., Azarniya A., Giuntini D., Seraji ME., Hosseini HRM., Mukasyan A. An analytical review on spark plasma sintering of metals and alloys: From processing window,

- phase transformation, and property perspective. *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences* 2022; 1-46.
- Açıkbaş G., Özcan S., Çalış Açıkbaş N. Production and characterization of a hybrid polymer matrix composite. *Polymer Composites* 2018; 39(11): 4080-4093.
- Açıkbaş G. Interfacial and physico-mechanical properties of walnut shell fiber reinforced polyester matrix composites. *Materials Testing* 2018; 60(5): 510-518.
- Akbarpour MR., Alipour S. Wear and friction properties of spark plasma sintered SiC/Cu nanocomposites. *Ceramics International* 2017; 43(16): 13364-13370.
- Balog M., Kováč J., Šatka A., Haško D., Zhang J., Crimp MA., Vávra I. SiC-based cermet with electrically conductive grain boundaries. *Materials Characterization* 2010; 61(4): 420-426.
- Bazarnik P., Nosewicz S., Romelczyk-Baishya B., Chmielewski M., Nędza AS., Maj J., Langdon TG. Effect of spark plasma sintering and high-pressure torsion on the microstructural and mechanical properties of a Cu–SiC composite. *Materials Science and Engineering: A* 2019; 766: 138350.
- Brendel A., Popescu C., Leyens C., Woltersdorf J., Pippel E., Bolt H. SiC-fibre reinforced copper as heat sink material for fusion applications. *Journal of Nuclear Materials* 2004; 329: 804-808.
- Celebi Efe G. F., Altinsoy I., İpek M., Zeytin S., Bindal C. Some properties of Cu-SiC composites produced by powder metallurgy method. *Kovove Materialy* 2011; 49: 131–136.
- Chmielewski M., Pietrzak K., Strojny-Nędza A., Kaszyca K., Zybala R., Bazarnik P., Nosewicz S. Microstructure and thermal properties of Cu-SiC composite materials depending on the sintering technique. *Science of Sintering* 2017; 49(1).
- Chmielewski M., Nosewicz S., Wyszowska E., Kurpaska Ł., Strojny-Nędza A., Piątkowska A., Pietrzak K. Analysis of the micromechanical properties of copper-silicon carbide composites using nanoindentation measurements. *Ceramics International* 2019; 45(7): 9164-9173.
- Dash KB., Ray C., Chaira D. Synthesis and characterization of copper-alumina metal matrix composite by conventional and spark plasma sintering. *Journal of Alloys and Compounds* 2012; 516: 78–84.
- Efe GC., Yener T., Altinsoy I., İpek M., Zeytin S., Bindal C. The effect of sintering temperature on some properties of Cu–SiC composite. *Journal of Alloys and Compounds* 2011; 509(20): 6036-6042.
- Efe GC., İpek M., Zeytin S., Bindal C. An investigation of the effect of SiC particle size on Cu–SiC composites. *Composites Part B: Engineering* 2012; 43(4): 1813-1822.
- Grzonka J., Kruszewski MJ., Rosiński M., Ciupiński Ł., Michalski A., Kurzydłowski, KJ. Interfacial microstructure of copper/diamond composites fabricated via a powder metallurgical route. *Materials Characterization* 2015; 99: 188-194.

- Hu ZY., Zhang ZH., Cheng XW., Wang FC., Zhang YF., Li SL. A review of multi-physical fields induced phenomena and effects in spark plasma sintering: Fundamentals and applications. *Materials and Design* 2020; 191: 108662.
- Kuskov KV., Abedi M., Moskovskikh DO., Serhienko I., Mukasyan AS. Comparison of conventional and flash spark plasma sintering of Cu–Cr pseudo-alloys: Kinetics, structure, properties. *Metals* 2021; 11(1): 141.
- Mallik AK., Reddy KM., Acikbas Calis N., Kara F., Mandal H., Basu D., Basu B. Influence of SiC addition on tribological properties of SiAlON. *Ceramics International* 2011; 37(7): 2495-2504.
- Mallik AK., Acikbas Calis N., Kara F., Mandal H., Basu D. A comparative study of SiAlON ceramics. *Ceramics International* 2012; 38: 5757–5767.
- Mallikarjuna HM., Ramesh CS., Koppad PG., Keshavamurthy R., Sethuram D. Nanoindentation and wear behaviour of copper based hybrid composites reinforced with SiC and MWCNTs synthesized by spark plasma sintering. *Vacuum* 2017; 145: 320-333.
- Moustafa EB., Taha MA. Evaluation of the microstructure, thermal and mechanical properties of Cu/SiC nanocomposites fabricated by mechanical alloying. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials* 2021; 28: 475-486.
- Nair SV., Tien JK., Bates RC. SiC-reinforced aluminium metal matrix composites. *International Materials Reviews* 1985; 30: 275–290.
- Nosewicz S., Romelczyk-Baishya B., Lumelskyj D., Chmielewski M., Bazarnik P., Jarzabek D., Pakieła Z. Experimental and numerical studies of micro-and macromechanical properties of modified copper–silicon carbide composites. *International Journal of Solids and Structures* 2019; 160: 187-200.
- Pelleg J., Ruhr M., Ganor M. Control of the reaction at the fibre-matrix interface in a Cu/SiC metal matrix composite by modifying the matrix with 2.5 wt.% Fe. *Materials Science and Engineering: A* 1996; 212(1):139-148.
- Schubert T., Brendel A., Schmid K., Koeck T., Zieliński W., Weißgärber T., Kieback B. Interfacial design of Cu/SiC composites prepared by powder metallurgy for heat sink applications. *Composites part A: Applied science and Manufacturing* 2007; 38(12): 2398-2403.
- Shabani M., Paydar M. H., Zamiri R., Goodarzi M., Moshksar M. M. Microstructural and sliding wear behavior of SiC-particle reinforced copper matrix composites fabricated by sintering and sinter-forging processes. *Journal of Materials Research and Technology* 2016; 5(1): 5-12.
- Shabani M., Paydar MH., Moshksar MM. Fabrication and densification enhancement of SiC-particulate-reinforced copper matrix composites prepared via the sinter-forging process. *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials* 2014; 21: 934-939.
- Shu KM., Tu GC. The microstructure and the thermal expansion characteristics of Cu/SiCp composites. *Materials Science and Engineering: A* 2003; 349(1-2): 236-247.

- Shu S., Zhang Q., Ihde J., Yuan Q., Dai W., Wu M., Jiang N. Surface modification on copper particles toward graphene reinforced copper matrix composites for electrical engineering application. *Journal of Alloys and Compounds* 2022; 891: 162058.
- Sundberg G., Paul P., Sung C., Vasilos T. Identification and characterization of diffusion barriers for Cu/SiC systems. *Journal of Materials Science* 2005; 40: 3383-3393.
- Suryanarayanan K., Praveen R., Raghuraman S. Silicon carbide reinforced aluminium metal matrix composites for aerospace applications: A literature review. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 2013; 6336–6344.
- Thankachan T., Prakash KS., Kavimani V. Investigating the effects of hybrid reinforcement particles on the microstructural, mechanical and tribological properties of friction stir processed copper surface composites. *Composites Part B Engineering* 2019; 174: 107057.
- Tjong SC., Lau KC. Tribological behaviour of SiC particle-reinforced copper matrix composites. *Materials Letters* 2000; 43(5-6): 274-280.
- Torabi H., Arghavanian R. Investigations on the corrosion resistance and microhardness of Cu–10 Sn/SiC composite manufactured by powder metallurgy process. *Journal of Alloys and Compounds* 2019; 806: 99-105.
- Zhou W., Xu ZM. Casting of SiC reinforced metal matrix composites. *Journal of Materials Processing Technology* 1997; 63: 358–363.

Phylogenetic Analysis of Some Taxa Belonging to the Lamiaceae Family in Bitlis Province Using RAPD-PCR Technique

Sıraç TOPDEMİR^{1*}, Murat KURŞAT², Sedat BOZARI³

¹Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, 25100, Erzurum

²Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 13000, Bitlis

³Muş Alparslan Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, 49250, Muş

¹ <https://orcid.org/0000-0003-4575-9216>

² <https://orcid.org/0000-0002-0861-4213>

³ <https://orcid.org/0000-0001-5265-2236>

*Corresponding author: siract@atauni.edu.tr

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 17.03.2023

Accepted: 22.10.2023

Published online: 11.03.2024

Keywords:

Molecular phylogeny
Taxonomic classification
Bitlis
Lamiaceae
RAPD-PCR

This study examined the relationship between 54 taxa of 21 genera belonging to the family Lamiaceae, which grow naturally in Bitlis province. Genetic similarities between taxa were determined by RAPD-PCR technique. According to the results, the genera *Phlomis* L., *Lamium* L., *Ballota* L., *Stachys* L., and *Sideritis* L. in the subfamily of *Lamioideae* were supported by the morphological systematics, whereas the genera *Marrubium* L. separated from the group. It was observed that taxa belong to the genera *Nepeta* L., *Lallemantia* Fisch. & C.A. Mey, *Melissa* L., *Prunella* L., *Origanum* L., *Satureja* L., *Clinopodium* L., *Cyclotrichium* (Boiss.) Manden. & Scheng., *Mentha* L., and *Salvia* L. from the subfamily *Nepeteoideae* supported the morphological system, but *Ziziphora clinopodioides* Lam. taxa showed difference. According to the similarity matrix, the similarity was found mostly between *Clinopodium vulgare* L. subsp. *arundanum* (Boiss.) Nyman and *Clinopodium graveolens* subsp. *rotundifolium* (Pers.) Govaerts with the rate of 0.955 and between *Salvia verticillata* L. subsp. *verticillata* and *Salvia verticillata* subsp. *amasiaca* (Frey & Bornm.) Bornm. with the rate of 0.934.

Bitlis İli Lamiaceae Familyasına Ait Bazı Taksonların RAPD-PCR Tekniği Kullanılarak Filogenetik Analizi

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 17.03.2023

Kabul tarihi: 22.10.2023

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Moleküler filogeni
Taksonomik sınıflandırma
Bitlis
Lamiaceae
RAPD-PCR

ÖZ

Bu çalışmada, Bitlis ilinde doğal olarak yetişen Lamiaceae familyasına ait 21 cinse ait 54 takson arasındaki ilişki incelenmiştir. Taksonlar arasındaki genetik benzerlikler RAPD-PCR tekniği ile belirlendi. Elde edilen sonuçlara göre, *Lamioideae* alt familyasında yer alan *Phlomis* L., *Lamium* L., *Ballota* L., *Stachys* L. ve *Sideritis* L. cinslerinin morfolojik sistematiği ile desteklendiği; *Marrubium* L. cinsinin ise gruptan ayrıldığı belirlendi. *Nepeteoideae* alt familyasından *Nepeta* L., *Lallemantia* Fisch. & C.A. Mey, *Melissa* L., *Prunella* L., *Origanum* L., *Satureja* L., *Clinopodium* L., *Cyclotrichium* (Boiss.) Manden. & Scheng., *Mentha* L. ve *Salvia* L. cinsine ait taksonların morfolojik sistemi desteklediği, ancak *Ziziphora clinopodioides* Lam. taksonlarının farklılık gösterdiği gözlemlendi. Benzerlik matrisine göre benzerlik en çok 0.955 oranı ile *Clinopodium vulgare* L. subsp. *arundanum* (Boiss.) Nyman ve *Clinopodium graveolens* subsp. *rotundifolium* (Pers.) Govaerts ve 0.934 oranı ile *Salvia verticillata* L. subsp. *verticillata* ve *Salvia verticillata* subsp. *amasiaca* (Frey & Bornm.) Bornm. ile belirlendi.

To Cite: Topdemir S., Kürşat M., Bozarı S. Phylogenetic Analysis of Some Taxa Belonging To The Family Lamiaceae in Bitlis Province Using RAPD-PCR Technique. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(2): 563-580.

Introduction

Plants that have existed since the beginning of life on earth have always been a matter of curiosity throughout human history and have been used for food, medicine, shelter, weapons, etc. used for the purposes. Plant species, which are also abundant in our country, are actively used in many areas of life (Güner and Ekim, 2014).

Türkiye is located at the intersection point of three phytogeographical regions: Europe-Siberia, Mediterranean, and Iran-Turan. Lamiaceae is distributed in a wide variety of habitats, from Hawaii to Northeast Asia, from the Himalayas to the Arctic, to Australia, Africa, and the Americas (Erdem et al., 2017, Zaman et al., 2022). The family Lamiaceae, which is one of the most important families in this rich geography and has 46 genera and more than 725 species in Türkiye, has spread around the world with approximately 250 genera and 7825 taxa (Harley et al., 2004, Jamzad, 2013, Rattray and Wyk, 2021; Elmas et al., 2021).

The plant taxa belonging to the Lamiaceae family are important medicinally and commercially because of their antitumor, antioxidant, antimicrobial, and anti-inflammatory effects and since they have an important place in the floristic diversity of Türkiye and are subject of interest by ethnobotanists (Luo et al., 2019). *Lavandula* L., *Melissa* L., *Mentha* L., *Origanum* L., *Rosmarinus* L., *Salvia* L., *Satureja* L., and *Thymus* L. used as curatives against gastrointestinal disorders, hypoglycemia, respiratory disorders, and as cardiogenic and antihypertensives (Khoury et al., 2016; Rattray and Wyk, 2021).

The classification of plants was done based on morphological observations until recently. Nowadays, taxonomists are more interested to separate plant species based on molecular systematics, which give more precise results and aid morphological diagnosis with precise convenience in classification.

Plant phylogeny has gained significant momentum, especially in the last few years. These developments have played an essential role in determining kinship, taxonomic classification, and genetic diversity especially, among plant species and populations.

There are problems in the morphological and biochemical classification of plants that are phenotypically close to each other but genotypically distant. For this reason, some DNA markers have been widely applied to analyze plant genetic diversity, detect genetic modification, and determine species classification (Bui et al., 2022). One of the techniques used for this purpose is the RAPD-PCR technique.

In this study, it was aimed to investigate the phylogenetic relationship of 54 taxa belonging to the Lamiaceae family in Bitlis Province with RAPD-PCR technique.

Material and Method

Table 1. Taxa belonging to Lamiaceae collected in Bitlis Province

Taxa	Locality	Voucher and Specimen code
<i>Ajuga chamaepitys</i> (L.) Schreb. subsp. <i>chia</i> (Schreb.) Arcang.	Bitlis: 4 km after from Küçükusu, Roadside, Slopes, 1750 m, 10.06.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1016
<i>Teucrium orientale</i> L. var. <i>glabrescens</i> Hausskn. ex Bornm.	Bitlis: Northern slopes of Mount Kambos, 1800-1950 m, 18.07.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1048
<i>Teucrium chamaedrys</i> L. subsp. <i>sinuatum</i> (Celak.) Rech.f.	Bitlis: Northern slopes of Mount Kambos, 1800-1950 m, 03.07.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1031
<i>Teucrium polium</i> L. subsp. <i>polium</i> L.	Bitlis: Northern slopes of Mount Kambos, 1800-1950 m, 03.07.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1030
<i>Scutellaria albida</i> L. subsp. <i>condensata</i> (RECH. FIL.) EDMONDSON	Bitlis: Northern slopes of Mount Kambos, 1800-1950 m, 12.06.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1017
<i>Scutellaria orientalis</i> L. subsp. <i>orientalis</i> L.	Bitlis: Ağaçköprü village, 1350-1450 m, 14.07.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1044
<i>Phlomis lanceolata</i> BOISS. ET HOHEN.	Bitlis: Between Tatvan and Hizan, 4 km after from Küçükusu, Roadside, Slopes, 1750 m, 10.06.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1015
<i>Phlomis kurdica</i> RECH. FIL.	Bitlis: Northern slopes of Mount Kambos, 1750 m, 03.07.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1032
<i>Lamium garganicum</i> L. subsp. <i>striatum</i> (Sm.) Hayek	Bitlis: Eastern Slope of Kambos Mountain, Rocky, 1900 m, 23.04.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1001
<i>Lamium macrodon</i> BOISS. ET HUET	Bitlis: South of Kambos Mountain, Slopes, Oak, 1650 m, 15.03.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1000
<i>Lamium album</i> L.	Bitlis. Bitlis Eren University Campus, 1950 m, 10.05.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1003
<i>Ballota nigra</i> L. subsp. <i>kurdica</i> P.H.Davis	Bitlis: Tatvan, Hanelma village and its surroundings, 1750 m, 14.06.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1024
<i>Marrubium parviflorum</i> FISCH. ET MEY. subsp. <i>parviflorum</i> FISCH. ET MEY.	Bitlis: Between Tatvan and Hizan, 4 km after from Küçükusu, Roadside, Slopes, 1750 m, 11.07.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1043
<i>Marrubium astracanicum</i> JACQ.	Bitlis: North slope of Kambos Mountain, 1850 m, 12.06.2013	M. Kuşat & S. Topdemir 1018
<i>Sideritis vulcanica</i> HUB.-MOR.	Bitlis: North slope of Kambos Mountain, 1800-1950 m, 12.06.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1019
<i>Stachys balansae</i> BOISS. ET KOTSCHY	Bitlis: North slope of Kambos Mountain, in the creek, 1850 m, 12.06.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1020
<i>Stachys spectabilis</i> CHOISY EX DC.	Bitlis: North slope of Kambos Mountain, 1800-1950 m, 12.06.2014	M. Kuşat & S. Topdemir, 1021
<i>Stachys megalodonta</i> HAUSSKN. ET BORNM. EX P. H. DAVIS subsp. <i>mardinensis</i> BHATTACHARJEE	Bitlis: North slope of Kambos Mountain, 1750 m, 14.06.2014	M. Kuşat & S. Topdemir, 1023
<i>Stachys iberica</i> BIEB subsp. <i>stenostachya</i> (BOISS.) RECH. FIL.	Bitlis: Bitlis Eren University Campus, 1950 m, 04.07.2014	M. Kuşat & S. Topdemir, 1038
<i>Stachys iberica</i> BIEB subsp. <i>georgica</i> RECH. FIL.	Bitlis: North slope of Kambos Mountain, 1850 m, 24.06.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1028
<i>Stachys annua</i> (L.) L. subsp. <i>annua</i> (L.) L. var. <i>lycaonica</i> BHATTACHARJEE	Bitlis: Ağaçköprü village, 1350-1450 m, 25.05.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1007
<i>Stachys lavandulifolia</i> VAHL.	Bitlis: Bitlis Eren University Campus, 1850-1950 m, 17.07.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1046
<i>Melissa officinalis</i> L. subsp. <i>officinalis</i> L.	Bitlis: Ağaçköprü village, 1350-1450 m, 18.07.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1047
<i>Nepeta italica</i> L.	Bitlis: South of Mount Kambos, 1240-1650 m 06.06.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1011
<i>Nepeta nuda</i> L. subsp. <i>albiflora</i> (BOISS.) GAMS	Bitlis: Bitlis Eren University Campus, 2000 m, 17.06.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1013
<i>Nepeta trachonitica</i> POST	Bitlis: South of Mount Kambos, 1650 m, 28.05.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1009
<i>Nepeta macrosiphon</i> BOISS.	Bitlis: Northern slopes of Mount Kambos, Streamside, 1800 m, 08.07.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1041
<i>Nepeta transcaucasica</i> GROSSH.	Bitlis: Nemrut Crater Lake road, Serinbayır	M. Kuşat & S.

	village and its surroundings, 2080 m, 30.05.2014	Topdemir 1010
<i>Lallemantia canescens</i> (L.) FISCH. ET MEY.	Bitlis: Nemrut Crater Lake road-Between Ahlat, roadside, step, 2380 m, 14.07.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1045
<i>Lallemantia peltata</i> (L.) FISCH. ET MEY.	Bitlis: Bitlis Eren University Campus, 1950 m, 27.05.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1008
<i>Prunella vulgaris</i> L.	Bitlis: Ağačköprü village, 1450 m, 18.07.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1042
<i>Origanum acutidens</i> (HAND.-MAZZ.) IETSWAART	Bitlis: Ağačköprü village and streamside, 1400 m, 26.07.2013	M. Kuşat & S. Topdemir 1052
<i>Origanum vulgare</i> L. subsp. <i>gracile</i> (C. KOCH) IETSWAART	Bitlis: Ağačköprü village, 1450 m, 18.07.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1051
<i>Satureja hortensis</i> L.	Bitlis: Tatvan-Ahlat highway, Adabağ village and its surroundings, 1900 m, 22.09.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1053
<i>Clinopodium vulgare</i> L. subsp. <i>arundanum</i> (BOISS.) NYMAN	Bitlis: East of Mount Kambos, 1400-1600 m, 18.06.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1027
<i>Clinopodium graveolens</i> (M.Bieb.) Kuntze subsp. <i>rotundifolium</i> (Pers.) Govaerts	Bitlis: Bitlis Eren University Campus, 1950 m, 06.06.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1012
<i>Cyclotrichium glabrescens</i> (BOISS. ET KOTSCHY EX RECH. FIL.) LEBLEBİCİ	Bitlis: Northern slopes of Mount Kambos, rocky, 1950 m, 07.07.2014	M. Kuşat & S. Topdemir, 1039
<i>Thymus kotschyanus</i> BOISS. ET HOHEN.	Bitlis: Bitlis Eren University Campus, 1950 m, 04.07.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1036
<i>Mentha longifolia</i> (L.) HUDSON subsp. <i>typhoides</i> (BRIQ.) HARLEY	Bitlis: Bitlis Eren University Campus, 1950 m, 04.07.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1037
<i>Ziziphora capitata</i> L.	Bitlis: Bitlis Eren University Campus, 1950 m, 17.05.2015	M. Kuşat & S. Topdemir 1006
<i>Ziziphora clinopodioides</i> LAM.	Bitlis: Bitlis Eren University Campus, 1850 m, 08.07.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1040
<i>Salvia macrochlamys</i> BOISS. ET KOTSCHY	Bitlis: East of Mount Kambos, 1650 m, 18.06.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1025
<i>Salvia trichoclada</i> BENTHAM	Bitlis: South of Mount Kambos, 1750 m, 15.05.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1004
<i>Salvia multicaulis</i> VAHL.	Bitlis: East slope of Kambos Mountain, 1550 m, 23.04.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1002
<i>Salvia sclarea</i> L.	Bitlis: Exit of Bitlis, Industrial Environment, 1550 m, 15.07.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1049
<i>Salvia frigida</i> BOISS.	Bitlis: Bitlis Eren University Campus, 1850-1950 m, 15.05.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1005
<i>Salvia pocolata</i> NAB.	Bitlis: South of Mount Kambos, 1650 m, 17.06.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1026
<i>Salvia odontochlamys</i> HEDGE	Bitlis: Northern slopes of Mount Kambos, 1800-1950 m, 03.07.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1033
<i>Salvia virgata</i> JACQ.	Bitlis: Ağačköprü village and streamside, 1350-1450 m, 26.07.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1050
<i>Salvia nemorosa</i> L.	Bitlis: Güroymak, 1250 m, 08.06.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1022
<i>Salvia verticillata</i> L. subsp. <i>verticillata</i> L.	Bitlis: Northern slopes of Mount Kambos, 1800-1950 m, 03.07.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1034
<i>Salvia verticillata</i> L. subsp. <i>amasiaca</i> (FREYN ET BORNM.) BORNM.	Bitlis: Northern slopes of Mount Kambos, 1800-1950 m, 03.07.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1035
<i>Salvia candidissima</i> VAHL. subsp. <i>candidissima</i> VAHL.	Bitlis: Between Tatvan and Hizan, 4 km after from Küçükusu, Roadside, Slopes, 1750 m, 10.06.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1014
<i>Salvia limbata</i> C. A. MEYER	Bitlis: Ahlat, Seljuk Cemetery and Surroundings, 1650 m, 25.06.2014	M. Kuşat & S. Topdemir 1029

Plant samples used in the study

As the study materials, 21 genera of the family Lamiaceae grew in Bitlis Province and 54 taxa belonging to these genera were collected in vegetation periods between 2014-2015. Nine volumes of

the work titled “Flora of Turkey and the East Aegean Island’s (Davis, 1965-1985), Flora of Turkey and the East Aegean Island’s Supply. Vol: 10 vol. (Davis, 1988) Flora of Turkey and the East Aegean Island. Vol: 11 (Güner et al., 2000) were used for identification of the plants. The voucher samples are preserved in the Herbarium of Bitlis Eren University (Table 1).

DNA isolation

Fresh samples were crushed in liquid nitrogen to break down the cell wall and isolate total genomic DNA (nuclear and chloroplast DNA). This isolation step is essential for obtaining clean and pure DNA (Bozari et al., 2014). The isolation process was performed with the Geneaid DNA Isolation Kit.

RAPD-PCR procedures

The samples were screened for RAPD variation using the standard supplied 10-base operon primers: For a master mixture, pure water (880 µL), 10xbuffer (150 µL), deoxynucleoside triphosphates (30 µL), magnesium chloride (60 µL), and Taq polymerase (25 µL) were prepared. The PCR samples contained a total of 30 µL including 24 µL of the master mixture, 3 µL of primer, and 3 µL of DNA. Fifty oligonucleotide primers were screened, and among them, 9 primers were selected and used for further studies. Sequences (5’→3’) from primers 1 to 9 utilized were GGACTGGAGT (OPL-1), CAGGCCCTTC (OPL-2), AGGTGACCGT (OPL-3), CCCGGATGGT (OPL-4), GTGTGCCCCA (OPL-5), GTCGCCGTCA (OPL-6), CAGCACCAGG (OPL-7), CCGCCTAGTC (OPL-8), and GGTCCTGAC (OPL-9), respectively (Morden and Loeffler, 1999).

The thermal cycle was prepared as follows: 4 min. at 94°C; 40 cycles (for each step); 45 sec. at 94°C, 45 sec. at 36°C, 60 sec. at 72°C; 1 cycle (for each step); 8 min. at 72°C, and then brought down to 4°C.

Data analysis

Genetic analysis was performed on the photos taken with the gel imaging system. The presence (1) and the absence (0) of the bands were counted. After the data matrix was transferred to the computer environment, it was analyzed by using SPSS IBM Statistic Version 22 program. Binary-Jaccard criteria were chosen as the measure to calculate. Since this analysis is based on the determination of proximity and genetic similarity between species, this option is preferred in the present study.

Results and Discussion

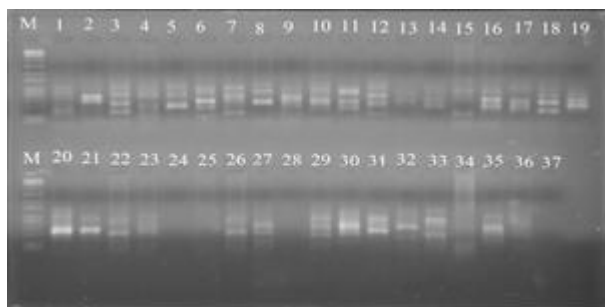


Figure 1. Gel image of OPL 1 primer.

M: Marker, 1: *A. chamaepitys* subsp. *chia*, 2: *T. orientale* var. *glabrescens*, 3: *T. chamaedrys* subsp. *sinuatum*, 4: *T. polium* subsp. *polium*, 5: *S. albida* subsp. *condensata*, 6: *S. orientalis* subsp. *orientalis*, 7: *P. lanceolata*, 8: *P. kurdica*, 9: *L. garganicum* subsp. *striatum* var. *striatum*, 10: *L. macrodon*, 11: *L. album*, 12: *B. nigra* subsp. *kurdica*, 13: *M. parviflorum* subsp. *parviflorum*, 14: *M. astracanicum*, 15: *S. vulcanica*, 16: *S. balansae*, 17: *S. spectabilis*, 18: *S. megalodonta* subsp. *mardinensis*, 19: *S. iberica* subsp. *stenostachya*, 20: *S. iberica* subsp. *georgica*, 21: *S. annua* subsp. *annua* var. *lycaonica*, 22: *S. lavandulifolia*, 23: *M. officinalis* subsp. *officinalis*, 24: *N. italica*, 25: *N. nuda* subsp. *albiflora*, 26: *N. trachonitica*, 27: *N. macrosiphon*, 28: *N. transcaucasica*, 29: *L. canescens*, 30: *L. peltata*, 31: *P. vulgaris*, 32: *O. acutidens*, 33: *O. vulgare* subsp. *gracile*, 34: *S. hortensis*, 35: *C. vulgare* subsp. *arundanum*, 36: *C. graveolens* subsp. *rotundifolium*, 37: *C. glabrescens*.

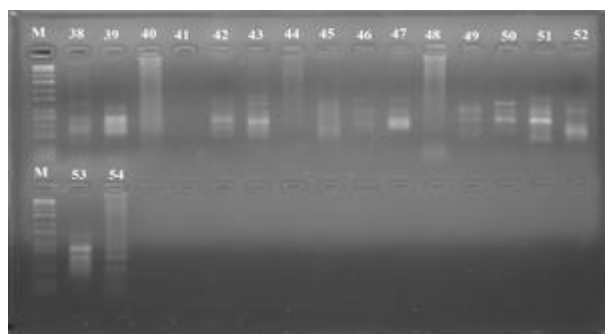


Figure 2. Gel image of OPL 1 primer. (Continued)

M: Marker, 38: *T. kotschyanus*, 39: *M. longifolia* subsp. *typhoides*, 40: *Z. capitata*, 41: *Z. clinopodioides*, 42: *S. macrochlamys*, 43: *S. trichoclada*, 44: *S. multicaulis*, 45: *S. sclarea*, 46: *S. frigida*, 47: *S. poculata*, 48: *S. odontochlamys*, 49: *S. virgata*, 50: *S. nemorosa*, 51: *S. verticillata* subsp. *verticillata*, 52: *S. verticillata* subsp. *amasiaca*, 53: *S. candidissima* subsp. *candidissima*, 54: *Salvia limbata*.

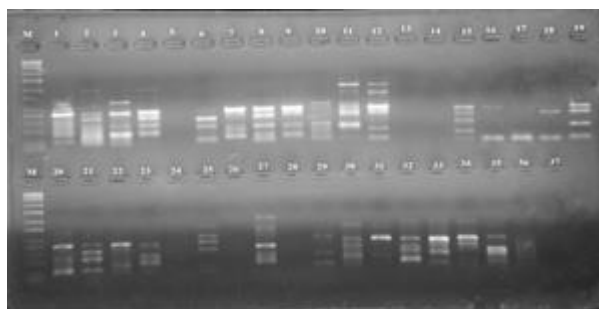


Figure 3. Gel image of OPL 2 primer.

M: Marker, 1: *A. chamaepitys* subsp. *chia*, 2: *T. orientale* var. *glabrescens*, 3: *T. chamaedrys* subsp. *sinuatum*, 4: *T. polium* subsp. *polium*, 5: *S. albida* subsp. *condensata*, 6: *S. orientalis* subsp. *orientalis*, 7: *P. lanceolata*, 8: *P. kurdica*, 9: *L. garganicum* subsp. *striatum* var. *striatum*, 10: *L. macrodon*, 11: *L. album*, 12: *B. nigra* subsp. *kurdica*, 13: *M. parviflorum* subsp. *parviflorum*, 14: *M. astracanicum*, 15: *S. vulcanica*, 16: *S. balansae*, 17: *S. spectabilis*, 18: *S. megalodonta* subsp. *mardinensis*, 19: *S. iberica* subsp. *stenostachya*, 20: *S. iberica* subsp. *georgica*, 21: *S. annua* subsp. *annua* var. *lycaonica*, 22: *S. lavandulifolia*, 23: *M. officinalis* subsp. *officinalis*, 24: *N. italica*, 25: *N. nuda* subsp. *albiflora*, 26: *N. trachonitica*, 27: *N. macrosiphon*, 28: *N. transcaucasica*, 29: *L. canescens*, 30: *L. peltata*, 31: *P. vulgaris*, 32: *O. acutidens*, 33: *O. vulgare* subsp. *gracile*, 34: *S. hortensis*, 35: *C. vulgare* subsp. *arundanum*, 36: *C. graveolens* subsp. *rotundifolium*, 37: *C. glabrescens*.

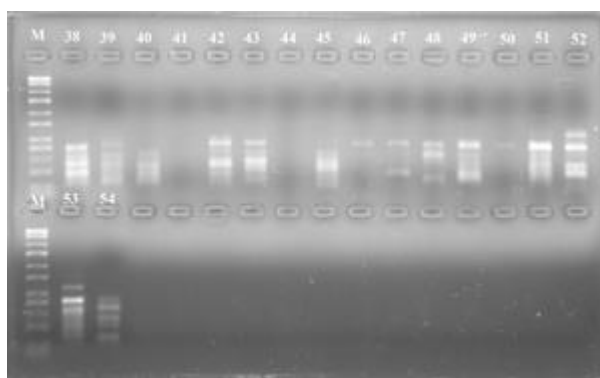


Figure 4. Gel image of OPL 2 primer. (Continued)

M: Marker, 38: *T. kotschyanus*, 39: *M. longifolia* subsp. *typhoides* 40: *Z. capitata*, 41: *Z. clinopodioides*, 42: *S. macrochlamys*, 43: *S. trichoclada*, 44: *S. multicaulis*, 45: *S. sclarea*, 46: *S. frigida*, 47: *S. poculata*, 48: *S. odontochlamys*, 49: *S. virgata*, 50: *S. nemorosa*, 51: *S. verticillata* subsp. *verticillata*, 52: *S. verticillata* subsp. *amasiaca*, 53: *S. candidissima* subsp. *candidissima* 54: *Salvia limbata*.



Figure 5. The dendrogram of genetic relationships among taxa belonging to the Lamiaceae family

The rapid development of molecular biology, one of the sub-branches of biology, has great importance in plant systematics. Molecular systematic studies can easily find a solution for species that are problematic during identification during molecular identification (Kochieva et al., 2006; Al-Rawashdeh, 2011; Özcan et al., 2015).

The genetic relationships of the taxa belonging to the Lamiaceae spread in Bitlis province were included in the study and investigated by using the RAPD-PCR technique. The literature studies revealed that taxa belonging to the family Lamiaceae were not examined at the family level by using RAPD-PCR technique. In this study, it was understood that RAPD-PCR gave reliable results in genetic studies.

As seen in the dendrogram shown in Figure 5, the taxa belonging to the *Teucrium* were found parallel to the morphological classification made according to Davis (1982). *T. chamaedrys* subsp. *sinuatum* and *T. polium* subsp. *polium* taxa showed similarity at the rate of 0,908.

The *T. orientale* var. *glabrescens*, which is slightly more distant than the expected morphological affinity, is close to *T. chamaedrys* subsp. *sinuatum* at the rate of 0.862, while its proximity rate to *T. polium* subsp. *polium* was 0.836. *A. chamaepitys* subsp. *chia* (0.625), the only taxon of *Ajuga*, which is the closest genus to *Teucrium*, showed proximity to *T. orientale* var. *glabrescens* with the highest similarity rate, and it was observed that it formed a separate group with this genus. This supports the morphological taxonomy. Özcan et al. (2015) revised the genus *Teucrium* with the ITS, nrDNA technique. The researchers identified the species *T. sirnakense* L'Hér. Özcan and Dirmenci, which are very close to *T. melissoides* Boiss & Hausskn and *T. scordium* L., during their study in Şırnak Province. It was observed that morphological characters, as well as molecular data, were used to determine a new taxon.

Scutellaria albida subsp. *condensata* showed the highest similarity to *Scutellaria orientalis* subsp. *orientalis* with a 0.700 similarity coefficient. In addition, it was observed that they were included in the same genetic group with the *Teucrium* and *Ajuga* genera (Figure 5). It was observed that this genetic grouping supports the morphological classification made by Davis (1982). While *Ajuga* and *Teucrium* are involved in the Ajugoideae subfamily, *Scutellaria* is involved in the Scutellarioideae subfamily. Safikhani et al. (2018) In Iran, 42 taxa belonging to the subgenus *Apeltanthus* and *Scutellaria* were searched using the nrDNA ITS and trnL-F sequences. They reported that in both ITS and trnL-F trees, there were two main branches within the genus, corresponding to the two subgenus *Scutellaria* and *Apeltanthus*. Consequently, they proposed revising the cross-section classification of both *Apeltanthus* and *Scutellaria* subspecies. Again, in a similar study, Chiang et al. (2012) conducted the phylogenetic analysis of *Scutellaria* taxa, which are endemic to Taiwan, using nuclear and chloroplast DNA markers. As a result, by uncovering multiple sources of Taiwanese *Scutellaria* species and the endemic species, especially *S. indica* L., *S. austrotaiwanensis* C.X. Xie & T.C. Huang confirmed that the "indica group" consisting of *S. tashiroi* Hayata and *S. playfairii* Kudô was rapid and novel speciation.

The similarity rate between *Phlomis lanceolata* and *Phlomis kurdica* was 0.908, and the two species were genetically very close to each other as expected. Sarkhail et al. (2014) The genetic distance range between different *Phlomis* species in Iran was calculated as 316-988. In fact, the furthest genetic distance ($d = 0.990$) was observed between *P. bruguieri* and *P. olivieri* species. The distance between *P. anisodonta* and *P. persica* ($d = 0.988$), as well as *P. persica* and *P. anisodonta* ($d = 0.988$), the closest distance ($d = 316$) was observed for *P. persica* and *P. olivieri*. Similar to the present study, Yüzbaşıoğlu and Dadandı (2008b), using the same technique, used randomly amplified polymorphic DNA markers to determine the genetic relationships among the species of the *Dendrophlomis* subdivision. Twenty members of twelve *Phlomis* taxa were analyzed with 14 selected primers and reported that they produced 85 RAPD bands. The researchers stated that the genetic distances ranged from 0.133 (between *P. amonica* Vierh. and *P. monocephala* P.H. Davis) to 0.494 (between *P. chimerae* Boissieu and *P. lunariifolia* Sm.) and divided the UPGMA tree into two main groups based on the distances.

While the genetic distance measured between the three taxa belonging to the *Lamium* is 0.838 between *L. garganicum* subsp. *striatum* var. *striatum* and *L. macrodon*, it is 0.787 between *L. garganicum* subsp. *striatum* var. *striatum* and *L. album*. The genetic distance between *L. macrodon* and *L. album* is 0.789. As can be seen from the numeric data, these results supported the morphological classification, with the highest similarity between *L. garganicum* subsp. *striatum* var. *striatum* and *L. macrodon* (0,838). It was observed that the genus *Lamium* made a group among itself and merged with the closest *Phlomis* (at the highest rate of 0.556). Krawczyk and Sawicki (2013) investigated the molecular evolution rates of rpoS genes and evaluated them as a phylogenetic marker in the genus *Lamium* (Lamiaceae). As a result of the analysis, the researchers concluded that genes differed in the level of variation, intragenic mutation rate, phylogenetic informativeness, and the effect of these mutations on the properties of encoded peptides. Also they reported that rpoS genes were reliable phylogenetic markers useful in reconstructing the connections of species belonging to the same genus. In the present study, *Ballota nigra* subsp. *kurdica* was not evaluated within its own genus because it is the only taxon of its genus, and its proximity to members of the genera *Lamium* and *Phlomis* was calculated. It was observed as the furthest member to its group with its similarity rate of 0.506 and the similarity rate to *L. album* with 0.379 and *P. lanceolata*. The data of the present study are parallel to the morphological classification made according to Davis (1982). Bendiksby et al. (2011) stated that the genus *Ballota* is polyphyletic; it is similar to other Lamioideae genera but does not come from a common ancestor. Scheen et al. (2010) stated that *Ballota* taxa should be placed in the genus *Acanthoprasium*, but because they were not included in the analysis of *B. frutescens* in Europe, they were reluctant to suggest this taxonomic change.

M. parviflorum subsp. *parviflorum* and *M. astracanicum* taxa showed an affinity at the rate of 0.900 according to the similarity matrix shown in Figure 5. However, although the *Marrubium* members belong to the Lamioideae subfamily, they formed groups alone and remained distant from other

subfamily members. In their study, Scheen et al. (2010) stated that it is not possible to say whether or not *Marrubium* is still monophyletic in its limited form based on the current molecular phylogeny. The researchers did not mind that although the status of *Marrubium* and *Ballota* is still unresolved, *Marrubiums* and *Ballota* stayed in the same subfamily. On the other hand, Bendiksby et al. (2011) argued that *Marrubium* appeared monophyletic, but *Ballota* and *Marrubium* should be studied in more detail to solve the general limitations. These results were similar to the *Marrubium* of the present study. This situation brings to mind the possibility of migration, mutation, geographical distance, and natural selection.

Since *Sideritis vulcanica* is the only member of its genus among the collected samples, intra-genus evaluation could not be made. However, the similarity of *Sideritis vulcanica* to *Stachys megalodon* subsp. *mardinensis* with at the rate of 0.523 and the fact that both genera belong to the Lamioideae subfamily reveals the justification of this similarity. Bendiksby et al. (2011) It has been reported that the genera *Ballota*, *Lagopsis*, *Lamium*, *Leonotis*, *Leonurus*, *Leucas*, *Microtoena*, *Moluccella*, *Otostegia*, *Phlomoidea*, *Sideritis*, *Stachys*, and *Thuspeinanta* are not monophyletic. Similarly, our results, determined that *Sideritis* was not monophyletic alone but was closely related to *Stachys*. The data of the present study support the morphological classification based on the location of the genus *Sideritis* in the Flora of Turkey (Davis, 1982).

The genetic affinity of *Stachys*, the second-largest genus among the collected plant samples, was particularly important in this study. It was observed that *S. megalodonta* subsp. *mardinensis* and *S. iberica* subsp. *stenostachya* taxa (Figure 5) formed a group and show proximity at the rate of 0.889. *S. iberica* subsp. *georgica* and *S. lavandulifolia* formed a separate group by showing similarity at the rate of 0.893. *S. iberica* subsp. *stenostachya* and *S. iberica* subsp. *georgica* were expected to show the highest similarity to each other. But it was observed that they stayed away with a slight difference with the rate of 0.807.

The fact that this rate was too low did not raise any doubts about its place in morphological systematic. It was observed that *Stachys balansae* was most closely associated with *S. lavandulifolia* with a similarity matrix of 0.847. *S. spectabilis* formed a group with *S. annua* subsp. *annua* var. *lycaonica* with the a rate of 0.857. The fact that *Stachys* formed a group among themselves and later formed a separate group with the genera *Phlomis*, *Lamium*, and *Ballota* proved the morphological systematics made for the subfamily Lamioideae. Kochieva et al. (2006), who reported a similar result to the present study, made a molecular analysis of 14 species belonging to the genus *Stachys* collected by ISSR and RAPD. As a result of this analysis, they refined the systematically accepted phylogenetic positions of some *Stachys* species. As a result of molecular data, *S. lanata* Jacq. and *S. byzantina* K. Koch concluded that species were synonymous while they stated that the taxa of *S. sieboldii* Miq. and *S. affinis* Bunge were separate species. Such and similar studies have provided serious data on molecular classification techniques and the location of plant taxa.

It was observed that the *Melissa officinalis* subsp. *officinalis* showed the highest similarity to *S. poculata*, one of the members of the genus *Stachys*, which it unites in the Nepetoideae because it is the only taxon of its genus among the plant samples collected.

The genus *Nepeta*, known as the Cat Mint, has a particular taxonomic importance for us (Güner et al., 2012). As seen in Figure 5, the genus *Nepeta* formed a separate group within itself. In this group, *Nepeta italica* was most closely related to *N. transcaucasica* with the rate of 0.815, *N. nuda* subsp. *albiflora* and *N. macrosiphon* with a rate of 0.814 and formed a separate group. Although *N. trachonitica* was later attached to both groups, it was most closely related to *N. transcaucasica* with a rate of 0.615. Al-Qurainy et al. (2014) strengthened the nuclear and chloroplast gene locus to define and preserve the identity of this species to enhance the DNA barcode and phylogenetic study of *N. deflersiana* Schweinf. ex Hedge. In addition, the researchers made phylograms of *N. deflersiana* and other *Nepeta* species from the GenBank database. As a result, they placed *N. deflersiana* in the same class as *N. insaurica* Hedge with a boot value of 99%. Kaufmann and Wink (1994) examined 41 species of Nepetoideae subfamily with *rbcL* specific primers. They stated that it was compatible with the classical systematics. The results are compatible with these studies.

L. canescens and *L. peltata*, two members of the genus *Lallemantia*, were found to form a group among themselves by showing similarity at the rate of 0.843 (Figure 5). After confirmation with this morphological classification was revised and the classification of *Prunella vulgaris*, of the *Prunella*, was noted closest to *Lallemantia* and included in the group with with similarity rate of 0.660 and renamed as *Lallemantia canescens*. Morphologically, *Lallemantia* and *Prunella* genera are included in the subfamily *Nepetoideae* and supported by the created dendrogram. Koohdar et al. (2016) investigated the genetic variability and population structure of samples collected by *Lallemantia royleana* Benth from 11 geographic populations. Genetic diversity parameters were determined in these populations. It has been reported that there is some gene change among the studied populations and populations based on morphological characters compatible with the NJ molecular data tree of UPGMA dendrogram.

The similarity rate of 0.923 between *Origanum acutidens* and *O. vulgare* subsp. *gracile* proved that the *O. vulgare* subsp. *gracile* was genetically close to *O. vulgare* and showed compatibility with the morphological systematics (Figure 5). Tonk et al. (2010) determined genetic variation by using DNA (RAPD) markers in their studies with 14 *O. onites* L. They reported that thyme clones were basically divided into three main groups by clustering, and the genetic similarity values between the samples ranged between 0.49 and 0.73. This indicated that genetic variation was low. The high similarity rate in the present study increased the similarity coefficient.

The similarity matrix between *Clinopodium vulgare* subsp. *arundanum* and *C. graveolens* subsp. *rotundifolium* was 0.955, showing that the two taxa were very close to each other (Figure 5). As seen in Figure 5, the combination of these two species with *Satureja hortensis* by forming a group between them supported the morphological place of the subfamily *Nepetoideae*. *Satureja hortensis* was found

similar to *C. vulgare* subsp. *arundanum* with the rate of 0.569. Drew and Sytsma (2012) conducted phylogenetic analysis of *Menthinae* sub-tribe species using cpDNA and nrDNA techniques. Therefore, they found three main levels within the *Menthinae* subtribe; (1) a clad including *Acinos* Miller, *Bystropogon* L'Hér., *Clinopodium* and *Ziziphora*, (2) *Micromeria* and *Mentha arvensis*, (3) a taxon restricted to a new alias candidate. These researchers contributed to molecular classification and the location of the *Menthinae* subtribe. The results were supported by the findings of Drew and Sytsma (2012).

Since *Cyclotrichium glabrescens* is the only member of its genus among the samples examined, no intrageneric classification was made. Therefore, *C. glabrescens* showed similarity to *Ziziphora clinopodioides* at the rate of 0.321, as seen in Figure 5, when its proximity to other taxa was examined. This is an expected affinity since *Cyclotrichium* and *Ziziphora* genera were in the *Nepetoideae* subfamily. But the genus *Cyclotrichium* based on the Flora of Turkey is more closer to the *Thymus* and *Mentha* taxa. Dirmenci et al. (2010) analyzed the genus *Cyclotrichium* from morphological, phylogenetic, and cytogenetic aspects. The researchers reported that all species of the genus were examined for their morphological characters and core ribosomal ITS (internal transcribed spacers) DNA sequences, but they did not participate in ITS sequence analysis (morphological examination was made only from the type sample) since *C. hausknechtii* (Bunge) Manden & Scheng. As a result, it has been concluded that *Cyclotrichium* is a different genus within the *Nepetoideae* subfamily with its distinctive morphological, phylogenetic, and cytogenetic features. Considering the intrageneric phylogenetics, *Cyclotrichium* is divided into three groups: 1. *C. niveum* (Boiss.) Manden. & Scheng, 2. *C. origanifolium* (Labill.) Manden. & Scheng and 3. the remaining six species. As a result, they emphasize that the genus *Cyclotrichium* was the closest to the genera *Clinopodium* and *Mentha*. However, in the present study, the taxon belonging to the genus *Cyclotrichium* was found closer to the genus *Ziziphora*.

In *Thymus kotschyanus* and *Mentha longifolia* subsp. *typhoides*, they are the only representatives of their genus among the examples in the present study. The similarity between *Thymus kotschyanus* and *Mentha longifolia* subsp. *typhoides* has been found to be 0.661. The morphological affinities of *Thymus* and *Mentha* genera were genetically supported (Figure 5). Apostolova et al. (2016) applied the ISSR technique to determine the genetic similarities between the *Mentha* species they collected in Bulgaria and stated that the primers tested were appropriate for the evaluation of genetic relationships between genotypes in the *Mentha* and the performed ISSR technique would be easily applied. The researchers stated that the *Mentha* taxa were appropriate for comparing with morphological data in the dendrogram they created within the genus. Yousefi et al. (2015) collected 13 *Thymus* taxa from different geographical regions of Iran and one from England (*T. vulgaris* L.). They analyzed them by Randomly Replicated Polymorphic DNA (RAPD) markers using 20 primers to explore genetic polymorphism. It was reported that a total of 510 bands were detected from 20 RAPD primers and 483 of them (94.31%) gave polymorphic bands. The researchers performed the UPGMA cluster analysis

using Jaccard similarity coefficients based on RAPDs. The dendrogram they obtained from the method divided 14 thyme taxa into four main groups. Again, the researchers reported that the distribution based on basic coordinate analysis (PCoA) revealed four groups in the biplot and confirmed the results of the clustering method with some minor discrepancies.

The similarity rate of both *Ziziphora* species in the present study was observed as 0.396. *Z. capitata* was close to *T. kotschyanus* with 0.485 and to *Mentha longifolia* subsp. *typhoides* with 0.500 (Figure 5). Another *Ziziphora* species, *Z. clinopodioides*, was linked to the *Nepeta* group and showed similarity of 0.448 to *N. transcaucasica*. Making a conclusion that supports this situation, Tabaripour et al. (2020), 69 individuals were collected from 19 randomly selected populations belonging to the *Z. clinopodioides*. In addition, the combination of morphological and molecular data of plants collected from 5 geographical regions was compared. Both analyses revealed a high level of intra-population variability, and the classification of provinces did not reveal any subspecies among species.

Salvia, the most crowded genus of the present study and known as sage, are also important in terms of morphology and genetics. *Salvia verticillata* subsp. *verticillata* and *Salvia verticillata* subsp. *amasiaca* are expected to be very close genetically. The fact that they form a group that supports this expectation and the proximity rate of these two taxa is 0.934 which supports the expectation regarding morphological classification and proves the reliability of genetic classification. According to the dendrogram in Figure 5, *Salvia nemorosa* formed a group with *Salvia candidissima* subsp. *candidissima* and *Salvia limbata*, and *Salvia nemorosa* was close to *Salvia candidissima* subsp. *candidissima* by 0.915 and *Salvia limbata* by 0.914. Although this group was later linked to the group formed by *Salvia verticillata* subsp. *verticillata* and *Salvia verticillata* subsp. *amasiaca*, the similarity between *Salvia verticillata* subsp. *verticillata* and *Salvia candidissima* subsp. *candidissima* was found to be 0.917 (Figure 5). *Salvia odontochlamys* was similar to *Salvia virgata* with the rate of 0.897 and *Salvia nemorosa* at a rate of 0.897 (Figure 5). This is similar to morphological systematics in the Flora of Turkey. *Salvia poculata* was found to be equally close to all three species (*Salvia odontochlamys*, *Salvia virgata*, and *Salvia nemorosa*) at the rate of 0.862 and was included in the same group with these species. This suggests that the RAPD primers we have were randomly linked, and these primers were linked to the same site in some way.

Salvia trichoclada and *Salvia sclarea* were found to form a separate group by showing proximity of 0.883. *Salvia macrochlamys* is linked to this group by showing proximity to *Salvia sclarea* with a rate of 0.841. On the other hand, *Salvia multicaulis* was found to be 0.741 close to *Salvia frigida*. This group was later linked to other taxa of the *Salvia* genus as the furthest taxa with this rate. However, this has collected the *Salvia* taxa together. This contributed to the morphological systematics. In their study, Sözen and Yücel (2015) obtained a parallel result with the present study and stated that the data obtained in terms of genetic relationship of 4 *Salvia* species that are endemic in their study were compatible with morphological data and the RAPD-PCR technique is an appropriate technique for determining the genetic relationship. Öncü et al. (2015) applied a newly developed capillary gel

electrophoresis (CGE) with the determination of RAPD-PCR products following dynamic coating with hydroxyethyl cellulose method and a PCR purification cleaning procedure for some *Salvia* (sage) species to separate fourteen standard DNA fragments. The developed CGE has been successfully applied in ten different Turkish *Salvia* (sage) species (*S. bracteata* Banks & Sol., *S. candidissima* Vahl, *S. ceratophylla* L., *S. dichroantha* Stapf (endemic), *S. forskahlei* L., *S. fruticosa* Mill., *S. sclarea* L., *S. tomentosa* Mill., *S. verticillata* L. and *S. viridis* L.). According to the phylogenetic analysis results, *S. fruticosa* and *S. dichroantha* were the most distant genetically, while *S. bracteata* and *S. fruticosa* were reported as the most similar species. When Figure 5 was examined, it was indicated that the connections between the genera are parallel to the subfamily systematics. This situation is parallel to the morphological systematic affinity of *Salvia*, *Melissa*, *Nepeta*, *Lallemantia*, *Prunella*, *Origanum*, *Satureja*, *Clinopodium*, *Cyclotrichium*, *Thymus*, *Mentha* and *Ziziphora* genera in Nepetoideae. However, while *Melissa officinalis* subsp. *officinalis*, the only member of the *Melissa*, should be closer to the *Nepeta*, its proximity to *Stachys* has brought the possibility of a systematic change in its place. When Figure 5 was examined, it was seen that *Phlomis*, *Lamium*, *Ballota*, *Marrubium*, *Sideritis*, and *Stachys* genera, which are affiliated to Lamioideae subfamily, first formed a group within their own genus and then as subfamily. It is thought that the *Marrubium*, which does not comply with this situation, has moved away from the Lamioideae due to the possibilities of migration, mutation, geographical distance, and natural selection. According to the dendrogram in Figure 5, it was seen that members of the *Scutellaria* belonging to the Scutellarioideae subfamily formed a group. According to the dendrogram in Figure 5, it was observed that the *Ajuga* and *Teucrium* genera of the Ajugoideae subfamily first showed proximity within themselves and then between the genera.

Conclusion

In this study, the proximity relationship between 21 genera belonging to the family Lamiaceae and 54 taxa belonging to these genera was revealed within the geographical limits of Bitlis Province. This will be the first study at Bitlis region and Lamiaceae family with RAPD-PCR technique. Upon comparison of the results obtained in genetic analysis in the family Lamiaceae, determined potential places of the species in the Flora of Türkiye, their locations, proximity relations, biodiversity, place in genetic systematics and distribution areas that will make essential contributions in the the scientific world.

Acknowledgement

The article was produced from the master's thesis of Sıraç Topdemir, under the supervision of Murat Kurşat. This study was funded by Bitlis Eren University Coordinator of Scientific Research Projects (BEBAP 2015.03).

Statement of Conflict of Interest

Authors have declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the authors is equal.

References

- Al-Qurainy F., Khan S., Nadeem M., Tarroum M., Gaafar A. Selection of DNA barcoding loci for *Nepeta deflersiana* Schweinf. ex Hedge from chloroplast and nuclear DNA genomes. *Genet. Mol. Res.* 2014; 13(1): 1144-1151.
- Al-Rawashdeh IM. Molecular taxonomy among *Mentha spicata*, *Mentha longifolia* and *Ziziphora tenuior* populations using the RAPD technique. *JJBS* 2011; 4(2): 63- 70.
- Apostolova E., Anachkov G., Todorov K., Dyulgerova ID., Mladenov R., Stoyanov P., Yahubyan G., Naimov S. Genetic variability of chosen Bulgarian *Mentha* Species. *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci.* 2016; 69: 725-730.
- Bendiksby M., Thorbek L., Scheen AC., Lindqvist C., Ryding O. An updated phylogeny and classification of Lamiaceae subfamily Lamioideae. *Taxon* 2011; 60(2): 471–484.
- Bozari S., Agar G., Yanmiş D. Chemical content, and toxic effects of essential oil of *Origanum vulgare* L. ssp *vulgare* against to *Zea mays* seedlings. *Journal of Essential Oil Bearing Plants* 2014; 17(1): 67-77.
- Bui ST., Khong TT., Ho VT. Genetic diversity and characterization of *Pseuderanthemum latifolium* By RAPD and ISSR molecular markers. *Journal of Animal & Plant Sciences* 2022; 32(1):78-83.
- Chiang YC., Huang BH., Liao PC. Diversification, biogeographic pattern, and demographic history of taiwanese scutellaria species inferred from nuclear and chloroplast DNA. *Plos One* 2012; 7(11): 1-15.
- Davis PH. *Flora of Turkey and The East Aegean Islands*. Edinburgh: Edinburgh Univ. Press Vol. 1-9; 1965-1985
- Davis PH. *Flora of Turkey and The East Aegean Islands*. Edinburgh: Edinburgh Univ. Press. Vol.7; 1982
- Davis PH., Mill RR., Tan K. (eds.). *Flora of Turkey and The East Aegean Islands*. (supplement 1) Edinburgh: Edinburgh Univ. Press., Vol.10; 1988
- Dirmenci T., Dündar E., Deniz G., Arabaci T., Martin E. Morphological, karyological and phylogenetic evaluation of *Cyclotrichium*: a piece in the tribe *Mentheae* puzzle. *Turk J Bot.* 2010; 34: 159-170.
- Drew BT., Sytsma KJ. Phylogenetics, biogeography, and staminal evolution in the tribe *Mentheae* (Lamiaceae). *American Journal of Botany* 2012; 99(5): 933–953.

- Elmas S., Arabacı O., Akpınar E., Hasancebi S., Zeybek A. Chemical and molecular characterization of Anatolian sage (*Salvia fruticosa* Mill.) populations distributed naturally in Southwestern Aegean. *Applied Ecology and Environmental Research* 2021; 19(2): 1407-1421.
- Erdem F., Doğan G., Kıran Y., Evren H. Morphological, anatomical, palynological and karyological characters of endemic *Sideritis vulcanica* Hub.-Mor. (Lamiaceae) from Turkey. *IJNLS* 2017; 1(1):1-12.
- Güner A., Özhatay N., Ekim T., Başer KHC. (eds.). *Flora of Turkey and The East Aegean Islands*. Edinburgh: Edinburgh University Press. Vol.11; 2000.
- Güner A., Aslan S., Ekim T., Vural M., Babaç MT. (edlr.). *Türkiye bitkileri listesi (damarlı bitkiler)*. İstanbul: Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını; 2012.
- Güner A., Ekim T. (edlr.). *Resimli Türkiye florası, cilt 1*. NGBB Yayınları Flora Dizisi 2, Flora Araştırmaları Derneği ve Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları yayını, İstanbul; 2014.
- Harley RM., Aktins S., Budantsev ALL., Cantino PD., Conn BJ., Grayer R., Harley MM., Kok R., Krestovskaja T., Morales R., Paton AJ., Ryding O., Upson T. *The families and genera of Labiatae flowering plants-dicotyledons* (eds: J.W. Kadereit). Hamburg: Springer; 2004.
- Jamzad Z. A survey of Lamiaceae in the flora of Iran . *Rostaniha* 2013; 14(1): 59-67.
- Kaufmann M., Wink M. Molecular systematics of the Nepetoideae (Family Labiatae): Phylogenetic Implications from rbcL Gene Sequences. *Z. Naturforsch* 1994; 635-645.
- Khoury M., Stien D., Eparvier V., Ouaini N., Beyrouthy ME. Report on the medicinal use of eleven Lamiaceae species in Lebanon and rationalization of their antimicrobial potential by examination of the chemical composition and antimicrobial activity of their essential oils. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* 2016; 1-17.
- Kochieva EZ., Ryzhova NN., Legkobit MP., Khadeeva NV. RAPD and ISSR analyses of species and populations of the genus *Stachys*. *Russian Journal of Genetics* 2006; 42(7): 723–727.
- Koohdar F., Sheidai M., Talebi SM., Noormohammadi Z., Ghasemzadeh BS. Genetic diversity, population structure and morphological variability in the *Lallemantia royleana* (Lamiaceae) from Iran. *Phytologia Balcanica* 2016; 22(1): 29-38.
- Krawczyk K., Sawicki J. The uneven rate of the molecular evolution of gene sequences the uneven rate of the molecular evolution of gene sequences. *Int. J. Mol. Sci.* 2013; 14: 11376-11391.
- Luo W., Du Z., Zheng Y., Liang X., Huang G., Zhang Q., Liu Z., Zhang K., Zheng X., Lin L., Zhang L. Phytochemical composition and bioactivities of essential oils from six Lamiaceae species. *Industrial Crops & Products* 2019; 133: 357–364.
- Morden CW., Loeffler W. Fragmentation and genetic differentiation among subpopulations of the endangered Hawaiian mint *Haplostachys haplostachya* (Lamiaceae). *Molecular Ecology* 1999; 8: 617-625.
- Sözen E., Yücel E. Determination of genetic relationships between some endemic *Salvia* species using RAPD markers. *Biyolojik Çeşitlilik ve Koruma* 2015; 8(3): 248-253.

- Öncü EM., Uysal ÜD., Öztürk N., Cenkçi S., Tuncel M.. Determination of DNA in certain *Salvia* species by capillary gel electrophoresis. *Journal of Liquid Chromatography ve Related Technologies* 2015; 38: 1417–1425.
- Özcan T., Dirmenci T., Coşkun F., Akçiçek E., Güner Ö. A new species of *Teucrium* sect. *scordium* (Lamiaceae) from SE of Turkey. *Turk J Bot.* 2015; 39: 310-317.
- Rattray RD., Wyk BEV. The botanical, chemical and ethnobotanical diversity of Southern African Lamiaceae. *Molecules* 2021; 26: 3712.
- Safikhani K., Jamzad Z., Saeidi H. Phylogenetic relationships in Iranian *Scutellaria* (Lamiaceae) based on nuclear ribosomal ITS and chloroplast trnL-F DNA data. *Plant Systematics and Evolution* 2018; 304: 1077–1089.
- Sarkhail P., Nikan M., Sarkheil P., Gohari AR., Ajani Y., Hosseini R., Hadjiakhoondi A., Saeidnia S. Quantification of verbascoside in medicinal species of *Phlomis* and their genetic relationships. *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences* 2014; 22-32.
- Scheen AC., Bendiksby M., Ryding O., Mathiesen C., Albert VA., Lindqvist C. Molecular phylogenetics, character evolution, and suprageneric classification of Lamioideae (Lamiaceae). *Missouri Botanical Garden* 2010; 97(2): 191-217.
- Tabaripour R., Sheidai M., Mehdi Talebi S., Noormohammadi Z. Population genetic and phylogeographic analyses of *Ziziphora clinopodioides* Lam., (Lamiaceae), “kakuti-e kuhi”: An attempt to delimit its subspecies. *Caryologia* 2020; 73(2): 99-110.
- Tonk FA., Yüce S., Bayram E., Giachino RRA., Sönmez Ç., Telci İ., Furan MA. Chemical and genetic variability of selected Turkish oregano (*Origanum onites* L.) clones. *Plant Syst Evol* 2010; 288: 157-165.
- Yousefi V., Najaphy A., Zebarjadi A., Safari H. Genetic diversity and geographic dispersion in *Thymus* spp. as detected by RAPD markers. *Philippine Journal of Crop Science* 2015; 40(1): 82-88.
- Yüzbaşıoğlu E., Dadandi MY. Phylogenetic relationships among species of the subsection *Dendrophlomis bentham*. *Electronic Journal of Biotechnology* 2008; 11(4): 1-9.
- Zaman W., Ye J., Ahmad M., Saqib S., Shinwari ZK., Chen Z. Phylogenetic exploration of traditional chinese medicinal plants: a case study on Lamiaceae, *Pak. J. Bot.* 2022; 54(3): 1033-1040.

İstatistikte Dağılım Fonksiyonu ile Fourier Dönüşümü

Seçil YALAZ^{1*}

¹Dicle Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, 21280, Diyarbakır

¹<https://orcid.org/0000-0001-7283-9225>

*Sorumlu yazar: syalaz@dicle.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 25.01.2023

Kabul tarihi: 27.10.2023

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Fourier dönüşümü
İntegrallenebilme
Yoğunluk fonksiyonu
Dağılım fonksiyonu
Ölçüm hatalı değişkenler
Asimptotik özellikler

ÖZ

Karmaşık integral denklemlerini basit cebirsel denklemlere dönüştürme yeteneğine sahip olan ve hem matematikte hem de istatistikte sıkça kullanılan en önemli yöntemlerden biri Fourier dönüşümüdür. Fourier dönüşümü, matematikte belli koşullar altında her fonksiyon için geçerli olmasına rağmen istatistikte matematikten çok farklı olması nedeniyle bu durum istatistikte daha karmaşık hale gelebilmektedir. İstatistikte her durum için farklı gözlem değerleri yani farklı x ler söz konusu iken matematikte her x için bir fonksiyon tanımlanır. İstatistikte fonksiyonlardan ziyade rasgele değişkenlerle ilgilenilmektedir ve ilgilenilen gözlem değerlerinin yoğunluk fonksiyonları da bilinmelidir. Asimptotik özelliklerin incelendiği parametrik olmayan modellerde Fourier dönüşümü kullanıldığı görülmektedir. Hem dağılım hem de yoğunluk fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilebilen Fourier dönüşümünde bilinmeyen veya integrallenebilir olmayan yoğunluk fonksiyonları ya da çok yavaş yakınsama oranı söz konusu olduğunda (asimptotik özellikler düşünüldüğünde) yoğunluk fonksiyonunun kullanılması mümkün olamamaktadır. Böyle durumlarda Fourier dönüşümünün dağılım fonksiyonu ile gerçekleştirilmesi daha uygun olacaktır. Bu çalışmada, Fourier dönüşümünün hangi koşullarda dağılım fonksiyonu ile gerçekleştirilmesinin daha uygun olacağı üzerine öneriler sunulmaktadır.

Fourier Transform by Distribution Function in Statistics

Research Article

Article History:

Received: 25.01.2023

Accepted: 27.10.2023

Published online: 11.03.2024

Keywords:

Fourier transform
Integrability
Density function
Distribution function
Errors in variables
Asymptotic properties

ABSTRACT

The Fourier transform is one of the most important methods, which has the ability to transform complex integral equations into simple algebraic equations and is frequently used in both mathematics and statistics. Although the Fourier transform is valid for every function in mathematics under certain conditions, this situation can become more complicated in statistics because of the fact that statistics is very different from mathematics. While in statistics, different observation values, that is, different x values, are considered for each situation, in mathematics for each x a function is defined. In statistics, random variables are concerned rather than functions, and the density functions of the observed values of interest should also be known. It is seen that the Fourier transform is used in non-parametric models in which asymptotic properties are examined. In the Fourier transform, which can be performed using both distribution and density functions, it is not possible to use the density function when there are unknown or non-integrable density functions or very slow convergence rate (considering asymptotic properties). In such cases, it would be more appropriate to perform the Fourier transform with the distribution function. In this study, suggestions are presented on under which conditions it would be more

To Cite: Yalaz S. Fourier Transform by Distribution Function in Statistics. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(2): 581-591.

1. Introduction

Fourier transform is one of the most important methods, which has the ability to transform complex integral equations into simple algebraic equations and is frequently used in both mathematics and statistics. The lemma developed by German mathematician Georg Frederick Bernhard Riemann, who lived between 1826 and 1866 and put forward by the French mathematician Henri Lebesgue, who lived between 1875 and 1941, and also known as the Riemann - Lebesgue lemma, said that the Fourier or Laplace transform of a function on L^1 goes to infinity.

According to the lemma if f is one dimensional Lebesgue metric, L^1 , integrable on the real coordinate space of dimension d , \mathbb{R}^d , which means that Lebesgue integral of $|f|$ is finite, the Fourier transform of f gives the following notation (Bochner and Chandrasekharan, 1949; URL 2, 2022),

$$\hat{f}(z) := \int_{\mathbb{R}^d} f(x) \exp(-izx) dx \rightarrow 0, \quad |z| \rightarrow \infty.$$

Although this idea is known to have been asserted by Riemann, it is known that the idea was asserted for the first time by the French mathematicians Cauchy and Poisson between 1810 and 1840 without the condition that f is L^1 integrable on \mathbb{R}^d . Riemann and Lebesgue developed this idea, since it would not be possible for all the transformations to be correct without this condition.

Hence, $f \in L^1(-\infty, \infty)$, the forward Fourier transform is $\psi_f(s) = \int e^{isx} f(x) dx$. According to Riemann's definition, this notation is seen as $\psi_f \in L^1(-\infty, \infty)$, the inverse Fourier transform is $f(x) = \frac{1}{2\pi} \int e^{-isx} \psi_f(s) ds$.

This is true for every function in mathematics. However, statistics is more concerned with random variables rather than functions. In statistics, this representation can be made as $\psi_F(s) = \int e^{isx} f(x) dx$ if the density function $f(x)$ is known.

When the distribution function is used, it can be done as $X \sim F \Rightarrow \psi_F(s) = \int e^{isx} F(dx)$. The aim here is to obtain ψ_F from F and thus to obtain the experimental function ψ_{F_n} and return to F again obtaining F_n from ψ_{F_n} . This cycle is given in Figure 1.

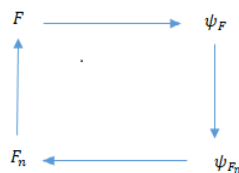


Figure 1. Fourier transform with the distribution function

It is also true if $f(x)$ is known (See Figure 2).

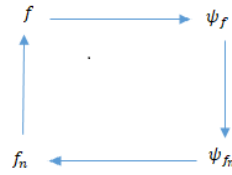


Figure 2. Fourier transform with density function

However, it is not suggested to use $f(x)$. f function may not be L^1 integrable on \mathbb{R}^d or not be exactly known. Also, considering the asymptotic features, the convergence rate may be much slower.

Fourier transform is used in non-parametric models in which asymptotic properties are examined in statistics. In the convolution theorem, which is used especially in nonparametric equations with measurement errors, the nonparametric regression function can be estimated by the Fourier transform of a nonparametric estimator of the density of the flawed measurement, such as a Kernel estimator (Carroll et al., 1995). In the deconvolution technique, in order to eliminate the effect of measurement error, it is recommended to use a Kernel whose Fourier transform has a certain basis in the estimation of the non-parametric regression function (Fan, 1991). However, the rate of convergence depends on the variable of nonparametric function. The smoother the density of the variable, the faster the Fourier transform of the function deteriorates as the frequency approaches infinity, and the smaller the kernel bandwidth, the faster the bias decreases. In the literature focusing on the deconvolution technique, the smoothness of a density is typically defined in terms of the asymptotic decay rate of the Fourier transform as the frequency goes to infinity. The basis for such an explanation is that the number of derivatives of a continuous density is directly related to the asymptotic behavior of the Fourier transform as the frequency goes to infinity. This leads to the traditional distinction between "ordinary smooth" functions (which take a finite number of continuous derivatives and whose Fourier transform degrades under certain conditions) and "super smooth" functions (which take an infinite number of continuous derivatives and whose Fourier transform degrades under certain conditions). The use of the deconvolution technique in the estimation of the nonparametric function depends on knowing the distribution of the variable. In the absence of information about the distribution, when there are two consecutive measurement errors, the estimator is converted to simple factors with the Fourier transform process and the solution is obtained (Schennach, 2004; Yalaz and Tez, 2019).

In Fourier transform, which is the basis of all these important studies, it is important to decide which function will be used and when it will be used. To get rid of the stated handicaps may be the idea, instead of using the unknown density function f using the distribution function F , can be adopted. Mentioned idea forms the basis of our research.

2. Material and Method

2.1. Probability Function and Distribution Function

There are two types of random variables in statistics; discrete random variables and continuous random variables. The probability functions of discrete random variables (X) are probability values that take a finite number of values x_1, x_2, \dots, x_n ,

$$f(x_i) = P(X = x_i), i = 1, 2, \dots, n.$$

The distribution function is the probability that X is less than or equal to x ,

$$F(x) = P(X \leq x) = \sum_{x_i \leq x} f(x_i).$$

Probability density function of continuous random variables (X) are probability values that take the values defined in the range $(-\infty, \infty)$ and satisfy the conditions $\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1$, $f(x) \geq 0$; $-\infty < x < \infty$. In addition to this, the probability of finding the continuous random variable X between c and d is

$$P(c < X < d) = \int_c^d f(x)dx,$$

which shows the area bounded by $f(x)$ curve, x -axis and $x = c$, $x = d$ lines. The distribution function is defined as (Akdeniz, 2002),

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(s)ds.$$

Distributions produced from discrete random variables are called discrete probability distributions, and distributions produced from continuous random variables are called continuous probability distributions.

Using $f(x)$ in Fourier transform is inconvenient. In order to use f , it must be L^1 integrable on \mathbb{R}^d , which means that $f \in L^1(-\infty, \infty)$. Because the continuity condition cannot be met, discrete distributions are often ignored in the Fourier transform. Discrete probability distributions, which are well known and frequently used in statistics are Poisson, Bernoulli, Binomial, Geometric, Negative Binomial and Discrete Uniform distributions. It is not meaningful to ignore these important distributions and to deal with other distributions.

The maximum likelihood estimation method, used for the estimation of parameters in parametric statistical methods, proposed in years between 1912 and 1922 by Ronald Aymler Fisher, a British statistician, biologist and geneticist, is also valid for the independent sample with the same distributions. Because the joint probability density function can be written in these conditions as,

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n | \lambda) = f(x_1 | \lambda) \times f(x_2 | \lambda) \times \dots \times f(x_n | \lambda).$$

From here,

$$L(\lambda; x_1, x_2, \dots, x_n) = f(x_1, x_2, \dots, x_n | \lambda) = \prod_{i=1}^n f(x_i | \lambda)$$

can be written. (The likelihood function $L(\lambda|X) = P(X|\lambda)$ can be used when the observed x_1, x_2, \dots, x_n variables are considered as the constant parameters of this function as the variables of the function λ) (URL 3, 2022). Taking the natural logarithm of the likelihood function is a widely used method in practice:

$$\ln L(\lambda; x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n \ln f(x_i | \lambda).$$

However, as mentioned earlier, statistics is very different from mathematics. While a function is defined for every x in mathematics, different x values for each situation or different observation values are appeared in statistics. Therefore, it is necessary to know exactly what distribution the functions (in the language of statistics, density functions) of the observation values we are interested in have. When it is not known from which distribution the functions come from, parametric statistical methods, such as the maximum likelihood estimation method, cannot be used, so non-parametric statistical methods will be more compatible. Because of the fact that, non-parametric methods are based on the idea that the distributions of random variables should be obtained from the data, not the assumption that the distributions are known beforehand.

Kernel density estimation in non-parametric statistical methods provides very good estimates for the density function (Fan and Truong, 1993):

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_h(x - x_i) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{h}\right).$$

where K , a non-negative function whose integral is equal to one, $h > 0$ is the smoothing parameter called the bandwidth.

Kernel density estimation, frequently used for measurement error models, is lean on the investigation of asymptotic features (Toprak, 2015; Yalaz, 2019). However, considering the asymptotic properties, it is known that h has the same asymptotic ratio with $n^{-1/5}$. In this case, $\frac{1}{nh} = \frac{1}{nn^{-1/5}} = n^{-4/5}$. That is, the rate of convergence is much slower, $n^{-4/5}$, than the parametric methods convergence rate, n^{-1} , because

$$F_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P(X_i \leq x).$$

The graph for $F(y) = \int_{-\infty}^y f(x) dx$ is indicated in Figure 3.

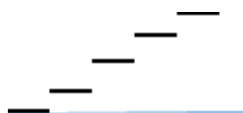


Figure 3. Distribution function graph

When smoothing methods are used, this returns to $F^s(y) = \int_{-\infty}^y f_n(x) dx$ and the graph changes to the Figure 4.



Figure 4. Flattened distribution function graph

As a result of smoothing, the piecewise function disappears and becomes a smooth function. This function can be used to find the unknown density function, but it should not be ignored that the convergence rate is very slow.

Since smoothing methods suggest the estimation of an unknown $f(x)$ function, although it is a preferred method, the convergence rate of the obtained function is very slow. The best way to avoid this handicap may be not to use the unknown probability function f and to use the distribution function F instead of it.

3. Findings and Discussion

3.1. Playing Around with a General Expression, Random Variables and Demonstrating the Expected Value with Fourier Transform

In this study, instead of limiting the study and dealing with any function, we have proceeded through a method that aims to deal with relations called functional and then find functions that provide these equations. The most important aspect of working with functionals is not to make any special assumptions. For example, if it is not given that the desired function is differentiable or if it is not calculated in a way that can be differentiable, the derivative and related properties should not be used in the solution (URL 1, 2022).

Let $T(X)$ be a functional for $X \sim F$. Then,

$$E[T(X)] = \int T(X)F(dx).$$

Due to the drawbacks of the mentioned flattening methods, instead of using flattening methods here, representations have been made by playing with random variables a little (disturbing the random variables) as similar with these methods. So, let's take $X + hN$ instead of taking X . Here, X and N are independent random variables and N has a standard normal distribution.

If $N \sim N(0,1)$, the characteristic function of the random variable N is known as

$$\begin{aligned} \psi_N(s) &= E[e^{isN}] = \int e^{isx} \theta_x(dx) \\ &= \int e^{isx} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int e^{-\frac{2isx-x^2}{2}} dx \\ &= e^{-\frac{s^2}{2}} \end{aligned}$$

This means that, $\theta(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \psi_N(x)$.

Then,

$$E[T(X + hN)] = \int \int T(x + hy) \theta(y) F(dx) dy = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int \int T(x + hy) \psi_N(y) dy F(dx) \quad (1)$$

Let us take $x + hy = z$. In this case

$$hy = z - x \Rightarrow y = \frac{z - x}{h} \Rightarrow dy = \frac{1}{h} dz.$$

Substituting this in equation (1), one can get

$$\begin{aligned} E[T(X + hN)] &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{h} \int \int T(z) \psi_N\left(\frac{z-x}{h}\right) dz F(dx) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{h} \int \int \int T(z) e^{i\left(\frac{z-x}{h}\right)w} \theta(w) dw dz F(dx) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{h} \int \int \int T(z) e^{iz\frac{w}{h}} e^{-ix\frac{w}{h}} \theta(w) dw dz F(dx). \end{aligned} \quad (2)$$

Taking $\frac{w}{h} = \omega$, $\frac{dw}{h} = d\omega$ is possible. If these are used in equation (2), we can write

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{h} \int \int \int T(z) e^{iz\omega} e^{-ix\omega} \theta(\omega) d\omega dz F(dx) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int \int \int T(z) e^{iz\omega} e^{-ix\omega} \theta(h\omega) d\omega dz F(dx) \quad (3)$$

where $\theta(h\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{h^2\omega^2}{2}}$. Substitute this in equation (3), the presentation will be

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int \int \int T(z) e^{iz\omega} e^{-ix\omega} \theta(h\omega) d\omega dz F(dx) &= \frac{1}{2\pi} \int \int \int T(z) e^{iz\omega} e^{-ix\omega} e^{-\frac{h^2\omega^2}{2}} d\omega dz F(dx) \\ &= \frac{1}{2\pi} \int \int T(z) e^{iz\omega} \int e^{-ix\omega} F(dx) dz e^{-\frac{h^2\omega^2}{2}} d\omega. \end{aligned} \quad (4)$$

Substituting $\int e^{-ixs} F(dx) = \psi_F(-s)$ in equation (4), it can be seen that

$$\frac{1}{2\pi} \int \int T(z) e^{iz\omega} \int e^{-ix\omega} F(dx) dz e^{-\frac{h^2\omega^2}{2}} d\omega = \frac{1}{2\pi} \int \int T(z) e^{izs} \psi_F(-s) dz e^{-\frac{h^2s^2}{2}} ds. \quad (5)$$

Since $\int e^{izs} T(z) dz = \psi_T(s)$ equation (5) will be

$$\frac{1}{2\pi} \int \int T(z) e^{izs} \psi_F(-s) dz e^{-\frac{h^2s^2}{2}} ds = \frac{1}{2\pi} \int \psi_F(-s) \psi_T(s) e^{-\frac{h^2s^2}{2}} ds. \quad (6)$$

However, since $T(X + hN)$ was obtained while dealing with the functional $T(X)$ at the beginning, it should be returned to the situation where random variables have not been manipulated.

3.2. Returning to the State of Not Playing with Random Variables

The main goal was to get $E[T(X)]$. When it is desired to return $E[T(X)]$ again from equation (6), it is necessary to approximate $h \rightarrow 0$. In this case $e^{-\frac{h^2 s^2}{2}} \rightarrow 1$ happens. However, we should be very careful to the remaining expression

$$\frac{1}{2\pi} \int \psi_F(-s)\psi_T(s)ds. \quad (7)$$

At first glance, although approximating $h \rightarrow 0$ seems to make our job easier, the aforementioned troubles are also valid here. In this case, considering the equation (7), $\psi_F(-s)$ or $\psi_T(s)$ must be integrable. $\psi_F(-s)$ is certainly not integrable because F distribution contains jumps (see Figure 3).

Let us take $h \rightarrow 0$ for a moment. In this case, the expression

$$E[T(X + hN)] = \frac{1}{2\pi} \int \psi_F(-s)\psi_T(s)e^{-\frac{h^2 s^2}{2}} ds$$

will return to

$$E[T(X)] = \frac{1}{2\pi} \int \psi_F(-s)\psi_T(s)ds.$$

It is known that $\psi_F(-s)$ is not integrable. So, in order to $E[T(X)]$ be valid, T should be integrable for $|T| \in L^1(-\infty, \infty)$, and for taking inverse process $\psi_T(s) = \int e^{isx} T(x) dx$ should be integrable for $\psi_T \in L^1(-\infty, \infty)$. Situations that satisfy both conditions can be achieved through a multitude of assumptions known as restrictions. In this case, $\psi_T(s)$ needs to be defined more specifically and be integrable. Initially our aim has kept $\psi_T(s)$ as any functional. Therefore, taking $h \rightarrow 0$ would not be correct.

The recommendation here is taking $h \rightarrow 0^-$ and $h \rightarrow 0^+$ rather than taking $h \rightarrow 0$. Then,

$$E[T(X + hN)] = \frac{1}{2} E[T(X^+)] + \frac{1}{2} E[T(X^-)].$$

If we take $T(x) = 1_{a < x \leq b}$, because of

$$T(x^+) = \lim_{y \downarrow x} T(y) \text{ and } T(x^-) = \lim_{y \uparrow x} T(y), \text{ then}$$

$$T(x) = \frac{1}{2} T(x^+) + \frac{1}{2} T(x^-).$$

However, it is necessary to pay attention to the idea of taking $h \rightarrow 0^-$ and $h \rightarrow 0^+$. Lebesgue measurement theory does not allow us to integrate limits approaching from the right and left. In this case, we may encounter more limitations.

4. Results

Kernel density estimation, which is frequently used for measurement error in variables, is based on the logic of smoothing non-smooth probability density functions (f). For this reason, while studying the subject of measurement error in variables, it has also been applied to investigate the asymptotic properties in the literature. However, the convergence rate is much slower under weak assumptions than the convergence rate in parametric methods. Instead of using unknown probability function f , using the distribution function F is the best way to avoid this handicap. By paying attention to the integrability condition in the smoothing process using the distribution function, it became possible to achieve the desired result by assuming that the smoothing parameter approaches zero from the right and left. However, it is necessary to pay attention to the idea that limits used in the functions and equations cannot be included in the integral.

Statement of Conflict of Interest

The author has declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the author is equal.

References

- Akdeniz F. Olasılık ve istatistik. Adana, Baki Kitabevi, 2002.
- Fan J. On the optimal rates of convergence for nonparametric deconvolution problems. *Annals of Statistics* 1991; 19: 1257-1272.
- Fan J., Truong YK. Nonparametric regression with errors in variables. *Annals of Statistics* 1993; 21: 1900-1925.
- Matematik Dünyası, URL 1:
http://www.matematikdunya si.org/arsiv/PDF_eskisayilar/92_4_22_25_FONKSIYONEL.pdf
(Erişim zamanı; Eylül, 15, 2022).
- Carroll RJ., Ruppert D., Stefanski LA. *Measurement error in nonlinear models*. Chapman and Hall, 1995.
- Bochner S., Chandrasekharan K. *Fourier transform*. New Jersey, Princeton University Press, 1949.
- Schennach SM. Estimation of nonlinear models with measurement error. *Econometrica*, 2004; 72: 33-75.

Toprak S. Semiparametric regression models with errors in variables. Dicle University Institute of Science, PhD Thesis, Diyarbakır, Turkey, 2015.

Yalaz S. Multivariate partially linear regression in the presence of measurement error. *AStA Advances in Statistical Analysis*, 2019; 103(1): 123–135.

Yalaz S., Tez M. Semiparametric EIV regression model with unknown errors in all variables. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2019; 8(4): 1177–1183.

Wikipedia, URL 2:

https://en.m.wikipedia.org/wiki/Riemann–Lebesgue_lemma
(Erişim zamanı; Eylül, 15, 2022).

Wikipedia, URL 3:

https://en.m.wikipedia.org/wiki/Maximum_likelihood_estimation
(Erişim zamanı; Eylül, 15, 2022).

Ahşap Bazlı Kompozit Yüzey Kaplı Yonga Levhaların Formaldehit Gaz Emisyonu ve Uygulanan Standartlar

Osman ÇAMLİBEL^{1*}, Ümit AYATA², Ayşe BUDAK³, Damla YÜKSEK⁴

¹Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, İç Mekân Tasarımı Pr., Kırıkkale

²Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Bayburt

³Kırıkkale Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Kırıkkale

⁴Kırıkkale Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi/ İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Kırıkkale

¹<https://orcid.org/0000-0002-8766-1316>

²<https://orcid.org/0000-0002-6787-7822>

³<https://orcid.org/0000-0002-4383-6436>

⁴<https://orcid.org/0000-0002-2973-1910>

*Sorumlu yazar: osmancamlibel@kku.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 10.07.2023

Kabul tarihi: 27.10.2023

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Ahşap bazlı kompozit levhalar

Yonga levha

Formaldehit gaz emisyonu

Reçine

ÖZ

Her geçen gün kullanım alanı artan ahşap bazlı kompozit malzemeler beraberinde birtakım hava kirletici kimyasal maddeleri de getirmektedir. Özellikle ahşap esaslı kompozit levhalarda, kapalı ortam kirleticisi olarak isimlendirilen formaldehit içerikli reçineler kullanılmaktadır. Formaldehit esaslı reçinelerle üretilmiş ürünlerde zamanla levhalardan salınım formaldehit gaz emisyonu oluşabilmektedir. İnsan sağlığına zararlı olan bu kimyasal maddenin üretimi ve kullanımı sırasında uyulması gereken kurallar ve ülkelerin bu konuyla ilgili belirledikleri standartlar mevcuttur. Bu çalışmada mobilya atölyelerinden, üretici firmaların 8 mm ve 18 mm yongalam levhaları, örnekleme secim metodu ile alınmış ve bu levhaların formaldehit emisyonu TS 4894 EN 120 ölçüm yöntemine göre analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda en düşük formaldehit gaz emisyon ölçüm sonucu; 8 mm 14,60 mg/100gr E2 ve 18 mm 4,80 mg/100 gr E1 standardında ölçülmüştür.

Formaldehyde Gas Emission of Laminated Wood Based Particle Composite Boards and Applied Standards

Research Article

Article History:

Received: 10.07.2023

Accepted: 27.10.2023

Published online: 11.03.2024

Keywords:

Wood-based composite boards

Particleboard

Formaldehyde emission

Resin

ABSTRACT

Wood-based composite materials, the usage area of which is increasing day by day, also bring some air-polluting chemicals. Formaldehyde-containing resin chemicals, which are called indoor pollutants, are used especially in wood-based composite boards. In products produced with formaldehyde-based resins, formaldehyde gas emission may occur over time from the boards. There are rules to be followed during the production and use of this chemical substance, which is harmful to human health, and there are standards determined by countries on this subject. In this study, 8 mm and 18 mm surface-coated particleboards were taken from the furniture workshops by sampling selection method and the formaldehyde emission of these boards was analyzed according to TS 4894 EN 120 measurement methods. As a result of this analysis, the lowest formaldehyde gas emission of 18 mm surface-coated particleboard were measured at 8 mm 14.60 mg/100 g E2 and 18 mm 4.80 mg/100 g E1 standards, respectively.

To Cite: Çamlıbel, O., Ayata, Ü., Budak, A., Yüksek, D., Ahşap Bazlı Kompozit Yüzey Kaplı Yonga Levhaların Formaldehit Gaz Emisyonu ve Uygulanan Standartlar, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 592-609.

1. Giriş

Yonga levha (YL), yönlendirilmiş yonga levha (OSB), düşük, orta ve yüksek yoğunlukta lif levhalar (LDF, MDF, HDF) gibi kompozit malzemeler iki ya da daha fazla sayıda benzer veya farklı özelliklerde malzemelerin birleşmesiyle oluşur. Odunun şeklinde ve levha yoğunluğunda değişiklik yapmak, kullanılan yapıştırıcının miktarını azaltmak, su, yangın ve çevresel etkilere karşı dayanıklılığını artırmak amacıyla kompozit ürünlere eklenen maddeler ile ürünün özellikleri geliştirilmektedir. Kompozit malzemeler, levha ürünleriyle sınırlı olmamakla birlikte ahşap ve diğer ürünlerin bir araya gelmesi ile ortaya çıkan ürünleri de kapsamaktadır. Kompozit malzemelerin; mobilya, inşaat gibi sektörlerde geniş bir kullanım alanı vardır. İç ve dış mekanlarda da sıklıkla karşımıza çıkmaktadır (Güller, 2001).

Kimya endüstrisinin temel maddelerinden olan formaldehit, insan sağlığı ve çevre için son derece zararlı bir maddedir. Yapısında karbon, hidrojen ve oksijen bulunur (CH_2O). Renksiz ve keskin kokulu bu kimyasal; boya, kozmetik, kumaş, sigara, tekstil ve mobilya gibi birçok ev eşyasında bulunmaktadır (Boran ve Usta, 2010). Reçine sentezinde kullanılan formaldehit kimyasalının keskin kokuya sahip, rengi olmayan, asiditesi zayıf ve zehirli bir madde olduğu ifade edilmiştir (Akbulut, 1998).

Bu malzemelerin üretim aşamasında kullanılan yapıştırıcılarda bağlayıcı madde olarak üre-formaldehit, melamin- formaldehit, fenol- formaldehit, resorsin- formaldehit ve melamin üre-formaldehit tutkalları kullanılmaktadır

Formaldehit gaz emisyonu genellikle; konut ve ofis iç mekanlarında bulunan ve formaldehit içeren yapıştırıcılarla üretilmiş ahşap esaslı levhalardan kaynaklanmaktadır. İnsanlar bu malzemelerin üretim aşamasından iç mekanlarda kullanımı da dahil olmak üzere formaldehit gaz emisyonuna maruz kalmaktadır. İnsanları farklı şekilde etkileyen formaldehit, bazı insanlarda rahatsızlık uyandırmazken bazılarında ciddi problemlere sebep olabilmektedir (Çolakoğlu, 1993; Özlüsoy, 2016). Emisyonu birçok farklı faktöre bağlı olmakla birlikte zamanla açığa çıkan formaldehit, baş ağrısı, bulantı, baş dönmesi, alerji, gözlerde yaşarma burun akıntısı gibi sağlık problemlerine yol açmaktadır. Yapılan bazı araştırmalar sonucunda kanserojen etkisi olduğu da saptanmıştır. Bu sebeple formaldehit kullanımı ile ilgili uyulması zorunlu olan sınırlamalar getirilmiştir (Boran ve Usta, 2010).

Formaldehit gaz emisyonu, mekânda değişen sıcaklık ve nem koşullarından kaynaklı olarak üretim sonrasında da bir süre devam edebilmektedir. Bu sebeple, üretiminde formaldehit içerikli tutkallar kullanılan levhaların mekâna yayacakları formaldehite birtakım standartlar belirlenerek formaldehit salınım değerleri oluşturulup yasal yaptırımlarla sınırlamalar getirilmiştir. Üretilen levhaların standartlara göre formaldehit içeriği belirlendikten sonra hangi emisyon kategorisine ait olduğu belirlenmelidir ve buna göre kullanıldığı alanda değerlendirilmesi gerekmektedir. Formaldehit gaz emisyonuyla ilgili uyulması gereken standartlar sonucunda üreticiler emisyon değeri sınırında levha üretmek durumunda kalmışlardır. Bu da levha üretim maliyetlerinin artmasına sebep olmaktadır (Özlüsoy, 2016).

Bu çalışmada, mobilya üretiminde hammadde olarak kullanılan 8 mm ve 18 mm yongalılar TS EN 120 standardına göre analiz edilerek üretici firma ürünlerinin formaldehit emisyonu ölçüm sonuçlarının, uluslararası formaldehit emisyon limit değerlerine göre değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

1.1. Formaldehit gaz emisyonunu etkileyen etmenler

Formaldehit salınımına başlıca etkisi olan etmenler; ahşabın çeşidi, üre/formaldehit oranı, sertleştiricinin cinsi, pres, tutkal miktarı ve ürünün kullanımına kadar ne kadar beklediğidir. Bunların dışında yonga levhaların yoğunluğunun da formaldehit gaz emisyonuna etkisi vardır. Yonga levhaların yoğunluğu arttıkça formaldehit gaz emisyon direncinin de arttığı saptanmıştır. Ayrıca, formaldehit tutucuların kullanımı da formaldehit gaz emisyonunu azaltmak için önemlidir (Gündüz, 2015).

1.1.1. Ağaç türü

Ahşap esaslı kompozit levhalarda ağacın türüne göre formaldehit gaz emisyonu değişiklik göstermektedir. Örneğin yapılan araştırmalar sonucunda, özdeş üretim koşullarında meşeden yapılan levhadan salınan formaldehit gaz emisyonu seviyesinin, çamdan yapılan levhadan salınandan az olduğu görülmüştür (Gündüz, 2015).

1.1.2. Reçinelerdeki formaldehit seviyesi

Lif levha, yonga levha ve kontrplakların içerdiği formaldehitin sebebi, kimyasalları birleştirmek amacıyla kullanılan üre formaldehittir. Reçinedeki formaldehitin artması emisyonun daha fazla olmasına yol açmaktadır. Bağlayıcıdaki formaldehit oranının bir değerden az olması levhalarda çekme mukavemetinin de düşmesine neden olmaktadır. Serbest formaldehit miktarı düşük reçineler kullanmak, formaldehit oranını düşürmenin en etkili yoludur (Gündüz, 2015).

1.1.3. Sertleştirici etkisi

Yonga levha üretiminde, presleme öncesi yonga rutubetinin azaltılması formaldehit salınımını azaltmaktadır. Bunun yanı sıra sertleştirici tipi ve hazırlanması da formaldehit salınımı üzerinde etkilidir. Diğer sertleştiricilere kıyasla amonyum klorür, formaldehit salınımını azaltmaktadır (Gündüz, 2015).

1.1.4. Presleme etkisi

Genellikle pres süresinin uzaması levhalardan salınan formaldehit miktarını azaltmaktadır. Yongaların preslenme aşamasında ek bir ısıtma uygulanması yonga levhalardan salınan formaldehiti azaltmaktadır. Bunun yanı sıra pres aşamasında yonga levhanın ortasında ulaşılan sıcaklığa bağlı olarak da salınım azaltılmaktadır. Levha kalınlığı ve yoğunluğuna göre değişebilmektedir (Gündüz, 2015).

1.1.5. Tutkal miktarının etkisi

Genellikle tutkal miktarı yükseldikçe formaldehit salınımında bir artış gözlenmemektedir. Tutkal miktarı % 50 artırıldığında formaldehit salınımı % 20 oranında artmaktadır. Formaldehit oranı düşük olan üre formaldehit tutkalı ile üretilen levhalarda tutkal miktarının önemsiz olduğu görülmüştür (Gündüz, 2015).

1.1.6. Formaldehit tutucularının etkisi

Formaldehit tutucular melamin, üre ve resorsin gibi maddelerdir. Formaldehitle bağlanabilen bu tutucular, sıkıştırma aşamasında ve devamında salınan serbest formaldehitle tepkimeye girer. Bu tepkime sonucu salınım azalır. Tutkallama aşamasından önce veya sonra uygulanabilirler. Üre, amonyak, melamin ve siyanogüinidin kimyasal tutucu olarak gösterilebilir. Levha üretiminde üre formaldehit tutkalına katılan formaldehit tutucular yurt dışından getirilmektedir ve maliyetli ürünlerdir. Bir alternatif yöntem de üre formaldehit tutkalına melamin ilavesi yapmaktır. Fakat ülkemizde melamin üretimi olmadığı için yurt dışından gelmektedir ve yine maliyetli bir üründür. Tutkal üretim maliyetini artırdığı için iki yöntem de sınırlı kalmaktadır (Gündüz, 2015).

1.1.7. Levhaların depolanmasının etkisi

Formaldehit oranı yüksek üre formaldehit tutkalıyla üretilen yonga levhaların formaldehit emisyonundaki azalma depolanma süresine bağlı olarak, formaldehit oranı düşük üre formaldehit ile üretilenlere göre daha çok olmaktadır. Formaldehit gaz emisyonunu azaltmak için, presleme işleminden sonra levhaların yavaş soğutulması daha faydalı olmaktadır (Gündüz, 2015).

1.2. Formaldehit gaz emisyonu belirleme yöntemleri

Formaldehit gaz emisyonunun insan sağlığına zararlı etkileri sonucu ahşap bazlı kompozit ürünlerde formaldehit gaz emisyonunu azaltmaya yönelik çalışmalar artmıştır. Üretimde yapılan kontroller formaldehit gaz emisyonunun azalmasını ve standart test metotlarının gelişmesini sağlamıştır. Bu sayede birçok ülke standardında yer alan ahşap esaslı levhalardan ayrılan formaldehit seviyesini ölçen yöntemler geliştirilmiştir. Ahşap esaslı levhalardan salınan formaldehit miktarı farklı yöntemlerle belirlenebilmektedir (Yeşil, 2008).

Bunlar;

- 1. Perforatör (ekstraksiyon) yöntemi*
- 2. Küçük chamber (kabin) yöntemi*
- 3. Büyük chamber (kabin) yöntemi*
- 4. Gaz analizi yöntemi*
- 5. Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI)- Flask yöntemi*
- 6. Desikatör yöntemi*

1.2.1. Perforatör (ekstraksiyon) yöntemi

Bu yöntemde tolüende ısıtılan levha örneğinden formaldehitin destile suya ayrışması sağlanır. Solüsyondaki formaldehit seviyesi iyodometrik veya fotometrik yöntemle belirlenip levha ağırlığına oranlanmaktadır. Perforatör metodunun sıkıntılarında bazıları; farklı rutubetlerdeki levhalarda farklı sonuçlar vermesi, iyodometrik ve fotometrik değerlerle ölçülen sonuçlarda yüksek farklar çıkabilmesi, kullanılan malzemelerin maliyetli olması, perforatör cihazında kısa zamanda analiz yapılamaması, düşük formaldehit gaz emisyon değerlerinde hatalı sonuç analizi ve tolüenin sebep olabileceği sağlık problemleridir. Bu yöntem formaldehit içeriği %0,01 ve üzeri levhalarda kullanılır (TS 4894 EN 120, 1999).

1.2.2. Küçük chamber (kabin) yöntemi

Bu yöntemde TS EN 717-1 standardına göre; boyutu 1 m³ olan kaba konulan örneklerin formaldehit gaz emisyon oranı; ısı derecesi, nem, kaç kere hava değişimi yapıldığı ve kabinde yük oranı dikkate alınarak ölçülmektedir.

1.2.3. Büyük chamber (kabin) yöntemi

Amerika, Japonya, Almanya ve İskandinav ülkelerinde TS EN 717-1 standardı kullanılan bu yönteme göre, büyük boyutlarda sunta ve işleminden geçen ürünlerin formaldehit gaz emisyonu hacimsel olarak büyük gözlem mekanlarında ölçülmektedir. Mobilyalar ve boyutları fazla levhalar kullanıldığı için sahip olunan ölçümler, uygulamalı değerlere diğer yöntemlere göre yakın olmaktadır. Bu metotta formaldehit gaz emisyonundaki değişim kaç kere hava değiştirildiğine ve zamana göre ölçülebilmektedir.

1.2.4. Gaz analizi yöntemi

Bu yöntemde deney örneği bulunan bir reaksiyon borusuna sabit hız ve sıcaklıkta hava gönderilir. Buradan çıkan formaldehit içeren hava borunun ucuna yerleştirilen yıkama şişelerindeki destile suda emilir. Formaldehitin fotometrik yöntemle tespit edildiği bu metotta gözlem dört saattir ve 1 saatteki havanın değişimi 60 litredir. Formaldehit salınımı tespiti istenen üründen üç numune gerekir. Levha örneklerinin kesimden önce kenarlarına kaplama işlemi yapılmasına gerek yoktur ancak örnekler kesimden analiz yapılincaya kadar kaplanır ve havasız bir şekilde oda sıcaklığında tutulur (TS EN 717-2, 1999).

1.2.5. WKI- Flask yöntemi

Ahşap esaslı kaplanmamış levhaların formaldehit gaz emisyonunu ölçmek için kullanılan uygulanma 1975 Almanya da geliştirilen basit bir yöntemdir. Diğer yöntemlere göre daha az maliyetli ve çalışma sırasında sağlık problemlerine yol açmaması gibi avantajları vardır. Levhanın üretim aşamasında tutkal içeriğinde küçük değişiklikler yaparak ekstraksiyon yöntemine kıyasla daha hassas ölçümler yapılabilmektedir. Deney süresinin 24 saat olması ise dezavantaj olarak görülmektedir. Ahşap esaslı

levhaların dışında duvar kâğıdı ve sentetik halılarda formaldehit gaz emisyonu da ölçülebilir (TS EN 717-3, 1999).

1.2.6. Desikatör yöntemi

2 saat veya bir gün süren desikatör metodunda 10,5 litre desikatörün içine atılan örnekler yaklaşık 24 derece sıcaklıkta bekletilmektedir. Bekleme sonrası ürünlerin bekletildiği kap alınarak içerdiği formaldehit miktarı belirlenmektedir. Deneyin iki veya 24 saat olmasına bağlı olarak desikatör içerisindeki destile suyun miktarı değişmektedir (JIS A 1460, 2001).

1.3. Ahşap esaslı levhalarda formaldehit gaz emisyonu düzenlemeleri ve ülke standartları

Odun esaslı levhalardan yayılan formaldehit insan sağlığını önemli ölçüde tehdit eder. İnsanlar, üretiminden kullanımına kadar iç mekanlarda bu formaldehit gaz emisyonuna maruz kalırlar. Formaldehit ayrışması, en çok değişen ısı ve nem şartlarında ürünün üretiminden sonrasında da sürebilmektedir. Bu sebeple belirli sınırlamalar getirilerek emisyon değer sınıfları oluşturulmuştur. Formaldehit salınımının özellikle hastanelerde kullanılan ürünlerde ve bebek mobilyalarında standartların belirlediği sınırların altında olması önemlidir (Aksakal ve ark., 2005).

İç mekân formaldehit salınımını aza indirmek için Avrupa ülkelerinde etiketleme sistemleri mevcuttur. Bazı AB ülkeleri, ürünlerden ayrılan uçucu organik bileşikler (VOCs) salınımları ile ilgili sınırlandırmalar getirmiştir. Örnek olarak Almanya’da döşeme sebepli salınımlar, Yapı Ürünlerinin Sağlık Açısından Değerlendirilme Komitesi (AgBB) çalışmaları ile ölçülmektedir (Kaptı ve Ayrılmış, 2016).

TS EN 717-1 chamber yöntemine göre odun esaslı panellerde E1 sınıf formaldehit salınımı Tablo 4’de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak görülmektedir. Avusturya, Danimarka, Almanya, İtalya gibi birçok Avrupa ülkesinde sadece E1 sınıfı paneller tercih edilmektedir. Diğer ülkelerde farklı malzemelerde kullanılan formaldehit ve uçucu organik bileşikler (VOC)’in emisyonunu gösteren etiketleme sistemi bulunmaktadır. En düşük formaldehit gaz emisyonuna sahip levhalar üretebilmek için farklı formaldehit/üre mol oranlarına sahip reçine üretimleri ve levhalarda formaldehit salınımı azaltıcı çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda düşürülmüş formaldehit gaz emisyon limit değerleri uluslararası akredite olmuş laboratuvarlarda tescillendirilmektedir. Tablo 3 ve Tablo 4’te formaldehit limit değerlerine göre sınıflandırma yapılmaktadır. EMICODE, Indoor Air Comfort, Blue Angel, M1 eko etiketlemelerden örneklerdir (Kaptı ve Ayrılmış, 2016). Tablo 1’de Avrupa’da tüm ahşap bazlı levhalara uygulanan formaldehit gaz emisyon analiz yöntemleri ve emisyon sınıf aralıkları belirtilmiştir.

Tablo 1. Avrupa formaldehit gaz emisyonu test metodu ve standartları

Levha tipi	Test metodu	Standartlar	Limit değerler
Yonga levha	EN 120:1992	EN 13986:2002 BS 8509-2008	≤ 8 mg/100g E1 > 8 mg/100
PB	perforatör metot	+A1:2011 FIRA/FRQG COO1:2008	g E2 ≤ 30 mg/100g E2
MDF	ekstraksiyon		
Tüm ahşap paneller	EN 717-1: 2004 chamber (kabin) metodu	EN 13986:202 FIRA/FRQGCOO1:2008	$\leq 0,124$ mg/m ³ , E1 $> 0,124$ mg/m ³ , E2
Tüm ahşap paneller	EN-717-2 1994 chamber (kabin) metodu	EN 13986:2002	$\leq 3,5$ mg/m ² h

Tablo 2’de ahşap bazlı MDF, yonga levha, duvar paneli, OSB (yönlendirilmiş yonga levha) ürünlerinin Avrupa, Avustralya, Amerika ve Japonya’da uygulanan standartlar, test yöntemleri ve limit değeri verilmiştir.

Tablo 2. Avrupa, Avustralya, Amerika ve Japonya’daki odun esaslı paneller için formaldehit gaz emisyon standartları*

Ülkeler	Standartlar	Test yöntemleri	Levha sınıfları	Limit değerleri
Avrupa	EN 13986	Kabin EN 717-1	E1-PB-MDF-OSB	$\leq 0,01$ ppm
		Perforatör EN 120		≤ 8 mg/100g
		Kabin EN 717-1	E1-PW	$\leq 0,1$ ppm
		Gaz analiz EN 717-2		$\leq 3,5$ mg/hxm ²
		Kabin EN 717-1	E2-PB-MDF-OSB	$> 0,1$ ppm
		Perforatör EN 120		> 8 mg/100g
		Kabin EN 717-1	E2-PW	≤ 30 mg/100g
		Gaz analiz EN 717-2		$> 0,1$ ppm
Avustralya	AS/NZS 1859-1-2	Desikaör AS/NZS 4266.16	E0-PB-MDF	$\leq 0,5$ mf/L
			E1-PB	$\leq 1,5$ mf/L
			E1 MDF	$\leq 1,0$ mf/L
			E2-PB-MDF	$\leq 4,5$ mf/L
			PB- MDF	$\leq 0,3$ ppm
U.S.A	ANSI A208. 1-2 (PB&MDF)	Geniş kabin ASTM E1333	PW	$\leq 0,3$ ppm
			PW	$\leq 0,2$ ppm
			F**	$\leq 1,5$ mg/L
Japonya	JIS A 5908- 5905 (PB-MDF)	Desikatör JIS A 1460	F***/E0	$\leq 0,5$ mg/L
			F****/E0	$\leq 0,3$ mg/L

MDF; orta yoğunlukta lif levha, PW; Duvar paneli, PB: yonga levha, OSB; Yönlendirilmiş yonga levha

*(Salem ve ark.,2012, Risholm -Sundman ve ark., 2007)

Günümüzde formaldehitin dışında odun esaslı panellerde toplam organik uçucu bileşikler (TVOC) hakkında değişik ülkelerde çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Panellerden salınan TVOC (Toplam Organik Uçucu Bileşikler)'nin belirlenmesi ve sınırlamalar getirilmesiyle birlikte iç mekânda tercih edilen ahşap malzemelerin de emisyonlarının tespit edilmesi ve sertifikalandırılması gerekli görülmüştür. Bu nedenle birtakım sınırlandırmalar ve çalışmalar Avrupa'da geliştirilmeye başlanmıştır (Kaptı ve Ayrılmış, 2016).

Tablo 3. Ahşap esaslı panellere uygulanan yöntemler ve formaldehit E1 ve E2 sınıfları ve standart değerleri (TS EN 13986, 2007).

Formaldehit sınıfı	Formaldehit konsantrasyonu (ppm)	Perforatör (mg/100g kuru levha) TS 4894 EN 120	Gaz analizi değeri (mg/m ² h) TS EN 717 -2	Chamber (kabin)metodu değeri (mg/m ³) TS EN 717-1
E1	≤0,1	≤8	≤3,5	≤0,124
E2	0,1-1,0	8-20 yonga levha 8-30 MDF	3,5-8	0,124≤

ppm: milyonda bir birim.

Tablo 3'te ahşap esaslı levhalarda uygulanan yöntemlere göre standart sınıf seviyesini belirlemek için referans alınan limit değerleri verilmiştir.

Tablo 4. Ahşap kompozit ürünleri için önerilen hava toksit ölçüm değerleri*

Ahşap kompozit ürünleri için önerilen hava toksit ölçümleri				
Standart	Ürünler	Test yöntemi	Sayısal değer	ASTM E 1333 (ppm)
CARB phase _1	HWPW	ASTM 1333	0,08 ppm	0,08
	PB		0,18 ppm	0,18
	MDF		0,21 ppm	0,21
CARB phase _2	HWPW	EN-717-1	0,05 ppm	0,05
	PB		0,09 ppm	0,09
	MDF		0,11 ppm	0,11
E1	HWPW	EN-717-1	0,12 mg/m ³	0,14
	PB, MDF		0,12 mg/m ³	0,14
F**	HEPSİ	EN-717-2	3,5 mg/m ² h	N/A
	PB, MDF	EN 120	8 mg/100 g o.d.b	0,10
F***	Hepsi	JIS A 1460	1,5 mg/L	N/A
F****	Hepsi		0,5 mg/L	0,07
F*****	Hepsi		0,3 mg/L	0,05

F Star standartları, tanımlanmış CARB standartları tüm ahşap ürünlerinde uygulanır. E1333 değeri ASTM E 1333 -96 (ASTM -2002) verileri kullanılarak hesaplanmıştır. *(Battelle., 1996). (Risholm-Sundman ve ark., 2007) ve CARB (2007 ve 2010)

Tablo 4.'de Ahşap bazlı kompozit ürünlerin CARB-phase-1, CARB phase-2, E1 ve Japon standartları kapsamında havada olması gereken en az toksit ölçüm limit değerleri verilmiştir. Ahşap bazlı levhaların içinde en düşük formaldehit salınımı yayan levhalardan üretilen mobilya ve donatı ürünler iç mekanlarda yaşam konforunu artırmaktadır.

Tablo 5. Bazı standartlar için kullanılan genel koşullar formaldehit emisyonunun belirlenmesi için test yöntemleri*

Formaldehit gaz emisyonunun belirlenmesi için bazı standart test yöntemleri için kullanılan genel koşullar						
Test Metodu		ASTM D 6007-2	EN 120	EN 717- 1	EN 717-2	EN 717-3
Malzeme	Hacim	1 m ³	Ekstraktör aparatusları	0,225 m ³	4L	500 mL flash
	Duvar malzemesi	Alüminyum	Çam/perforatör	Paslamaz çelik	Çam	Kapaklı polietilen şişe
Test örnekleri	Yükleme oranı	0,43 m ² /m ³ (Yongalevha)	25X25 mm (110 g)	1 m ² /m ³	0,4X0,05 m	0,025X0,025 mm (20 g)
	Kenar sızdırmazlığı	Evet	Hayır	Evet	Evet	Hayır
Test örneklerin koşullandırılması	Sıcaklık (°C) RH%	7 gün (24±3°C), (%50±5)	Tanımsız	Hayır	Çeşitli	Tanımsız
Test Örneklerini uygulanması	Sıcaklık (°C) RH (%) Hava değişimi (h ⁻¹) Hava hızı	24±3 50±5 2 (2-5 m/s) fan hızı	110 °C 600 ml Toluen ile ekstraksiyon	23±0,5 45±3 1,0±0,05 0,1-0,3 m/s	60±0,5 ≤ %3 (60±3) 1L/dakika	40 °C 100% Hayır Hayır
	Test süresi	Sabit duruma kadar	3 saat	2-4 hafta	4 saat	3 saat
	Sonuçlar	CARB phase-1 CARB phase-2	E1 ≤ 8 mg/100 g (fırın kurusu)	E1 ≤ 0,1 ppm veya 0,124 mg/m ³	E1 ≤ 3,5 mg/m ² /h	Resmi olarak kabul edilen sınır değeri yok

*(Salem ve ark., 2012), (Risholm -Sundman ve ark, 2007)

Tablo 5'te ahşap bazlı kompozit levhaların formaldehit gaz emisyonunun analizinde dünyada uygulanan testler gösterilmiştir. Bu test metotlarına göre; malzeme secimi, test örneklerinin ölçüleri, hacimleri, kenar sızdırmazlık uygulanması, test örneklerini koşullandırma şartları, analizde uygulanan aşamalar ve analiz sonuçlarının değerlendirilmesidir.

Tablo 6. Yeni CARB phase-1 ve CARB phase-2 formaldehit gaz emisyon standartları*

Etki Tarihi	CARB phase-1 (P1) ve CARB phase-2 (P2) HWPW, PB, MDF				
	phase 1 ve phase 2 emisyon standartları ppm				
	HWPW-VC	HWPW-CC	PB	MDF	Thin MDF
1.01.2009	P1: 0,08	-	P1:0,18	P1:0,21	P1:0,21
1.07.2009	-	P1: 0,08	-	-	-
1.01.2010	P2:0,05	-	-	-	-
1.01.2010	-	-	-	-	-
1.01.2011	-	-	P2:0,09	P2:0,11	-
1.01.2012	-	-	-	-	P2:0,13
1.07.2012	-	P2:0,05	-	-	-

Temel ilk test metodu (ASTM D6007-02, 2002) ppm. HWPW-VC: Veneer core, HWPW-CC: Composite core. 23 °C ve 1013 hPa, EN 717-1 metodu ile ölçüm sonuçları arasındaki var olan bağlantı; 1 ppm= 1,24 mg/m³ ve 1 mg/m³= 0,81 ppm. *(Salem ve Böhm., 2013)

Tablo 6’da ahşap bazlı levhalarda formaldehit gaz emisyonu ölçümünde uygulanan CARB phase-1 ve CARB phase-2 yöntemlerinin faaliyet tarihlerine göre limit değerleri verilmiştir.

Ahşap esaslı levha malzemesi, EN standart değerinde E1 ve E2 olarak ikiye ayrılan ve bu sınıflandırmalardan daha yüksek bir kategoriye izin verilmeyen kanserojen bir maddedir. Bu sınıflamalar birçok ülkede ele alınmaktadır. Özellikle mobilyalarda kullanılan ahşap esaslı levhaların E1 sınıfında olması ve ham maddelerin bu değer ölçüsünde olduğuna dikkat eden firmalardan tercih edilmesi kullanıcının sağlığı açısından önemli bir noktadır (Subaşı ve ark., 2017).

E1 belgesi alınabilen ürünler; yonga levhalar, OSB, MDF ahşap levhalar, soyma tabakalı lamine kereste malzemesinin kaplanmamış ürünleri, kontrplak, masif ahşap levhalar, lif levhalar, çimentolu yonga levhalar, laminant, parke malzemesinin boyanmış ve kaplanmış ürünleridir. Bu belge ile alınan tüm ürünlerin sağlık standartlarına uygun malzemeler olduğu tescillenmiştir. E1 belgesini almaya hak kazanan firmalar bu belgeyle birlikte ürünleri kullanma hakkını kazanmakta ve 1 yıl süre ile bu belgeyi kullanabilmektedir (Subaşı ve ark., 2017).

TSE belgeyi alan firmaları denetlemekte ve bu doğrultuda belli aralıklarda bölgeyi kontrol ederek numuneler almaktadır. Ahşap ürünlerin formaldehit gaz emisyon ölçüsünü kontrol eden bu merkez ilgili numunelerin analizini TSE Gebze Malzeme Laboratuvarı’nda yapmakta ve ürünlerin sağlık açısından durumu incelenmektedir. İncelenen ürünler sonucunda belli sınırlar içinde sonuçlanan değerlere göre E1 ve E2 belgesi verilmektedir (Subaşı ve ark., 2017).

Ülkemizde iç hava standartlarının kontrolü konusunda belli sınırlandırmalar bulunmamaktadır fakat 1923 yılında Çevre Kanuna ilişkin yönetmelik, 02.11.1986 tarihinde ‘Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği’ yürürlüğe konulmuştur ve 2001 yılından itibaren İş Sağlığı ve Güvenliği Merkezi iç hava kalitesine yönelik çalışmalar yürütmektedir (Sıradağ, 2019).

2. Malzeme ve Yöntem

Bu çalışmada üç farklı üreticinin ürettiği 8 mm ve dört farklı üreticinin ürettiği 18 mm kalınlığındaki yongalam paneller (her iki yüzü dekor kağıtla kaplanmış yonga levha) rastgele yöntem ile mobilya imalatı yapan atölyelerden temin edilmiş ve formaldehit gazı salınım değerleri analiz edilmiştir. Levhalar TS EN 120 standardına göre kesilmiş, plastik poşetlere konulmuş ve plastik poşetlerin ağzı hava almayacak şekilde kapatılmıştır. Değerler TS 4894 EN 120 (1999)'e göre belirlenmiştir. Analizler TSE laboratuvarlarına akredite özel bir firmanın ürettiği formaldehit reçine tesis laboratuvarında yapılmıştır. Toplam 70 örnek (10 tekrar) standartlara göre hazırlanmış, kondisyonlanmış ve ölçülmüştür. Elde edilen sonuçların istatistiksel değerlendirilmesinde ($P < 0,05$) ANOVA ve Duncan testleri SPSS v22 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Tablo 7'de yongalam ürünlerin ortalama formaldehit gaz emisyon değerleri verilmiştir.

Tablo 7. Yongalamların formaldehit gaz emisyon ölçüm sonuçları

Üretici firma	Levha türü	Kalınlık mm	Formaldehit gaz emisyonu mg/100 g
A	Yongalam	8	16,60
B	Yongalam	8	14,60
C	Yongalam	8	14,60
D	Yongalam	18	7,40
E	Yongalam	18	7,50
F	Yongalam	18	7,60
G	Yongalam	18	4,80

Tablo 8'de istatistiksel analiz sonucu tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve farklıların tespit edilmesi için Post hoc çoklu test karşılaştırma sonuçları görülmektedir.

Tablo 8. Yongalamların formaldehit gaz emisyonu Post Hoc çoklu test karşılaştırması

Deneysel yongalam	Deney grupları	N	Ortalama	Standart sapma	Std. hata	95% Güven aralığı*		Minimum ^y	Maksimum ^z
						Alt sınır	Üst sınır		
A Firması	8 mm	10	16,6 ^a	0,00	0,00	16,60	16,60	16,60	16,60
B Firması	8 mm	10	14,6 ^b	0,00	0,00	14,60	14,60	14,60	14,60
C Firması	8 mm	10	14,6 ^b	0,00	0,00	14,60	14,60	14,60	14,60
D Firması	18 mm	10	7,4 ^b	0,00	0,00	7,40	7,40	7,40	7,40
E Firması	18 mm	10	7,5 ^c	0,00	0,00	7,50	7,50	7,50	7,50
F Firması	18 mm	10	7,6 ^d	0,00	0,00	7,60	7,60	7,60	7,60
G Firması	18 mm	10	4,8 ^a	0,00	0,00	4,80	4,80	4,80	4,80

*Ortalama ANOVA için% 95 güven aralığı. a, b, c, d harfleri aynı harfle anlamlı olarak farklı değildir (Duncan testi).

Post Hoc test sonucu karşılaştırması ile elde edilen sonuçlara göre 8mm levhalar için formaldehit salınım değerleri; A, B ve C firması levhalarında sırası ile 16,60 mg/100g, 14,60 mg/100g ve 14,60 mg/100g olarak ölçülmüştür. Analiz sonucunda B firması ile C firmasının ürünlerinin formaldehit gaz emisyonu eşit çıkmıştır. İstatistiki ANOVA (Duncan) analiz sonucuna göre gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmuştur. A firmasının formaldehit gaz emisyonu diğer firmalardan daha yüksek çıkmıştır. Bu sonuca göre 3 firmanın formaldehit emisyon değerleri Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'e göre 8-20 mg/100g ile E2 sınıfında yer almaktadır.

18 mm yongalam levhalarının formaldehit gaz emisyonu ölçüm sonuçları D, E, F ve G firması için sırasıyla 7,40 mg/100g, 7,50 mg/100g, 7,60 mg/100g ve 4,80 mg/100g olarak ölçülmüştür. İstatistiki analiz sonucunda gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmuştur. 4 firmanın ürünlerinin formaldehit gaz emisyonu birbirinden farklı sonuçlar çıkarmıştır. Formaldehit gaz emisyonu en yüksek F firmasının, en düşük G firmasının ürünlerinde ölçülmüştür. 18 mm yongalamların formaldehit gaz emisyonu Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'e göre ≤ 8 mg/100g E1 sınıfında yer almaktadır.

Tablo 9. 8 mm yongalamların formaldehit gaz emisyon özelliklere ait önem değerleri

	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Sig.
Gruplar arası	54,875	3	18,292	97722045852956000000000000000000,000	0,000*
Gruplar içi	0,000	36	0,000		
Toplam	54,875	39			

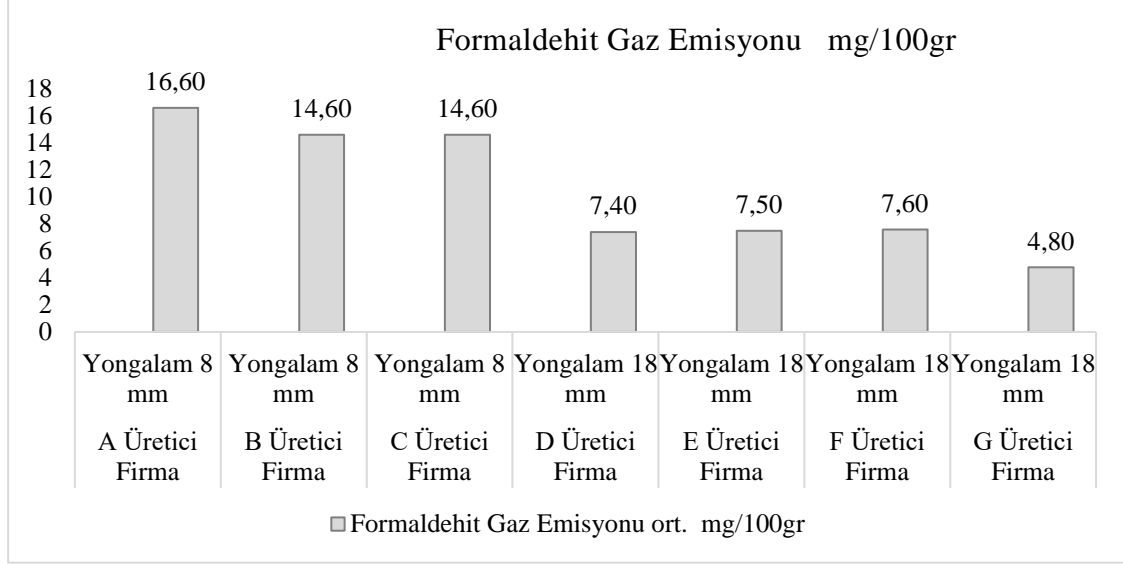
Tablo 9'da görüldüğü gibi piyasadan toplanan 8 mm yongalam levhalarının SPSS istatistiki analiz sonucu significant değerinin 0,05'ten küçük olduğu tespit edilmiştir. Buna göre gruplar arasında anlamlı bir farklılık bulunmaktadır. Bu anlamlı farklılığın Post Hoc çoklu test karşılaştırması sonucunda B üretici firma ile C üretici firma levhalarının formaldehit gaz emisyonu ölçüm sonucunda aynı olduğu, A üretici firma levhalarında farklı olduğu bulunmuştur.

Tablo 10. 18 mm yongalamların formaldehit gaz emisyon özelliklere ait significant değerleri

	Kareler Toplamı	df	Ortalama Kare	F	Sig.
Gruplar arası	26,667	2	13,333	58772467421350500000000000000000,000	0,000*
Gruplar içi	0,000	27	0,000		
Toplam	26,667	29			

18 mm yongalam levhalarının istatistiki analiz sonucu significant değeri 0,05'ten küçük olduğundan gruplar arasında anlamlı bir farklılık bulunmaktadır (Tablo 10). Post Hoc çoklu test karşılaştırmasında

D, E, F, G üretici firmaların levhalarının formaldehit gaz emisyonu ölçüm sonuçlarının birbirlerinden farklı olduğu görülmektedir. Şekil 1’de üretici firmalara göre 8 mm ve 18 mm yongalamların formaldehit gaz ölçüm sonuçları görülmektedir.



Şekil 1. 8 mm ve 18 mm yongalamların formaldehit gaz emisyon ölçüm sonuçları

Şekil 1’deki verilere göre; 18 mm yongalam ürünlerinin formaldehit gaz emisyon değeri 8 mm yongalam ürünlerinden daha düşük ölçülmüş ≤ 8 mg/100g E1 sınıfında yer almıştır.

Kontrplaklar ve yüzey kaplamalarında kullanılan formaldehit bazlı melamin formaldehit tutkalının yerine Polivinil asetat (PVAc) kullanımının ortamdaki uçucu organik bileşikler (VOC) ve formaldehit gaz emisyonunu azaltmada etkili olduğu belirtilmiştir (Kim ve ark., 2007). Uluslararası Kanser Araştırma Kurumu, formaldehitin solunum yolu ve deri teması ile kanseri tetiklediğini yapılan çalışmada tespit etmiş ve böylece formaldehiti kanserojen özellikte bir madde olarak sınıflandırmıştır (Emri ve ark., 2004). Katlı pres ve sürekli pres proseslerinde üretilen 18 mm yonga levhaların EN 120 perforatör formaldehit gaz emisyonu, çok katlı yonga levhada 5,76 mg/100 g ve sürekli pres yonga levhada 3,67 mg/100 g olarak ölçülmüş ve yonga levha çizelge 3 standart verilerine göre E1 sınıfında yer almıştır (Çamlıbel, 2023).

2006’da E1 emisyon sınıfı Avrupa panel federasyonu (EPF) üyeleri için zorunlu hale gelmiştir (URL-1, 2015). Avrupa’da ahşap bazlı panel üreticileri proseslerinde çalışanların formaldehite mesleki anlamda maruz kalmalarına yönelik ortamdaki formaldehit gazını düşürmeye ilişkin Formaldehit Eylem Rehberi adlı gönüllü anlaşma, EFBWW ve EPF tarafından 29 Kasım 2018’de Lizbon, Portekiz’de ortaklaşa imzalanmıştır (URL- 2., 2018).

Doğan ve Kaymakçı (2022) OSB levhalarında F/Ü mol oranı azaldıkça formaldehit gaz emisyon değerinin daha düşük sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir. Üretim prosesinde üretilen yonga levhalarda üç farklı mol oranında üre formaldehit kullanılmış ve EN 120 perforatör analiz sonucunda 0,88 mol, 9,16 mol ve 1,17 mol üre formaldehitli levhaların formaldehit gaz emisyonları sırasıyla 7,40 mg/100 g,

9,16 mg/100 g ve 14,76 mg/100 g olarak ölçülmüştür. Formaldehit analiz sonucuna göre üre formaldehit mol oranı düşükçe levhada formaldehit emisyonunun azaldığı ve 0,88 mol üre formaldehitli levhanın formaldehit emisyon sonucu E1 sınıfında yer aldığı ifade edilmiştir (Çamlıbel ve Ayata, 2020).

Üretim prosesinde HDF (yüksek yoğunlukta lif levha) üç farklı mol oranında üre formaldehit ile sürekli preste üretilmiştir. 0,88 mol, 0,98 mol ve 1,17 mol üre formaldehitli HDF levhaların formaldehit emisyonları sırasıyla 6,79 mg/100 g, 8,28 mg/100 g ve 14,96 mg/100 g olarak ölçülmüştür. 0,88 mol üre formaldehit ile üretilen HDF levhalarının formaldehit emisyon sınıfı E1'dir. Üre formaldehit reçine içeriğinde formaldehit miktarı azaldıkça EN 120 perforatör analiz sonucunun doğru orantılı olarak azaldığı ifade edilmiştir (Çamlıbel., 2021). Formaldehit gazı; insanlar tarafından düşük miktarda solunum yolu ile alınması kansere neden olabilir. Davis ve Dhingra (2001) yaptığı çalışmada formaldehitin kanserojen bir madde olduğunu açıklamışlardır.

Şahin ve ark. (2011) yaşam alanlarında formaldehitin havadaki konsantrasyonunun artması sonucunda insan sağlığına önemli etkileri olduğunu, sağlık problemi oluşturduğunu, formaldehit kullanımına bağlı olarak etki faktörü alanlarının tespiti ve gerekli önlemlerin alınması gerektiğini ifade etmişlerdir. Panel şeklindeki levhaların kenar bandı olmayanları kenar bandı olanlara göre daha fazla formaldehit gaz emisyonu yaymaktadır. Ortamda sıcaklık seviyesi artıkça levhadan dışarıya doğru formaldehit gaz salınımı artmaktadır. Yüksek sıcaklığa sahip ortamlarda formaldehit gaz emisyonunu azaltmak için; kompozit panellerin üretiminde mol oranı düşük üre formaldehit tutkalı tercih edilmesi ya da tabakalı ağaç malzeme kullanılmadan önce formaldehit gaz emisyonu azaltıcı işlemler uygulanması gerektiği açıklanmıştır (Keskin ve Tekin., 2015).

Gündüz ve Ayan (2014) orman endüstrisinde en yaygın olarak kullanılan formaldehit bazlı reçinelerin en yaygın ortam kirleticisi olduğunu ve Türkiye'de yasal düzenlemenin olmadığını fakat Avrupa ülkeleri, Amerika ve diğer ülkelerde yasal düzenlemenin olduğunu ifade etmiştir. Avrupa ülkeleri; Blue Angel, Ecolabel, E1 sınıfı belgeli ürünler ile Amerika da CARB phase-1 ve CARB phase-2 belgeli ürünlerin ithalatını kabul etmektedir.

Gelişmiş ülkeler, ahşap bazlı kompozit levha ürünlerinde, kendi standartlarına uygunluğu kabul görmüş ürünlerin ithalatına izin vermektedirler.

4. Sonuç

Yonga levha ve yongalam ürünlerinin üretim sürecinde, bu ürünlerden üretilen mobilya ve donatılarının son kullanım alanlarında açığa çıkan formaldehit gazı ve uçucu organik bileşenler insan sağlığına zarar vermektedir.

Bu çalışmada, TS 4894 EN 120 (1999) yöntemine göre 8 mm ve 18 mm yongalamlardaki formaldehit gaz salınımı ölçülmüştür. En düşük formaldehit gaz emisyonunun 18 mm levhada 4,80 mg/100 g olduğu görülmüştür. Formaldehit gaz ölçümü ≤ 8 mg/100g E1 sınıfı aralığında yer almıştır.

18 mm yongalam ürünler E1 standardında iken 8 mm yongalam ürünler E2 standardında yer almaktadır.

Üre - formaldehit bazlı reçine ile üretilen ahşap esaslı kompozit levhalardan üretilen mobilyalar; düzenli olarak ortama formaldehit emisyonu yaymaktadır. Ortamdaki formaldehit emisyon değerinin yüksek olması insanlarda sağlık problemlerine yol açmasıyla direkt ilişkilendirmişlerdir (Aksakal ve ark., 2005).

Bu nedenle formaldehit içerikli ürünlerin üretiminden son kullanıcıya kadar geçen süreçte ve formaldehit içerikli ürünlerden üretilen iç mekân yaşam alanlarına ait mobilya ve dekorasyon ürün donatılarında uluslararası yasal sınır referans aralığı alınarak gerekli önlemlerin alınmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Ahşap bazlı levha ürünlerinin formaldehit gaz emisyonları ve uçucu organik bileşikler (VOC) üzerine sürekli olarak yasal düzenlemeler ve standartlar geliştirilmektedir. Böylece formaldehitin çevreye ve insan sağlığına olan zararlarının minimum düzeye indirilmesi amaçlanmaktadır. Ahşap bazlı levha üreticilerine formaldehit gaz emisyonu yasal düzenleme sınırları getirilmesi sonucunda, üretici firmalar hem formaldehit içerikli reçineler üzerine ar-ge çalışmalarını artıracak hem de uluslararası piyasada ithalat üstünlüğü elde etmiş olabileceklerdir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Aksakal FN., Vaizoglu SA., Güler Ç. Mobilyadaki kimyasallar ve sağlık etkileri. STED/Sürekli Tıp Eğitim Dergisi, 2005; 14(12): 268-272.
- Akbulut T. Taslak rutubeti ve F/Ü mol oranının formaldehit emisyonu ve yongalevhaların bazı teknolojik özellikleri üzerine etkisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi 1998; 48(2): 23-39.
- ASTMD6007-02. Standard test method for determining formaldehyde concentration in air from wood products using small-scale chamber, April 2002, American Standard.
- Battelle. Determination of formaldehyde and diisocyanate emissions from indoor residential sources. Final Report 1996; CARB contract no:93-315 Research Division Sacramento, CA.
- Boran S., Usta M. Odun esaslı panellerde açığa çıkan formaldehit ve formaldehit sınırları hakkında bilgiler. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs 2010. V: 1968-1975, Artvin.
- Çolakoğlu G. Kontrplak üretim şartlarının formaldehit emisyonu ve teknik özelliklere etkisi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no:135, Trabzon, Türkiye,1993.
- Çamlıbel O. Influence of the multiday and continuous hot press on the physical, mechanical and formaldehyde emission properties of the particleboard. Maderas-Cienc Tecnol 2023; 25(9): 1-27.

- Çamlıbel O., Ayata Ü. Yüksek yoğunluklu lif levhalarda (HDF) bazı fiziksel, mekanik ve formaldehit emisyonu üzerine mol oranının etkisi. Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Alanında Teori ve Araştırmalar, Gece Kitaplığı Yayınevi, Ankara, Türkiye, Genel Yayın Yönetmeni: Eda Altunel, Editör: Nigâr Yarpuz Bozdoğan 19 Eylül 2020; 1-16.
- Çamlıbel O. Farklı mol oranlarıyla sentezlenen üre reçinelerinin yüksek yoğunlukta lif levhaların (HDF) fiziksel özelliklerine ve formaldehit emisyonuna etkisi. Türkiye Ormancılık Dergisi 2021; 22(1): 49-55.
- California Air Resources Board (CARB). Proposed airborne toxic control measure (ATCM) to reduce formaldehyde emissions from composite wood products”. California, USA. 2007. https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/barcu/regact/2007/compwood07/fro-final.pdf?_ga=2.209868048.487140327.1698695626-176281968.1698695625 . Erişim Tarihi: 10.05.2023.
- California Air Resources Board (CARB). Results of international interlaboratory comparison of composite wood product third party certifiers (TPC),” State of California: California Environmental Protection Agency, Air Resources Board, California, USA. 2010. <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/composite-wood-products-program/resources>. Erişim Tarihi: 29.10.2023.
- Davis G., Dhingra R. Choose green report 2001; Tennessee, Green Seal.
- Doğan K., Kaymakçı A. Farklı formaldehit/üre oranına sahip UF tutkalı ile üretilmiş yönlendirilmiş yonga levhaların (OSB) bazı fiziksel ve mekanik özellikleri. Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi 2022; 5(2): 167-173.
- Güller B. Odun kompozitleri. Turkish Journal of Forestry 2001; 2(1): 135-160.
- Gündüz M., Ayan S. Melamin kaplı yonga ve lif levhalarda formaldehit emisyonu belirleme yöntemleri. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 2014; 2: 433-443.
- Gündüz M. Bazı ahşap esaslı levhaların oda ve gaz analiz metoduna göre formaldehit emisyonlarının belirlenmesi. Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 37, Düzce, Türkiye, 2015.
- Emri G., Schaefer D., Held B., Herbst C., Zieger W., Horkay I., Bayerl C. Low concentrations of formaldehyde induce DNA damage and delay DNA repair after UV irradiation in human skin cells. Experimental Dermatology 2004; 13(5): 305-315.
- ISO/DIS12460. Wood-based panels—determination of formaldehyde release—formaldehyde emission by the 1m³ chamber method Draft, International Standard, January 2005.
- JISA1460. Building boards. Determination of formaldehyde emission—desiccator method, Japanese Industrial Standard, Japan, March 2001.
- Kaptı T., Ayrılmış N. Ahşap esaslı levhalardan ayrılan formaldehit emisyonu ve organik uçucu bileşikler için yönetmelikler ve standartlar. Uluslararası Malzeme Bilimi ve Teknolojisi Konferansı Kapadokya (Imstec’16), 6-8 Nisan 2016, sayfa no 4: Nevşehir.

- Kim S., Kim JA., An HY., Kim HJ., Kim SD., Park JC. TVOC and formaldehyde emission behaviors from flooring materials bonded with environmental friendly MF/PVAc hybrid resins. *Indoor Air* 2007; 17(5): 404-415.
- Keskin H., Tekin A. Farklı ortam koşullarında kompozit mobilya elemanlarından kaynaklanan formaldehit emisyonunun belirlenmesi. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi* 2015; 15(1): 120-132.
- Özlüsoy İ. Üre formaldehit tutkalının sodyumkarboksimetilselüloz ile modifikasyonun yonga levhaların bazı özellikleri üzerine etkisi, *Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, sayfa no: 88, Bartın, Türkiye, 2016.
- Risholm-Sundman M., Larsen A., Vestin E., Weibull A. Formaldehyde emission-comparison of different standard methods. *Atmospheric Environment* 2007; 41(15): 3193-320.
- Salem MZM., Böhma M., JSrbac A., Beránková J. Evaluation of formaldehyde emission from different types of wood-based panels and flooring materials using different standard test methods. *Building and Environment* 2012; 49: 86-96.
- Salem MZM., Böhm, M. Understanding of formaldehyde emissions from solid wood: An overview. *BioResources* 2013; 8(3): 4775-4790.
- Sıradağ H. Laminat parkelerde bekleme süresine bağlı olarak serbest formaldehit değişimi, *Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, sayfa no: 185, Bartın, Türkiye, 2019.
- Subaşı T., Çınar H., Çağatay K. Mobilya Sektöründe kullanılan kompozit malzemelerin insan yaşamına ve çevreye etkileri. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi* 2017; 6(3): 557-571.
- Şahin HT., Kaya Aİ., Sütçü A., Usta P., Çiçekler M., Bozkurt C. Ahşap esaslı malzemelerden formaldehit emisyonu ve etkileri. *Laminart* 2011; 73: 116-119.
- TS 4894 EN 120. Ahşap esaslı levhalar-formaldehit miktarının tayini- ekstraksiyon metodu ile formaldehit ayırma, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 1999.*
- TS EN 717-1. Ahşap esaslı levhalar-formaldehit salınımının tayini-bölüm1: oda metodu ile formaldehit yayılması, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2006.*
- TS EN 717-2. Ahşap esaslı levhalar-formaldehit ayrışması tayini-bölüm2: gaz analiz metodu ile formaldehit ayrışması, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 1999.*
- TS EN 717-3. Ahşap esaslı levhalar-formaldehit ayrışması tayini-bölüm3: Flask metodu ile formaldehit ayrışması, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 1999.*
- TS EN 13986. Yapılarda kullanılan ahşap esaslı levhalar-karakteristikler, uygunluğun değerlendirilmesi ve işaretleme, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2007.*
- URL-1. European Regulation for Formaldehyde, 2020, <http://owic.oregonstate.edu/sites/default/files/pubs/Schwab.pdf>. Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023
- URL-2. Autonomous Agreement on a European Action Guide regarding the prevention of formaldehyde exposure in the European panel industry and compliance with the occupational exposure limits,

2018, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://europanel.org/wp-content/uploads/2022/01/epf-broch-formaldehyde-eng.pdf. Erişim Tarihi: 20 Haziran 2023

Yeşil H. Kontrplaklarda tutkal karışımına ilave edilen boraksın mekanik özelliklere ve formaldehit emisyonuna etkisi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sayfa no:23, Kütahya, Türkiye, 2008.

Rüzgâr Türbinlerinin Tarımsal Amaçla Hayvan Barınaklarında Enerji Kaynağı Olarak Kullanılma Olanakları

Elif TÜRKBOYLARI^{1*}, Ahmet Nedim YÜKSEL²

¹Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, 59030, Tekirdağ

²Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 59030, Tekirdağ

¹<https://orcid.org/0000-0003-4658-8068>

²<http://orcid.org/0000-0002-0278-7498>

*Sorumlu yazar: eyuksel@nku.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 04.06.2023

Kabul tarihi: 12.11.2023

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Rüzgar enerjisi
Rüzgar türbini
Hayvan barınağı
Havalandırma
Soğutma

ÖZ

Kırsal kesimde bulunan hayvan barınaklarının enerji ihtiyacı, yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerjisi ile karşılanabilir. Bu ancak rüzgar enerjisi potansiyeli olan bölgelerde uygulanabilir. Rüzgar enerjisi potansiyeli yüksek olan Marmara Bölgesinde, rüzgar türbini kullanılarak üretilen elektrik, hayvan barınaklarının ihtiyacını karşılayacak durumdadır. Sistemden elde edilen elektrik enerjisi, hayvan barınaklarında mekaniksel havalandırma ve serinletme yapma imkanı sağlar. Taban alanı A_b ($9,4 \times 39,6 = 372,2 \text{ m}^2$) olan hayvan barınağında serinletme sistemi için, A_p ($14,9 \text{ m}^2$) ped alanı gerekir. Sistemde su sirkülasyonu için $0,2 \text{ kWh}$ gücünde sirkülasyon pompasına ihtiyaç vardır. Hayvan barınağının havalandırılması için, $0,75 \text{ kWh}$ gücünde, monofaze ve debisi $9500 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ olan aspiratörlerden 6 adet kullanılacaktır. Sistemin ihtiyaç duyduğu en yüksek enerji $4,7 \text{ kWh}$ 'tir. Rüzgâr enerjisinin iklimsel koşullara bağlı olarak rastgele değişkenlik göstermesi nedeniyle, ihtiyaç duyulan $4,7 \text{ kWh}$ 'ten %25-30 daha yüksek (6 kWh gibi) bir rüzgar türbini sistemi kullanılmalıdır. Projelenen rüzgar türbini havalandırma ve soğutma sisteminin maliyeti $22710 \text{ \$}$ dolayındadır.

Possibilities of Using Wind Turbines As a Source of Energy in Animal Barns for Agricultural Purposes

Research Article

Article History:

Received: 04.06.2023

Accepted: 12.11.2023

Published online: 11.03.2024

Keywords:

Wind energy
Wind turbine
Animal barn
Ventilation
Cooling

ABSTRACT

The energy needs of animal barns in rural areas can be met using wind energy, which is a renewable energy source. This can only be applied in regions with a wind energy potential. In the Marmara Region, which has high wind energy potential, the electricity produced by wind turbines can meet the needs of animal barns. The electrical energy obtained from the system, provides mechanical ventilation and cooling in animal barns. For the cooling system in the animal barn with a floor area of A_b ($9.4 \times 39.6 = 372.2 \text{ m}^2$), a pad area of A_p (14.9 m^2) is required. To circulate water in the system, a circulation pump with a power of 0.2 kWh is needed. For air circulation in the barn, six units of 0.75 kWh power, single-phase aspirators with a flow rate of $9500 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ will be sufficient for the system to work. The highest energy required by the system was 4.7 kWh . Because wind energy varies randomly depending on climatic conditions, a wind turbine system that is 25-30% higher (such as 6 kWh) than the required 4.7 kWh should be used. The cost of the projected wind turbine ventilation and cooling system was approximately $\$22710$.

Giriş

Sürekli değişen ve gelişen teknolojiye bağlı olarak artan enerji ihtiyacı insanlığın en büyük çıkmazlarından biridir. Ülkelerin gelişmişlik düzeylerini belirleyen etmenlerden biri de kullandıkları enerji miktarıdır. Günümüzde her ne kadar yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı hızla artsa da fosil enerji kaynakları birincil küresel enerji olmaya devam etmektedir. Ancak bu enerji kaynaklarının tükenbilir özellikte olması, fiyatlarının değişkenliği ve belirli yerlerden başka bölge ya da ülkelere taşınması gibi sakıncalı yönleri de bulunmaktadır. Bu sakıncalarının yanında sebep olduğu sera gazlarının dünya doğasına ve atmosferine verdiği zararlardan dolayı, ülkeler sağlıklı, temiz, sürdürülebilir enerji kaynakları olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedirler (Karık ve ark., 2017). Yenilenebilir enerji kaynakları, ülkenin enerji kaynaklarını çeşitlendirmenin yanında, çevre üzerindeki olumsuz baskıyı da azaltabilmektedir (Koçaslan, 2010).

Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak, enerjide dışa bağımlılığı azaltmak, ülkenin enerji sektöründe bağımsız olmasına yardımcı olabilir (Koçaslan, 2010). Rüzgar enerjisi, dünyada yenilenebilir enerji kaynakları arasında en hızlı gelişime sahip olan ve en fazla yatırım yapılan enerji türüdür.

Türkiye coğrafi konumu itibarıyla, rüzgar ve güneş enerjisi yönünden birçok ülkeye göre çok daha avantajlıdır. Bu sistemlerin ilk yatırım masraflarının yüksek olmasına karşın hammadde giderlerinin olmaması, enerji üretim maliyetlerini düşürmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının tarımsal işletmelerde, ekonomik olarak kullanılabilmesi yapılan çalışmalarda belirtilmektedir (Küsek ve ark., 2016; Yüksel ve Yüksel-Türkboyları, 2018).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar türbini sistemi ile fotovoltaik panel sistemleri, birbirinin alternatifi değil de birbirinin tamamlayıcısı olabilirler. Her iki sisteminde avantajlı ve dezavantajlı yönleri bulunmaktadır. Rüzgarın sürekli esmemesi ve güneşten sadece belirli zaman dilimlerinde yararlanılması, bu enerji sistemlerinin birbirlerinden bağımsız kullanımından ziyade, hibrit bir sistem olarak enerji arz güvenliği açısından avantaj sağlamaktadır (Türkdoğan ve ark., 2020). Ayrıca kış aylarında daha yüksek rüzgar enerjisi ve yaz aylarında daha yüksek güneş enerjisi potansiyelinin olması, bu sistemlerin sürdürülebilir enerji arzı açısından birlikte kullanılması daha uygun olur (Rezaei ve ark., 2018).

Tarımsal üretim kollarından biri olan hayvancılık, dünyada ve ülkemizde ekonomik, sosyal ve beslenme açısından önemli bir çalışma alanıdır. İnsanların sağlıklı beslenmesi için vücudun ihtiyacı olan kalori, protein, yağ ve karbonhidratların dengeli bir şekilde karşılanması gerekir (Karacan, 2017). Beslenmede büyük önem taşıyan hayvansal protein kaynağı olan et üretimimiz yeterli olmamaktadır. Ülkemizin kişi başına et tüketimi, gelişmiş ülkelere göre düşük olmakla birlikte, 2019 verilerine göre ortalama 36,1 kg'dır (Sığır 13,6 kg, kanatlı 21,0 kg, koyun 1,5 kg) (BESD-BİR, 2023).

Türkiye hayvansal üretim ve hayvan sayısı bakımından oldukça iyi bir potansiyele sahiptir. Ancak hayvanların verimi istenilen seviyenin altındadır. Bunun başlıca nedenleri arasında, hayvan varlığının büyük kısmının düşük verimli olması ve hayvan barınaklarının iyi planlanmaması nedeniyle, olumsuz çevre koşulları ile bakım ve beslenmenin yeterli olmaması sayılabilir.

Hayvan Barınaklarında Çevre Koşulları

Son zamanlarda hayvan barınaklarının tasarımında, hayvan sağlığı ve konforunun yani refahının sağlanması ön plana çıkmaktadır. Hayvanlardan yüksek verim elde edilebilmesi için, barınak ortamında uygun yaşam konforunun sağlanması gerekir. Bu durum, dolaylı olarak işletmenin verimliliği olarak kendini gösterecektir (Yüksel ve ark., 2000; Yılmaz ve ark., 2012). Hayvan barınaklarında yapılan üretim sırasında, hayvanların beslenme ve sağlık ihtiyaçlarının karşılanmasında teknik açıdan büyük zorluklarla karşılaşılmaz. Buna karşın barınak içindeki iklimsel çevre koşullarının düzenlenmesinde önemli sorunlar olduğu bilinmektedir (Barnwell, 1997; Karaca ve ark., 2016).

Hayvan barınaklarında uygun çevre koşullarının ve yaşam konforunun sağlanmasında, barınakların havalandırılması önemli rol oynamaktadır. Barınak için iklimsel ve kimyasal çevre koşulları, havalandırma ile hayvanlar için iyi bir seviyede tutulmuş olur. Barınak içindeki iklimsel çevre koşulları, hava sıcaklığı ve neminin dengelenmesi hava hareketi ile sağlanır. Kimyasal çevre koşulları ile barınak içindeki toz, zararlı mikroorganizma ve gazların (karbondioksit-CO₂, amonyak-NH₃ ve hidrojen sülfür-H₂S) oranları istenilen seviyede tutulmuş olur (Yüksel ve Şişman, 2015).

Tarımsal yapılarda doğal ve zorunlu (mekaniksel) havalandırma sistemleri kullanılmaktadır. Sıcak yaz aylarında, doğal havalandırma hayvan barınaklarında istenen etkiyi sağlayamaz. Böyle durumlarda hayvan barınaklarında yeterli havalandırma ve serinletme ancak zorunlu havalandırma ile yapılabilir. Zorunlu havalandırma için, elektrik enerjisine ihtiyaç vardır (Yüksel ve Yüksel-Türkboyları, 2018).

Hayvan barınaklarının genelde kırsal kesimde olması ve çevre koruma yasasına göre, yerleşim yerlerinden en az 1000 m uzağa yapılma zorunluluğu vardır. Bu zorunluluk bazen elektrik enerjisine ulaşmada sorun yaratabilir.

Kırsal kesimlerde, elektrik enerjisinin olmadığı, elektrik enerjisinin kesildiği zamanlarda veya enerji masrafını azaltmak amacıyla, rüzgar enerjisinden yararlanılarak rüzgar türbinleriyle elektrik enerjisi üretilebilir.

Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

Türkiye'de soğuk Karadeniz ve Kuzey Asya bozkırı ile sıcak Ege ve Akdeniz arasında, sürekli olarak bulunan alçak ve yüksek basınç merkezleri farklılıkları, Trakya, Güney Marmara, Ege ve Akdeniz kıyılarında kuvvetli ve sürekli rüzgar oluşturmaktadır (Koçaslan, 2010).

Rüzgar, güneş kaynaklı radyasyonun yer yüzeyini farklı ısıtmasından kaynaklanır. Yer yüzeyinin farklı ısınması, havanın sıcaklığının, neminin ve basıncının farklı olmasına, bu farkta havanın hareketine neden olur. Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık %2'si rüzgar enerjisine dönüşür.

Rüzgarın özellikleri, yerel coğrafi farklılıkları ve yeryüzünün homojen olmayan ısınmasına bağlı olarak, zamana ve yöreye göre farklılık gösterir. Rüzgar yön ve hız olarak iki farklı parametre ile ifade edilir. Rüzgar hızı yükseklikle artar ve teorik gücü de hızının küpü ile orantılı olarak değişir (Anonim, 2023a).

Tekirdağ İli Rüzgar Enerjisi Potansiyeli

Rüzgar hızının yüksek olduğu Marmara Bölgesinde bulunan Tekirdağ'ın rüzgar enerjisi potansiyeli verileri Tablo 1'de verilmiştir. Bu rüzgar hızları yerden 2 m yükseklikte ölçülmektedir.

Tablo 1. Tekirdağ-Merkez ilçesi uzun yıllar ortalama aylık hakim rüzgar yönü ve rüzgar hızı verileri (1940-2018) (ÇŞB, 2020)

Aylar	Rüzgar Hızı (ms ⁻¹)	Rüzgar Yönü	Aylar	Rüzgar Hızı (ms ⁻¹)	Rüzgar Yönü
Ocak	NW (% 15.40)	NW (% 15.40)	Temmuz	NE (% 12.60)	NE (% 12.60)
Şubat	NW (% 12.81)	NW (% 12.81)	Ağustos	NE (% 15.80)	NE (% 15.80)
Mart	NE (% 11.56)	NE (% 11.56)	Eylül	NE (% 12.69)	NE (% 12.69)
Nisan	WNW (% 10.49)	WNW (% 10.49)	Ekim	NW (% 14.29)	NW (% 14.29)
Mayıs	WNW (% 10.89)	WNW (% 10.89)	Kasım	NW (% 14.77)	NW (% 14.77)
Haziran	WNW (% 13.90)	WNW (% 13.90)	Aralık	NW (% 15.98)	NW (% 15.98)
			Yıllık Ortalama	NW (% 13.36)	NW (% 13.36)

Rüzgar hızı yükseklikle artmaktadır. Bu konuda Burdur'un Ağlasun ilçesinde yapılan bir çalışmada 2 m yükseklikte 1,05 ms⁻¹ olarak ölçülen rüzgar hızı, farklı yöntemlerle, 60 m yüksekliğe göre hesaplanmış ve 2,86 kat artarak 3,0 ms⁻¹ olarak bulunmuştur. Yine 3,0 ms⁻¹ olarak ölçülen rüzgar hızı 60 m'de 2,4 kat artarak 7,21 ms⁻¹ olarak hesaplanmıştır (Dikmen ve Örgen, 2018). Hesaplama 60 m yükseklikteki rüzgar hızının göz önüne alınmasının nedeni, genelde rüzgar türbinlerinin hub (rotor göbeği) yüksekliğinin bu yükseklikte olmasıdır.

Tablo 1'de Tekirdağ için verilen değerlerinde, yükseklikle önemli ölçüde artacağı belirtilebilir.

Rüzgar santrali potansiyeli verilerine göre, rüzgar santrali kurulumu yönünden Tekirdağ ili Türkiye'de ön sıralarda (7. sırada) bulunmaktadır. Tekirdağ rüzgar enerji santrali teorik olarak potansiyeli 4627 MWe olmakla birlikte, devrede 183 ve inşa halinde 96 adet rüzgar türbini sistemi bulunmaktadır (Anonim, 2023b).

Bu çalışmanın amacı, hayvan barınaklarında zorunlu havalandırma için gerekli olan elektrik enerjisi ihtiyacının rüzgar türbinleri enerji sistemi ile karşılanmasının sağlanmasıdır. Genelde hayvan barınaklarının bulunduğu kırsal kesimlerde elektrik şebekesi bulunmamaktadır. Hayvan barınaklarında kurulacak rüzgar türbini sisteminden elde edilecek elektrik enerjisi ile, fan ve ıslak yastık (ped) sistemi kullanılarak barınanın havalandırılması ve serinletilmesi sağlanabilir.

Materyal ve Metot

Materyal

Araştırma alanı olan Tekirdağ ili, Türkiye'nin kuzey-batısında ve Trakya Bölgesi'nde yer almaktadır. Trakya Bölgesi, Türkiye'nin Avrupa kıtasında 26°-29° doğu boylamları ve 40°-42° kuzey enlemleri arasında yer alır. Tekirdağ, Marmara Denizinin kuzeyinde ve 6313 km² yüzölçümüne sahiptir. İl içerisinde genel olarak, yüksek dağlar, dik yamaçlar ya da vadiler yoktur. Tekirdağ, genel nemlilik indislerine göre hidrografik bölgelerden, yarı nemli iklim tipi içine girmekte olup, yaz ve kış mevsimlerinde rüzgarlıdır (Anonim, 2021).

Rüzgar enerjisi potansiyel atlasına göre, ülkemizde Tekirdağ ve Marmara Denizi sahilleri yüksek rüzgar hızına sahiptir (Karık ve ark., 2017; Tunus, 2019). Bu nedenle, Tekirdağ rüzgardan elektrik enerjisi üretmek yönünden önemli bir avantaja sahiptir.

Tekirdağ'da besi sığırı ahırlarında havalandırma ve serinletme yapmak amacıyla, yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerjisinden yararlanmak için bir proje tasarlanmıştır. Mekaniksel havalandırma ve serinletme sistemlerinin projeleneceği 60 başlık duraklı serbest besi sığırı ahırının boyutları 9,4x39,6 m'dir (Yüksel ve ark., 1998).

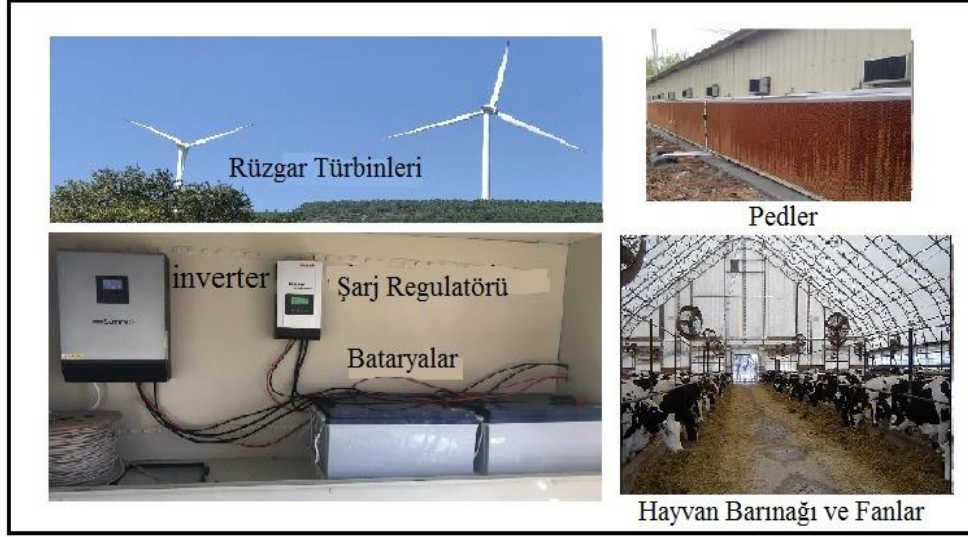
Boyutları belirtilen 60 hayvan barındırılan besi sığırı ahırını için havalandırma fanları, serinletme için ped (ıslak yastık) ve bunlara enerji üretecek rüzgar türbini sisteminin projelendirilmesi yapılacaktır.

Hayvan Barınaklarında Rüzgar Türbini Sisteminin Tasarımı

Rüzgar türbinleri, rüzgar enerji santrallerinin ana yapı elemanı olup, hareket halindeki havanın kinetik enerjisini öncelikle mekanik enerjiye ve sonrasında elektrik enerjisine döndüren makinelerdir. Rüzgar türbinleri, elektrik enerjisi üretimine ancak belirli bir rüzgar hızında başlayabilmektedir. Bir rüzgar türbini cut-in (en düşük) ve cut-out (en yüksek) rüzgar hızları arasında enerji üretimi gerçekleştirir. Modern rüzgar türbinlerinin cut-in hızları 2-4 ms⁻¹, nominal hızları 10-15 ms⁻¹ ve cut-out hızları ise 25-35 ms⁻¹ arasındadır. Her bir rüzgar türbini için belirlenmiş bir rüzgar hızında sistemden elde edilen güç en büyük değere ulaşır. Bu en büyük güce nominal güç ve bu rüzgar hızına da nominal hız denilmektedir. Sistemin hasar görmemesi için, cut-out rüzgar hızından sonra, rüzgar türbinlerinin stop konumuna geçmesi otomatik olarak sağlanır (Anonim, 2023a).

Rüzgar türbini sisteminin yapısında uygulamaya bağlı olarak rüzgar türbini, akümülatör, akü şarj denetim birimi (şarj regülatörü), evirici (inverter), çeşitli elektronik devreler ve komuta merkezi bulunabilir (Toprak, 2011; Şenel ve Koç, 2015). Bu sistemde ihtiyaç duyulan güçteki rüzgar türbini enerji kaynağı olarak kullanılır. Rüzgar enerjisinin arz-talep uyumsuzluğu, yani ihtiyaç duyulan zamanda enerji üretiminin yapılamaması nedeniyle, sisteme aküler bağlanır. Aküler rüzgarın olmadığı zamanlarda sisteme enerji sağlarlar. Akülerin aşırı şarj olmasını ya da deşarj olmasını önlemek için, sisteme şarj regülatörü eklenir. Böylece akülerin kullanım süreleri uzamış olur. Şarj regülatörü akünün durumuna göre, rüzgar türbininden gelen akımı veya barınakta kurulan elektrik sisteminin akımını keser. Sistemde 220 V 50 Hz'lik alternatif akım kullanılacaksa veya şehir şebekesine akım

verilecekse, sistemde evirici (inverter) kullanılmalıdır (Toprak, 2011; Şenel ve Koç, 2015). Rüzgar türbini sistemi ile hayvan barınaklarında havalandırma ve serinletmeyi sağlayacak, fan-ıslak yastık (ped) sistemi Şekil 1’de görülmektedir (Yüksel ve Yüksel-Türkboyları, 2018). Şekil 1’de gösterilmiş olan inverter, şarj regülatörü ve bataryalar (aküler) Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiş proje kapsamında alınmıştır. Rüzgar türbini görseli ise Karşıyaka Mevkii’nde (Yalova) fotoğraflanmıştır.



Şekil 1. Rüzgar türbini sistemi ile hayvan barınaklarında havalandırma ve serinletme sisteminin elemanları

Hayvan barınaklarında havalandırma ve suyun farklı şekillerde kullanımı ile serinletme yapılabilir (Yağcıoğlu, 2005; Yüksel ve Şişman, 2015; Yüksel ve Yüksel-Türkboyları, 2018). Hayvan barınaklarında serinletme sistemleri, fanlar, ıslak yastıklar (ped), sirkülasyon pompası, su iletim boruları ve su deposundan oluşur. Suyun hayvan barınaklarında serinletmede kullanılmasında, genelde suyun buharlaşmasından yararlanır. Suyun buharlaştırılması, ıslak ve gözenekli bir yapıya sahip olan pedlerin kullanımı ile olur. Suyun soğutmadaki etkisi, bir gram su buharlaşırken havadan 598 cal (2500 J) duyulur ısı almasından kaynaklanır. Bu suyun buharlaşması için gereken buharlaşma gizli ısısının tamamına yakını havanın duyulur ısısından alınır. Böylece suyun buharlaşması için enerjisini kullanan ve barınağa giren havanın sıcaklığı da düşmüş olur. Islak yastıklarla barınak içi sıcaklığı, yörenin iklimine ve mevsimlere göre 6 ile 16 °C arasında değişmektedir (Abdalla ve Narendran, 1991; Barnwell, 1997; Karaca ve ark., 2016).

Hayvan barınaklarında ıslak yastıkların kullanılabilmesi için, mekaniksel havalandırmaya ihtiyaç vardır. Islak yastıkların bulunduğu barınak duvarının karşısındaki duvara aspiratörler yerleştirilir. Böylece aspiratörlerle barınak dışına atılan sıcak havanın yerine, ıslak yastıklardan geçen nemli ve serin hava barınak içine dolar (Boyacı ve ark., 2012; Yüksel ve Şişman, 2015; Yüksel ve Yüksel-Türkboyları, 2018).

Hayvan barınağındaki havalandırma miktarı, barınak iç hacmine veya barınaktaki hayvan sayısına göre hesaplanabilir. Yaz aylarında bir hayvan için yapılacak havalandırma miktarı, denemenin yapıldığı yerin coğrafi konumuna ve yapıldığı mevsimlere göre büyük farklılıklar göstermektedir. Eğer deneme ılık ve serin yerlerde yapıldıysa, 500 kg canlı hayvan ağırlığı için havalandırma miktarı, $170 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ile $250 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ oranındadır (Yüksel ve Şişman, 2015). Sıcak yörelerde yapıldıysa havalandırma miktarı, $500 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ile $800 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ arasında değişmektedir (Yüksel ve ark., 2000).

Hayvan Barınaklarında Soğutma Sistemleri

Barınaklarda sıcak mevsimlerde serinletmenin belirli bir ölçüde sağlanması, hayvanlardaki sıcaklık stresini en aza indirmede yarar sağlamaktadır. Böylece sağlıklı, kaliteli ve verimli bir üretimin sürdürülmesine imkan verir (Yağcıoğlu ve ark., 2006; Yüksel ve Şişman, 2015).

Besi sığırı ahırlarında optimum sıcaklık sınırları 10 ile 16 °C arasında değişse de, soğuk mevsimlerde optimum sıcaklık 7 °C'ye kadar düşürülebilir. Kritik yüksek sıcaklık 22-25 °C'den sonra başlar. Bu sıcaklıktan sonra ahırların serinletilmesi gerekir. Büyükbaş hayvanların yüksek sıcaklığa toleransı, düşük sıcaklığa göre daha azdır. Yani hayvanlar yüksek sıcaklıktaki koşullara uyum sağlamada zorlanırlar (Yüksel ve ark., 1998; Yüksel ve Şişman, 2015).

Tekirdağ koşullarında dış hava sıcaklığına göre, barınaktaki hayvanların yaşam konforunu sağlamak amacıyla, barınakta ısıtma, havalandırma ve serinletme yapılması gereken aylar vardır. Dış hava sıcaklığının 7 °C'nin altına düştüğü aylar Aralık, Ocak, Şubat ve Marttır. Düşük sıcaklıklarda barınak içinde nem yoğunluğunun artması, barınak çalışanları ve hayvanları rahatsız eder. Bu nedenle, barınakta ısıtma yapılması gerekebilir. Dış hava sıcaklığının 7 ile 22 °C arasında olduğu Nisan, Mayıs, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında havalandırma ihtiyacı olmaktadır. Dış hava sıcaklığının yüksek olduğu ve 22-24 °C'nin üstüne çıktığı Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında ise havalandırmayla birlikte serinletmede yapılmalıdır. Hava sıcaklığının yüksek olduğu günlerde yapılacak zorunlu havalandırma, ıslak yastıklarla desteklenmelidir (Yüksel ve Şişman, 2015; Yüksel ve Yüksel-Türkboyları, 2018).

Bulgular ve Tartışma

Hayvan Barınaklarında Kullanılacak Fan-Ped Sistemlerinin Projelenmesi

Islak yastığın (ped) projesinin yapılacağı, 60 başlık besi sığırı ahırının boyutlarının bilinmesi gerekir. Duraklı besi sığırı ahırının eni 9,4 m, boyu 39,6 m ve yüksekliği 3,0 m'dir (Yüksel ve ark., 1998).

Islak yastıkların projelendirilmesinde Yüksel ve Şişman 2015 ve Yüksel ve Yüksel-Türkboyları, 2018 kaynaklarından yararlanılmıştır.

Hayvan barınağının her 25 m² taban alanı için, 1 m² ıslak yastık alanına ihtiyaç vardır. Taban alanı 372,2 m² (9,4x39,6) olan barınak için gerekli ped alanı şöyle bulunabilir (Eşitlik 1).

$$A_p = A_b/A_1 \quad (1)$$

$$A_p = \frac{372,2}{25} = 14,9 \text{ m}^2$$

Bu ıslak yastığın günlük su ihtiyacı, sıcak günlerde 1 m² yastık alanı için 30-40 L kadardır (Bucklin ve ark., 1993). Pedin ıslanması için, su deposunda suyun pede taşınmasına 0,2 kWh'lik küçük bir sirkülasyon pompası yeterli olur.

Hayvan barınaklarında havalandırma miktarı, barınağın bulunduğu coğrafi konum, mevsim ve hayvan sayısına göre belirlenir. Türkiye'nin kuzey bölgeleri için bu değer, 500 kg canlı ağırlık için 400 m³ h⁻¹ olarak alınabilir. Ülkemizde besi sığırlarının ortalama ağırlığı 700-750 kg olması nedeniyle, daha önce belirtilen rakamların %50 oranında artırılması gerekir. Bu durumda hayvan başına kullanılacak havalandırma miktarı 600 m³ h⁻¹'i bulur. Hayvan sayısına göre barınaktaki havalandırma miktarı (Eşitlik 2):

$$Q_t = Q_1 \times n$$

(2)

$$Q_t = 600 \times 60 = 36000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

şeklinde hesaplanabilir.

Barınak boyunun 25-30 m'yi geçmesi durumunda aspiratörler yeterli etkiyi gösteremez. Barınağın orta kısımlarında hava değişimi zorlaşır. Bu nedenle uzun hayvan barınaklarında orta kısımlara da 2 adet aspiratör yerleştirilerek istenilen havalandırma sağlanır (Yüksel ve Yüksel-Türkboyları, 2018).

Barınakta hayvanların ihtiyacına göre aspiratörler, bireysel veya grup halinde çalıştırılabilir. Ahırlarda bu havalandırma miktarını sağlayacak 60 cm çaplı, 1400 rpm (dd⁻¹), 0,75 kWh ve debisi 9500 m³ h⁻¹ olan aspiratörler kullanılacaktır (Anonim, 2022).

Havalandırma için aspiratör sayısı (Eşitlik 3):

$$n_a = Q_t/Q_a$$

(3)

$$n_a = \frac{36000}{9500} = 3,8 \sim 4 \text{ adet}$$

olarak bulunur. Uzun olan ahırın ortasına da 2 adet aspiratör yerleştirileceği için sistemdeki aspiratör sayısı 6 olur.

Sistemin toplam enerji ihtiyacı (Eşitlik 4):

$$0,75 \text{ kWh} \times 6 + 0,2 \text{ kWh} = 4,7 \text{ kWh}$$

(4)

olarak bulunur.

Bu havalandırma sisteminin verimli bir şekilde çalışabilmesi için, hesaplanan 4,7 kWh'ten daha büyük 6,0 kWh gibi bir rüzgar türbini sistemine ihtiyaç vardır. Zira rüzgâr türbininin enerji üretiminde zaman uyumsuzluğu sorunu vardır. Yani enerjiye ihtiyaç olan zamanda enerji üretiminin yapılamaması sorunudur (Tunus, 2019). Ayrıca rüzgarın sürekli dalgalı esmesi veya hiç esmemesi istenilen enerjiyi üretmeye engel olur. Bu nedenlerle ihtiyaçtan daha büyük bir sistem tercih edilmelidir. Sistem verimli olarak çalışırken, sistemden artan enerji daha sonra barınakta kullanılmak üzere, akülerde depo edilebilir. Aynı zamanda fazla enerji hayvan barınaklarında kullanılan hidroforda, gübre sıyırma makinasında veya iç aydınlatmada kullanılabilir.

Hayvan barınaklarında çevre koşullarının sağlanması ile hayvanların genetik yapı ve ırk özelliklerine bağlı olarak büyümesi, gelişmesi, yaşam konforu ve verimi artırılmış olur. Barınak çevre koşullarının sağlanmasında barınak havalandırması önemli rol oynar. Havalandırma hayvanların solunum ve diğer yaşamsal faaliyetleri sonucu ortaya çıkan kirli, nemli ve sıcak havanın yerine temiz havanın barınağa alınmasıdır. Barınaklarda hava değişimi dış hava koşullarına bağlı olmadan en iyi şekilde zorunlu havalandırma ve fan-ped sistemi ile sağlanır (Yüksel ve Şişman, 2015). Bu bağlamda, uygun oransal nem, hava hareketi, radyasyon, aydınlatma, hava kalitesi, barınağın havalandırma ve yalıtım özellikleri, yemleme sistemi, su temini, ses ve koku koşulları iyi organize edilmiş bir hayvan barınağı ile hayvan refahı artmakta ve verim yükselmektedir (Ekmekyapar, 2001).

Ülkemiz insanının sağlıklı bir şekilde yaşaması, ekonomik ve sosyal standardının artmasının önemli öğelerinden biri de yeterli ve dengeli beslenmektir (Karacan, 2017). Birim hayvan başına verimin artması, yeterli protein alamayan ülke insanların et ve süt ihtiyacının karşılanmasında önemli rol oynar. Böylece ülke insanının protein açığı da karşılanmış olur.

Havalandırma ve Soğutma Sisteminin Maliyet Analizi

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde, birim enerji maliyeti uygun olan sistemlerden biri rüzgar türbini sistemidir. Rüzgar türbini enerji sistemleri marka ve üretilen ülkelere göre farklılıklar göstermektedir. Ancak rüzgar türbini sistemlerinin maliyeti yüksek ve kWh başına maliyeti 2500 \$ dolayında olduğu görülmektedir (Erkoç, 2019; Türkdoğan ve ark., 2020).

Rüzgar türbini sistemi 6 kWh olup, değeri 15000 \$'dır. Bunun taşıma ve kurulum maliyeti de 3000 \$ kadardır. Sistemde kullanılan türbinin toplam maliyeti 18000 \$ olur.

Sistemde havalandırmada kullanılan aspiratörlerin taşıma ve montaj birim maliyeti 500 \$ olup, toplam 6 adet aspiratörün maliyeti 3000 \$'dır (Anonim, 2023c).

Barınağa giren havanın soğutulması için kullanılan pedin metrekaresi fiyatı 20 \$ olup, 15 m² ped 300 \$ olur (Anonim, 2023d). Buna nakliye ve montajda dahil edilirse, ped sistemi 360 \$'a mal olur. Pede su sağlayan pompada 50 \$'dır (Anonim, 2023e).

Sistemde kullanılacak 150 Ah jel akünün birim maliyeti 278 \$'dır. Taşıma ve montajla toplam 4 akünün maliyeti 1300 \$ olur (Anonim, 2023f).

Toplam olarak havalandırma ve soğutma sisteminin maliyeti 22710 \$'ı bulmaktadır.

Sonuçlar

Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgar enerjisinin tarımda kullanılması, elektrik enerjisi sorununu çözmeye yardımcı olacaktır. Hayvansal üretimde esas amaç, kaliteli ve yüksek bir verim için, ahır içi çevre koşullarında yaşam konforunun sağlanmasıdır. Ancak ülkemizde hayvan barınaklarında geniş şekilde doğal havalandırma sistemi uygulanır. Doğal havalandırma sıcak mevsimlerde, barınaklarda istenilen çevre koşullarını sağlayamaz. Hayvan barınaklarında yaşam konforunun sağlanmasında mekaniksel havalandırma daha etkili olacaktır. Mekaniksel havalandırma ile hava sıcaklığı, nemi, barınak havasındaki toz, zararlı mikroorganizma ve gazların oranları istenilen seviyede dengelenir.

Hayvan barınaklarında etkili havalandırma ve serinletme yapabilmek için, fan-ped sistemi kullanmak gerekir. Fan-ped sisteminin kullanılması için, elektrik enerjisine ihtiyaç vardır. Ancak hayvan barınaklarının yerleşim yerlerinin uzağında ve kırsal kesimde bulunması zorunluluğu, elektrik enerjisi kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu sorun, rüzgar potansiyeli iyi olan Marmara Denizi kıyılarında rüzgar türbinlerinin kullanımı ve elde edilecek elektrik enerjisi ile aşılabilir. Ülkemizin rüzgar enerjisi yönünden uygun olan bölgelerinde, rüzgar enerjisi sistemlerini tarımsal amaçlı olarak kullanmak mümkündür.

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

Abdalla AM., Narendran R. Fog emitters as evaporative cooling devices for dairy cow sheds.

Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America (AMA) 1991; 22(1): 73-76.

Anonim. www.tekirdag.ktb.gov.tr/TR75726/genel-bilgiler.html (Erişim tarihi: 25.01.2021)

Anonim. www.hvacturk.com/urun/ayas-60-cm-7-kanatli-sanayi-tipi-aspirator (Erişim tarihi: 26.10.2022)

Anonim. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-ruzgar> (Erişim tarihi: 02.04.2023). 2023a.

Anonim. <https://www.enerjiatlas.com/ruzgar-enerjisi-haritasi/turkiye> (Erişim tarihi: 02.09.2023). 2023b.

Anonim. <https://www.fansanmarket.com/urun/sanayi-aspiratoru-harici-motorlu-kare-kasa-9500-m3h-cap-60-cm/146/> (Erişim tarihi: 01.09.2023). 2023c

Anonim. <https://turkish.alibaba.com/p-detail/Agriculture-60708802282.html?spm=a2700.7724857.0.0.332a4dd40GozfY> (Erişim tarihi: 01.09.2023). 2023d.

- Anonim. <https://www.hepsiburada.com/klpro-klpsp256-100watt-sirkulasyon-pompa-pm-HBC00000E6SPM> (Erişim tarihi: 01.09.2023). 2023e.
- Anonim. <https://www.acdc.com.tr/tr/jel-aku-hakkinda.htm?id=121507150> (Erişim tarihi: 01.09.2023). 2023f.
- Barnwell R. Evaporative cooling systems. Technical news, Quarterly Publication of Cobb-Vantress, 1997; 5(2).
- BESD-BİR. <https://besd-bir.org/assets/uploaded/Tr-kisi-basina-turlere-gore-et-tuketimi.pdf> (Erişim tarihi: 17.08.2023)
- Boyacı S., Akyüz A., Gençoğlan S., Baydar ř. Etlik piliç kümeslerinin fan ped sistemiyle serinletilmesi. II. Ulusal Sulama ve Tarımsal Yapılar Sempozyumu, 24-25 Mayıs 2012, sayfa no: 949-954, İzmir.
- Bucklin RA., Henley RW., McConnel DB. Fan and pad greenhouse evaporative cooling systems. University of Florida, Florida Cooperative Extension Service, Circular 1135; 1993.
- ÇŞB, 2020. T.C. Tekirdağ Valiliği Çevre ve şehircilik İl Müdürlüğü, Tekirdağ İli Temiz Hava Eylem Planı. https://webdosya.csb.gov.tr/db/tekirdag/menu/temiz-hava-eylem-planı-2020-2024-s_20201016045422.pdf (Erişim tarihi: 01.09.2023)
- Dikmen E., Örgen FK. Ağlasun bölgesi için rüzgar hızı tahmini ve en uygun türbin tespiti. Niğe Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2018; 7(2): 871-879.
- Ekmekyapar T. Tarımsal yapılar. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları no: 204: Erzurum; 2001.
- Erkoç R. Güneş enerjisi santrallerinin modellenmesi, ekonomik analizi ve değerlendirme: Almanya ve Türkiye uygulamaları. Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:106, Ordu, Türkiye, 2019.
- Karacan R. Türkiye’de kırmızı et talebinin, beyaz et tüketimi ve gelir dağılımı açısından değerlendirilmesi. Finans Politik ve Ekonomik Yorumlar 2017; 54(630): 67-73.
- Karaca C., Yıldız Y., Dağtekin M., Gümüş, Z. Effect of water flow rate and cooling effectiveness and air temperature change in evaporative cooling pad systems. Environmental Engineering and Management Journal 2016; 15(4): 827-833.
- Karık F., Sözen A., İzgeç MM. Rüzgar gücü tahminlerinin önemi: Türkiye elektrik piyasasında bir uygulama. Politeknik Dergisi 2017; 20(4): 851-861.
- Koçaslan G. Sürdürülebilir kalkınma hedefi çerçevesinde Türkiye’nin rüzgar enerjisi potansiyelinin yeri ve önemi. Sosyal Bilimler Dergisi 2010; 1: 53-61.
- Küsek G., Öztürk HH., Akdemir ř. Tarım işletmelerinde güneş enerjisinden elektrik üretiminin teknolojik uygulanabilirliği. 13. Ulusal Kültürteknik Kongresi, 12-15 Nisan 2016, sayfa no: 127-136, Antalya.

- Rezaei M., Mostafaeipour A., Qolipour M., Tavakkoli-Moghaddam R. Investigation of the optimal location design of a hybrid wind-solar plant: A case study. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2018; 43(1): 100-114.
- Şenel MC., Koç E. Dünya’da ve Türkiye’de rüzgar enerjisi durumu-genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 2015; 56(663): 46-56.
- Toprak A. Elektrik üretimi için düşük güçlü rüzgar enerji sistemi tasarımı. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:82, Konya, Türkiye, 2011.
- Tunus O. Bursa’da yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretim potansiyelinin ekonomik analizi. Bursa Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:141, Bursa, Türkiye, 2019.
- Türkdoğan S., Mercan MT., Çatal T. Şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemleri kullanılarak 40 hanelik bir topluluğun elektrik ve termal yük ihtiyacının karşılanması: Teknik ve ekonomik analizleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2020; 18: 476-485.
- Yağcıoğlu A. Sera mekanizasyonu. Ege Üniversitesi Yayınları Ziraat Fakültesi Yayın No: 562: İzmir; 2005.
- Yağcıoğlu A., Günhan T., Demir V. Tarımsal yapılarda nemli yastıklarla serinletme. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi* 2006; 2(4): 381-388.
- Yılmaz Hİ., Ünal HB., Alkan İ. Süt sığırcılığında ahır konstrüksiyonlarının inşaat maliyeti ve hayvan refahı yönünden değerlendirilmesi. II. Ulusal Sulama ve Tarımsal Yapılar Sempozyumu, 24-25 Mayıs 2012, sayfa no: 941-948, İzmir.
- Yüksel AN., Kocaman İ., Ergün N. Besi sığırcılığı, ahırların planlanması. Hasad Yayıncılık Ltd. Şti.: İstanbul; 1998.
- Yüksel AN., Soysal Mİ., Kocaman İ., Soysal Sİ. Süt sığırcılığı temel kitabı (süt sığırı ahırlarının planlanması / süt sığırı yetiştiriciliği). Hasad Yayıncılık Ltd. Şti.: İstanbul; 2000.
- Yüksel AN., Şişman CB. Hayvan barınaklarının planlanması. Hasad Yayıncılık: İstanbul; 2015.
- Yüksel AN., Yüksel-Türkboyları E. Using the photovoltaic cells for ventilation and cooling of the animal barns. 1st International 14th National Congress on Agricultural Structures and Irrigation (ICASI-2018), 26-28 September 2018, page no: 49-55, Antalya.

Lityum İyon Pillerde Farklı Deşarj Hızlarında Oluşan Sıcaklık Profillerinin Deneysel ve Sayısal Olarak Karşılaştırılması

Emre TORUN^{1*}, Ertan BUYRUK²

¹Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 58140, Sivas

²Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 58140, Sivas

¹<https://orcid.org/0000-0003-4823-7843>

²<https://orcid.org/0000-0002-6539-7614>

*Sorumlu yazar: emretorun@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 28.09.2023

Kabul tarihi: 17.11.2023

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Elektrikli araç

Lityum iyon bataryalar

Bataryalarda ısı üretimi

Bataryaların termal modellenmesi

ÖZ

Elektrikli araçlar ihtiyaç duydukları elektrik enerjisini batarya sistemlerinden sağlarlar. Motorun çalışması için gerekli gerilim ve akım değerleri araç bataryaları tarafından sağlanır ve bu şekilde aracın hareket etmesi sağlanır. Batarya hücreleri hem şarj olurken hem de aracın kullanım sırasında deşarj olurken yüksek miktarda ısı enerjisi açığa çıkarılırlar. Bataryaların maksimum verimde ve yüksek ömürde çalışabilmeleri için gerekli şartlardan biri de batarya çalışma sıcaklığını belirli aralıkta tutmaktır. Sunulan bu çalışmada elektrikli araçlarda kullanılan 18650 tip Lityum İyon bataryalarında farklı deşarj hızlarında oluşan sıcaklık değerleri deneysel olarak ölçülmüş, sonuçlar Ansys programı Fluent Modülünde sistemin modellenerek elde edildiği sayısal veriler ile kıyaslanmıştır. Sistem modellenirken batarya ısı üretimi Fluent’de kullanıcı tanımlı fonksiyon (UDF) yazılarak hesaplanmış ve sayısal çözüme girdi olarak dâhil edilmiştir. Sayısal modelleme ile elde edilen sonuçların deneysel sonuçlar ile uyumlu olduğu ve özellikle düşük deşarj hızlarında bağıl hatanın oldukça düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Experimental and Numerical Comparison of Temperature Profiles Created at Different Discharge Rates in Lithium Ion Batteries

Research Article

Article History:

Received: 28.09.2023

Accepted: 17.11.2023

Published online: 11.03.2024

Keywords:

Electric vehicle

Lithium-ion batteries

Heat generation in batteries

Thermal modelling of batteries

ABSTRACT

Electric vehicles provide the electrical energy they need from battery systems. The voltage and current values required for the engine to run are provided by the vehicle batteries, thus enabling the vehicle to move. Battery cells release high amounts of heat energy both while charging and discharging during use of the vehicle. One of the necessary conditions for the batteries to work at maximum efficiency and high lifetime is to keep the battery operating temperature within a certain range. In this study, the temperature values of 18650 type Lithium Ion batteries used in electric vehicles at different discharge rates were experimentally measured, and the results were compared with the numerical data obtained by modeling the system in the Fluent Module of the Ansys program. While modeling the system, the heat generation rate of the battery was calculated using user defined function (UDF) in Fluent and included as an input to the numerical solution. It has been observed that the results obtained by numerical modeling are compatible with the experimental results and the relative error is quite low, especially at low discharge rates.

To Cite: Torun E., Buyruk E. Lityum İyon Pillerde Farklı Deşarj Hızlarında Oluşan Sıcaklık Profillerinin Deneysel ve Sayısal Olarak Karşılaştırılması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(2): 622-637.

1. Giriş

Toplam dünya nüfusunun zamanla artmasıyla hem gıda hem de enerji kaynaklarında kısıtlılık oluşmakta ve mevcut kaynaklar kâfi gelmemekte, kaynaklardaki kısıtlılık ise insanlığın ihtiyaçları için farklı alternatif arayışlarına yol açmakta olup bilim insanları 21. yüzyılda gıda ve enerji kaynaklarının yetersiz kalmaya başlaması, yeni fosil kaynakların bulunamaması ve rezervlerin azalması nedeniyle farklı enerji kaynaklarını kullanabilen ve depolayabilen daha etkin ve çevre dostu alet ve araçları araştırmaya yönelmiştir (Torun ve Buyruk, 2023). Bu araştırmalardan biri olan elektrikli araç çalışmaları bilhassa son yıllarda önem kazanmıştır. Özellikle son on yılda elektrikli araç pazarı hızla büyümekte olup 2018 yılında dünyadaki elektrikli araç stoku 2017 yılına göre %63'lük bir artış göstermiş ve 5 milyonu aşmıştır (URL-1, 2022).

Elektrikli araçlarda değişik tiplerde şarj edilebilen batarya sistemleri kullanılmakta olup Nikel-Kadmiyum tip bataryalar, Nikel-metal hidrit tip bataryalar, Kurşun- asit tip bataryalar ve Lityum iyon tip bataryalar bu batarya sistemlerinden bazılarıdır. Bu batarya çeşitleri arasında lityum iyon bataryalar, uzun pil ömrü, düşük kendinden boşalma hızı, yüksek enerji depolama yoğunluğu ve hafifliğinden dolayı diğer batarya çeşitlerine göre daha uygun ve verimli olduğu anlaşılmıştır (Etacheri ve ark., 2011). Lityum iyon bataryalar şarj olurken veya deşarj edilirken batarya içindeki elektrokimyasal reaksiyonlardan dolayı yüksek düzeyde ısı enerjisi açığa çıkarırlar. Lityum iyon bataryalar ısıyı hem bataryanın iç direnci, hem de batarya içindeki kimyasal reaksiyonlar nedeniyle üretirler. Bataryanın iç direnci nedeniyle üretilen ısı joule ısı olarak, bataryadaki kimyasal reaksiyonlar nedeniyle oluşan ısı ise entropik ısı olarak ifade edilir. Dolayısıyla bataryada üretilen toplam ısı, joule ısı ve entropik ısının toplamına eşittir (Thomas ve Newman, 2003). Araştırmalara göre bataryadan maksimum fayda sağlayabilmek için batarya hücre sıcaklığının 15°C - 40°C aralığında olması gerekmektedir (Pesaran, 2001; Jouhara ve ark., 2019; Ramadass ve ark., 2022; URL-2, 2022). Bu bakımdan batarya sıcaklığının doğru şekilde ölçülebilmesi sistemin verimli ve güvenli çalışması açısından oldukça önemlidir.

Bataryalarda deşarj hızı bataryanın nominal akım değerinin kaç katının çekildiği ile bağlantılıdır. 1C deşarj hızı, bataryanın nominal değeri kadar akım çekildiği, 2C deşarj hızı, bataryanın nominal değerinin iki katı kadar akım çekildiği, 3C deşarj hızı ise bataryanın nominal akım değerinin üç katı kadar akım çekildiği deşarj işlemi ifade eder. Bu çalışmada silindirik 18650 tipindeki lityum iyon bataryalardan oluşan batarya modülü gerekli deney düzenekleri oluşturularak 1C, 2C ve 3C hızlarında deşarj edilmiş, oluşan ısı ve sıcaklık değerleri ise Ansys Fluent programında sistemin sayısal olarak modellenerek elde edilen veriler ile kıyaslanmıştır. Bu konuda yabancı literatürde çokça çalışma olmasına rağmen Türkçe literatürde bu konu ile alakalı yapılan çalışmalar oldukça az sayıdadır. Yapılan çalışmanın bu boşluğu doldurması ve Türkçe literatüre katkı sağlaması hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Lityum iyon bataryaların sıcaklık dağılımı, bataryada oluşan ısı üretiminin termal modeller, elektrokimyasal modeller veya eşdeğer devre modeli (ECM) yardımı ile hesaplanmasıyla bulunabilir

(Paccha-Herrera, 2020). Ayrıca bataryaların ısı üretimini hesaplamak üzere ampirik formüller de kullanılabilir. Elektrokimyasal modellemeler Newman, Tiedemann, Gu, and Kim (NTGK) yarı ampirik alt modeli veya Newman alts Pseudo 2D (P2D) alt modeli ile yapılabilir. Elektrokimyasal modellemeler yapılırken çok sayıda batarya farklı sıcaklıklarda test edilerek bu testlerden elde edilen parametrelerin hesaplamalarda girdi olarak kullanılması gerektiği için uygulanması zordur. Elektrokimyasal modeller içinde en az parametre gereksinimi olan NTGK modelinde dahi bir batarya hücresi için 14 farklı parametre gerekmektedir. Diğer bir yandan termal modellemede ise bataryanın farklı deşarj akımlarındaki ve farklı batarya doluluk oranlarındaki ısı üretimi Bernardi ve ark. (1985) tarafından önerilen denklem yardımıyla hesaplandıktan sonra bataryanın sıcaklık dağılımı enerjinin korunum denkleminin sayısal olarak çözülmesi ile kolaylıkla bulunabilir. Bu çalışmada ısı üretimini ve batarya sıcaklık dağılımını bulmak üzere termal model kullanılmıştır. Ayrıca ısı üretiminin sabit olmayıp bataryanın doluluk oranına ve deşarj akımına göre değiştiği için ANSYS/Fluent programında kullanıcı tarafından tanımlanan fonksiyon (UDF) kullanılmıştır.

Lityum iyon bataryalar metal ceket içerisine pozitif ve negatif elektrot levhalar, elektrolit ve ayırıcıdan oluşan katmanlı bir yapıdan oluşmaktadır. Lityum iyon bataryaların katmanlı yapısı nedeniyle homojen bir yapıda olmamasına rağmen araştırmalar sayısal modelleme yapılırken bazı varsayımlar yapılarak sistemin yarı homojen olarak modellenmesiyle de oldukça doğru ve kabul edilebilir sonuçlar elde edildiğini göstermiştir (Choi ve Yao, 1979; Chen ve Evans, 1993; Wu ve ark., 1998). Literatürde benzer batarya sistemleri modellenirken batarya yoğunluğu, ısı iletim katsayısı ve ısı kapasitesinin sabit ve sırasıyla 2087 kg/m³, 3.63 W/mK ve 1679 J/kgK olarak kabul edildiğinden sunulan bu çalışmada da aynı değerler kullanılmıştır (Wang ve ark., 2020). Silindirik bataryalarda eksenel yöndeki ısı iletim direnci radyal yöndeki ısı iletim direncinden çok daha düşük olduğundan modelleme yapılırken radyal yöndeki ısı iletim katsayısı tüm bataryanın ısı iletim katsayısı olarak kabul edilebilir.

Batarya içindeki diferansiyel bir parça üzerindeki enerji korunum denkleminde batarya içindeki ısı transfer denklemi aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k_r}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{k_\varphi}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} + k_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \dot{q}_{gen} \quad (1)$$

(1) nolu denklemde ρ değeri bataryanın yoğunluğunu, C_p değeri bataryanın ısı kapasitesini, T değeri sıcaklığı, t değeri zamanı, k_r , k_φ ve k_z değerleri bataryanın silindirik koordinatlarda r , φ ve z yönündeki ısı iletim katsayılarını, \dot{q}_{gen} değeri ise bataryanın birim hacimdeki ısı üretimini ifade etmektedir.

Batarya bir bütün olarak düşünüldüğünde ise enerji korunum denkleminde yola çıkarak aşağıdaki denklem yazılabilir.

$$\dot{Q}_{gen} - (\dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad}) = \rho \forall C_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

(2) nolu denklemde \forall batarya hacmini, \dot{Q}_{gen} bataryanın toplam ısı üretimini, \dot{Q}_{conv} bataryadan konveksiyonla dış ortama yapılan olan ısı taşınımını, \dot{Q}_{rad} ise bataryadan dış ortama yapılan ısı ışınlımını ifade etmektedir.

Bataryada üretilen toplam ısı, joule ısı ve entropik ısının toplamına eşittir. Bazı çalışmalarda bataryada oluşan ısı üretiminin aşağıdaki şekilde ifade edilebileceği belirtilmiştir (Bernardi ve ark., 1985). Denklemde eşitliğin sağ tarafındaki ilk terim joule ısıyı, ikinci terim ise entropik ısıyı ifade etmektedir.

$$\dot{Q}_{gen} = I(V_{oc} - V) - iT \frac{dV_{oc}}{dT} \quad (3)$$

(3) nolu denklemde I şarj/deşarj akımını (deşarj olması durumunda $I > 0$, şarj olması durumunda $I < 0$), V_{oc} batarya boşta iken açık devre voltajını, V batarya yükte iken batarya voltajını, $\frac{dV_{oc}}{dT}$ ise entropi katsayısını ya da sıcaklık katsayısını ifade etmektedir. Entropi katsayısı ile entropi değişimi arasında aşağıdaki şekilde bir bağıntı mevcuttur (Karimi ve Li, 2013).

$$\frac{dV_{oc}}{dT} = \frac{\Delta S}{nF} \quad (4)$$

Burada n değeri batarya içindeki kimyasal reaksiyona dâhil olan elektron sayısını (lityum iyon bataryalar için $n = 1$), F değeri ise Faraday sabitini ($F = 96485$ C/mol) ifade eder.

Bataryalarda, batarya yüke bağlandığı zaman batarya iç direncinden dolayı batarya uçları arasında okunan gerilim değerinde düşme meydana gelir ve bu düşüş değeri batarya iç direnci ile batarya üzerinden geçirilen akımın çarpımına eşittir.

$$V_{oc} - V = I.R \quad (5)$$

Isı üretiminin batarya içinde homojen dağılım gösterdiği varsayıldığından, birim hacimdeki ısı üretimi aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\dot{q}_{gen} = \frac{\dot{Q}_{gen}}{\forall} \quad (6)$$

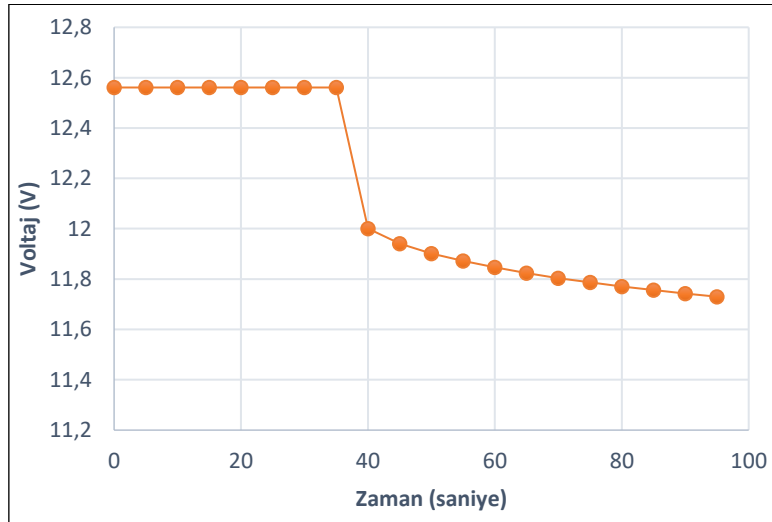
(3) nolu denklemi bataryanın birim hacmi için (5) ve (6) nolu denklemleri de kullanarak yeniden yazarsak aşağıdaki denklemi elde ederiz. Denklemde kullanılan i değeri birim hacime denk gelen şarj/deşarj akımını ifade eder.

$$\dot{q}_{gen} = i^2 R - iT \frac{dV_{oc}}{dT} \quad (7)$$

(7) nolu denklemde eşitliğin sağ tarafındaki ilk kısım batarya iç direncinden dolayı oluşan *joule ısıyı*, eşitliğin sağ tarafındaki ikinci kısım ise bataryadaki kimyasal reaksiyondan dolayı oluşan *entropik ısıyı* ifade etmektedir. Dolayısıyla batarya tarafından üretilen toplam ısıyı hesaplayabilmek için hem R batarya iç direncini hem de $\frac{dV_{oc}}{dT}$ batarya entropi katsayısını ölçmek gereklidir.

Yapılan çalışmalar, R batarya iç direncinin hem sıcaklığın hem de batarya doluluk oranının bir fonksiyonu olduğunu ancak batarya sıcaklığının artmasıyla birlikte batarya iç direncinin batarya sıcaklığı ve batarya doluluk oranına olan bağımlılığının azaldığını ve neredeyse sabit bir seyir izlediğini ortaya koymuştur (Inui ve ark., 2007; Xie ve ark., 2018; Trinuruk ve ark., 2022). Dolayısıyla bu çalışmada kullanılan hesaplamalarda R batarya iç direnci sabit olarak değerlendirilebilir.

Batarya iç direncini hesaplamak için farklı yöntemler mevcut olup bunlardan biri de DC- yükleme testidir. Bunun için batarya devreye bağlı değilken açık devre voltaj değeri V_{oc} ve batarya sabit akımlı devreye bağlanıp yük çekilmeye başlandığı ilk andaki voltaj değeri V ölçülür ve bu iki değer arasındaki farkın devre akımına bölünmesi ile bataryanın o anki çalışma sıcaklığı ve batarya doluluk oranındaki R iç direnci hesaplanabilir. Şekil-1' de 3 adet seri bağlı lityum iyon bataryanın boşa ve 1C (2 Amper) deşarj durumunda iken başlangıç gerilim değişimi verilmiştir. Tablo-1'de ise R batarya iç direncini hesaplamak için yapılan testler ve elde edilen sonuçlar görünmektedir. Yapılan testler sonucunda elde edilen R batarya iç direncini değerlerinin ortalaması alındığında ortalama batarya iç direnci $R_{ort} = 0,1 \Omega$ olarak bulunur.



Şekil 1. DC-yükleme testi gerilim değişimi (3. Test)

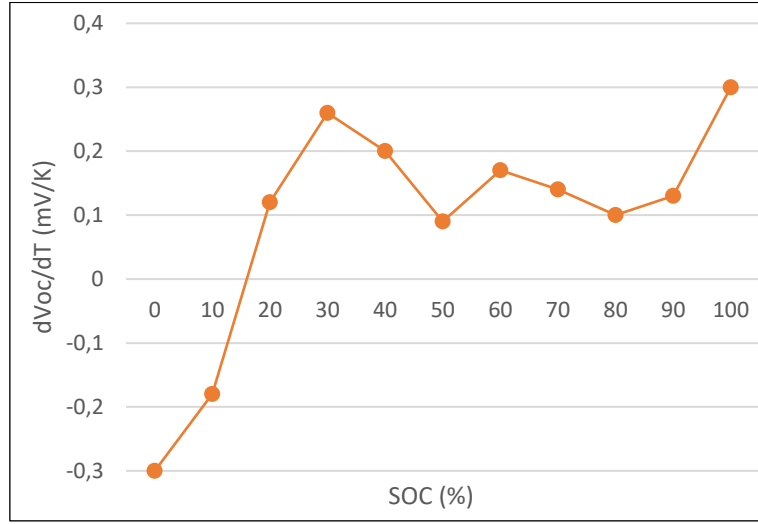
Tablo 1. İç direnç ölçüm testleri ve batarya ortalama iç direncinin hesaplanması

	1. Test	2. Test	3. Test
V_{oc} (Volt)	12,612	12,602	12,561
V (Volt)	11,944	12,021	12
I (Amper)	2	2	2
R (Ω)	0,1113	0,0968	0,0935
R_{ort} (Ω)		0,1	

Batarya entropi katsayısı $\frac{dV_{oc}}{dT}$ ise batarya doluluk oranının bir fonksiyonu olup sıcaklık ile çok fazla değişkenlik göstermemektedir (Inui ve ark., 2007; Karimi ve Li, 2013; Wu ve ark., 2017). Entropi katsayısı yaklaşık olarak aşağıdaki formülle ifade edilebilir.

$$\frac{dV_{oc}}{dT} \cong \frac{V_{oc}(T_2) - V_{oc}(T_1)}{(T_2 - T_1)} \quad (8)$$

Bataryaların farklı doluluk oranlarında ve farklı ortam sıcaklıklarında göstermiş olduğu açık devre voltajı dağılımları ölçülerek bataryanın farklı doluluk oranlarındaki entropi katsayısı değişimi bulunabilir. Wu ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada 18650 Tip Silindirik lityum iyon bataryanın entropi katsayısının batarya doluluk oranına göre değişimini ölçmüş olup sunulan bu çalışmada da bu değerler kullanılmıştır. Entropi katsayısının batarya doluluk oranına göre değişimi Şekil-2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.18650 Tip Lityum iyon batarya için entropi katsayısının batarya doluluk oranına göre değişimi (Wu ve ark., 2017).

Yapılan çalışmada bataryaları deşarj etmekte kullanılan elektronik yük cihazı kapasitesine göre 9 adet 18650 tip lityum iyon batarya 3 seri ve 3 paralel olacak şekilde (3S3P) bağlanmış ve 11,1 Volt ve 6 Ah kapasitede batarya modülü elde edilmiştir. Kullanılan batarya hücrelerinin termal, fiziksel ve elektriksel özellikleri Tablo-2 de, oluşturulan batarya modülünün elektriksel özellikleri ise Tablo-3’de belirtilmiştir.

Tablo 2. Bataryanın termal, fiziksel ve elektriksel özellikleri

Pil Tipi	18650, Silindirik, Lityum İyon
Nominal Kapasitesi	2000 mAh
Nominal Voltajı	3,7 V
Yükseklik	65 mm
Çap	18 mm
Isı İletim Katsayısı	3,63 W/mK
Isı Kapasitesi	1679 J/kgK
Yoğunluk	2087 kg/m ³
Şarj Kesme Voltajı	4,2 V
Deşarj Kesme Voltajı	2,7 V

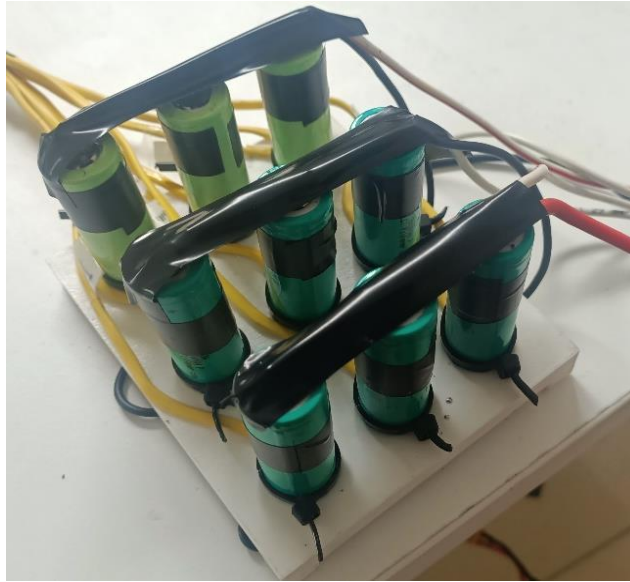
Tablo 3: Batarya modülünün elektriksel özellikleri

Pil Sayısı	9 adet
Bağlantı Şekli	3 seri ve 3 Paralel (3S3P)
Nominal Kapasitesi	6000 mAh
Nominal Voltajı	11,1 V

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Deneysel Yöntem ve Bulgular

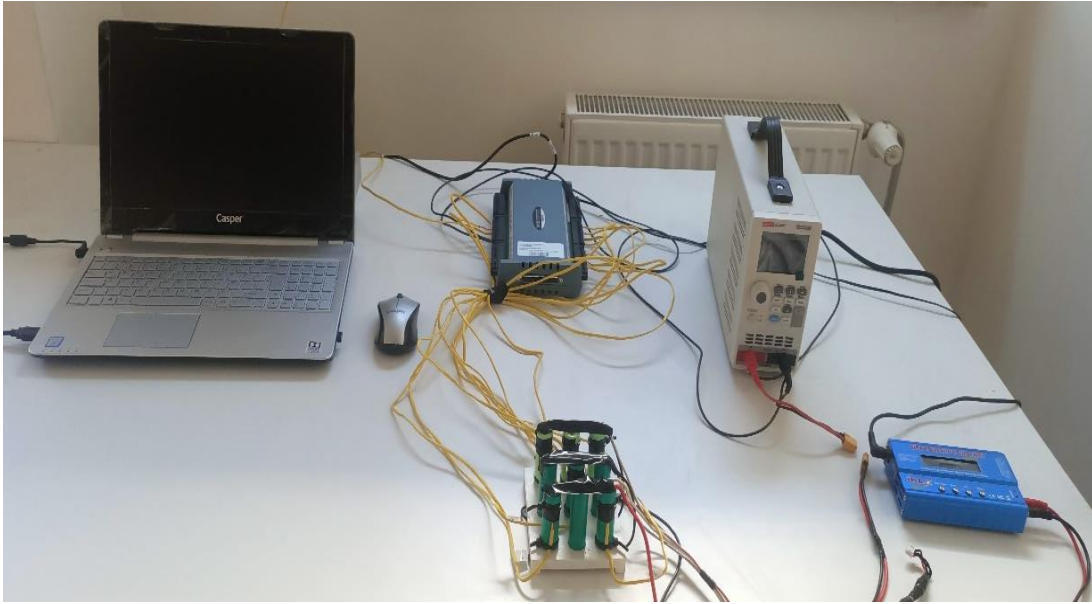
Bu çalışmada 9 adet 18650 tip silindirik lityum iyon bataryalar ile 3 Seri ve 3 Paralel bağlantı yapılarak (3S3P) oluşan batarya modülü 20°C ortam sıcaklığında 1C, 2C ve 3C deşarj hızlarında test edilerek modüldeki maksimum hücre sıcaklıkları ölçülmüştür. Oluşturulan batarya modülü Şekil-3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Batarya modülü (3S3P)

Deney düzeneği olarak 9 adet 2000 mAh ve 3,7 V 18650 Silindirik Tip Lityum iyon batarya, bataryaları sabit akımda deşarj edebilmek için 1 adet Elektronik Yük Cihazı (40 A, 15 Volt, 400 Watt), batarya sıcaklıklarını ve ortam sıcaklığını ölçmek için $\pm 0,5^\circ\text{C}$ sıcaklık okuma hassasiyetinde 10 adet K tipi termokupl, sıcaklık ve voltaj verilerini belirli sürelerde kaydetmek için 1 adet veri kayıt cihazı, batarya

hücreleri boşaldığında tekrar şarj edebilmek için 1 adet batarya şarj cihazı (5A - 12,6V) ve veri kayıt cihazının kaydettiği verileri işlemek üzere 1 adet PC kullanılmıştır. Elektronik Yük Cihazı, bataryaları sabit gerilimde yahut sabit akımda belirlenen kesme gerilimine göre deşarj etmek için kullanılan ekipmandır. Bu deneyde 400 Watt gücünde ve sabit akım deşarj işleminde $\pm \%0.05$ hassasiyetinde olan UNI-T marka ve UTL8211 model elektronik yük cihazı kullanılmıştır. Kullanılan veri kayıt cihazı ise MC Measurement Computing marka ve USB-2416 model olup termokupl sıcaklık değerlerini $\pm 0,457^{\circ}\text{C}$ hassasiyette kayıt altına alabilir. Batarya şarj cihazı olarak ise modüldeki her üçlü batarya serisini aralarında gerilim farkı olmayacak şekilde dengeli bir şekilde şarj edebilme özelliği olan 6 amper kapasitesinde IMAX marka B6 model şarj cihazı kullanılmıştır. Uygulanan deney düzeneği Şekil-4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Deney düzeneği görseli

Batarya modülü şarj edildikten sonra 1C, 2C ve 3C deşarj hızlarında deşarj edilmiş batarya hücrelerinin yüzey sıcaklıkları, ortam sıcaklığı ve batarya modülünün yükteki voltaj değeri veri kayıt cihazı ile kayıt altına alınmıştır. Bataryanın maksimum çalışma sıcaklığı olan 60°C ' ye 3C deşarj hızında yaklaşıldığı için bataryaların testleri en fazla 3C deşarj hızında gerçekleştirilmiştir.

3 farklı deneyde uygulanan akım ve voltaj değerleri Tablo-4'de gösterilmiştir. Batarya hücrelerindeki zamana göre sıcaklık değişimi veri kayıt cihazı ile kayıt altına alınmış ve sıcaklıkların batarya doluluk oranına göre değişimi hesaplanmıştır. Tablo-4'te ifade edilen V_{oc} açık devre voltajı, bataryanın her iki ucu boşta iken yani batarya yükte değilken okunan değeri, V_{cutoff} batarya deşarj kesme voltajı ise bataryaların deşarj edilirken deşarj işleminin durdurulduğu voltaj değerini ifade eder.

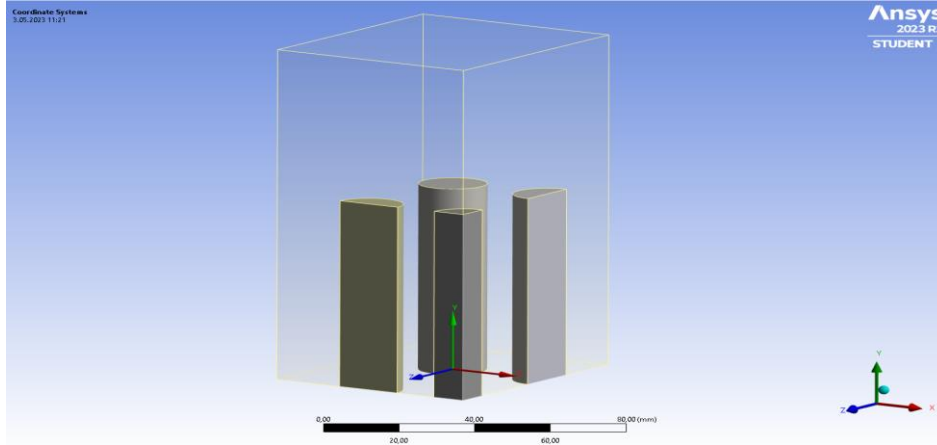
Tablo 4. Batarya modülüne uygulanan testler ve okunan voltaj değerleri

	Test-1	Test-2	Test-3
Deşarj Hızı, C	1C	2C	3C
Uygulanan Deşarj Akımı, I	6 Amper	12 Amper	18 Amper
Batarya Açık Devre Voltajı, V_{oc}	12,6 V	12,6 V	12,6 V
Batarya Deşarj Kesme Voltajı, V_{cutoff}	8,1 V	8,1 V	8,1 V

3.2. Sayısal Çözüm ve Bulgular

Sayısal çözüm için ANSYS 2023 Fluent Modülü kullanılmıştır. Modelleme yapılırken batarya ısı iletim katsayısının sıcaklığa göre, batarya iç direncinin batarya doluluk oranı ve sıcaklığa göre değişmeyip sabit kaldığı, termokuplların batarya yüzeyine tam temas ettiği, temas dirençlerinin olmadığı varsayılmış ve batarya yüzeyindeki renkli PVC tabakanın ısı iletimine olan etkisi ihmal edilmiştir.

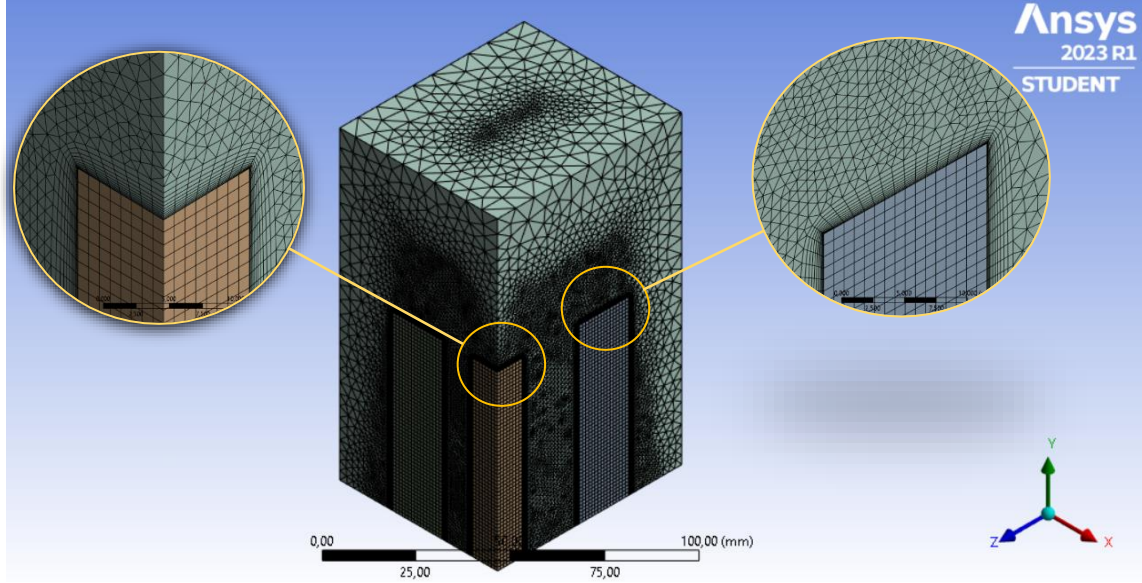
Programda modülün çeyreği simetrik olduğu için hesaplama zamanını kısaltmak ve daha hassas sonuçlar elde edebilmek amacıyla sadece Şekil 5'te gösterilen bölge modellenmiştir.



Şekil 5. Ansys fluent'de kullanılan model

Mesh yapılırken element boyutu maksimum 2 mm olacak şekilde seçilmiş, özellikle pil yüzeyine temas eden bölgelerde sıcaklık dağılımının daha keskin olacağından programın *inflation* özelliği kullanılarak Şekil-6'da gösterildiği gibi söz konusu bölgelerde daha ince bir mesh yapısı elde edilmiştir.

Programda sadece doğal taşınım ile ısı transferi modellenmiştir. Doğal taşınım ile modelleme yapılırken havanın sıkıştırılmaz ideal gaz olduğu varsayımı yapılmış olup yoğunluğu sıcaklıkla değişmektedir. Çözüm yapılırken literatürde benzer çalışmalarda sıklıkla kullanılan ve daha doğru sonuçlar veren simülasyon konfigürasyonları seçilmiştir. Bu konfigürasyonlar içerisinde, çözüm metodu için basınç ve hız alanlarını ilişkilendirmek üzere zamana bağlı ısı transferinde kullanılması tavsiye edilen ve daha doğru sonuçlar veren *SIMPLE* algoritması, basıncın boyutsal diskritizasyonu için *gövde kuvveti ağırlıklı algoritma*, momentum ve enerjinin boyutsal diskritizasyonu ve zamana bağlı modelleme için *ikinci derece örtük algoritma* seçilmiştir.



Şekil 6. Ansys fluent’de yapılan mesh modeli

Batarya hücrelerinde oluşun ve daha önce (7) nolu denklem ile belirtilen ısı üretimi modellenirken her bir deşarj akımı için Fluent programında 3 adet UDF (kullanıcı tarafından tanımlanan fonksiyon) yazılmış, ısı üretimini tanımlayan matematik model bu fonksiyon içine yerleştirilmiştir. Denklemde ısı kaynağının hesaplanabilmesi için gerekli olan R iç direnç ve I akım değerleri sabit olup entropi katsayısı değerleri ise sadece batarya doluluk oranına göre değişmektedir. Başlangıçta batarya modülü sıcaklığı ortam sıcaklığı ile aynı olup ısı üretim denkleminin ilk adımının hesaplanmasında bu sıcaklık değeri kullanılmış, bu şekilde birim hacimdeki ısı üretimi hesaplanarak ikinci adımda kullanılacak sıcaklık değeri bulunmuştur.

Sayısal çözümleme yapılırken başlangıç şartları olarak atmosferik basınçta ve ortam sıcaklığında durgun hava bulunduğu, sınır şartları olarak ise oluşturulan çeyrek modelin simetri yüzeylerinin simetri sınır şartı olduğu, yan yüzeylerinden ortam sıcaklığında ve atmosferik basınçta giriş, üst yüzeyinden ortam sıcaklığında atmosferik basınçta çıkış olduğu, zemin yüzeyinden herhangi bir ısı transferi olmadığı kabul edilmiştir.

Sayısal çözüm yapılırken maksimum iterasyon sayısı olarak 20, yakınsama değerleri için ise süreklilik ve momentum denklemleri için $1e-3$, enerji denklemleri için ise $1e-6$ olarak seçilmiştir.

Ayrıca, söz konusu model farklı hücre (eleman) ve node (düğüm) sayılarına denk gelecek şekilde mesh yapılarak elde edilen simülasyon sonuçlarının hücre sayısı ile ilişkisi incelenmiştir. Tablo-5’te farklı hücre sayılarına göre elde edilen maksimum batarya yüzey sıcaklıkları verilmiş, sıcaklıkların hücre sayısına göre değişimi ise Şekil-7’de gösterilmiştir.

Tablo 5. Farklı hücre sayılarında elde edilen batarya maksimum sıcaklık değerleri

	1. Mesh	2. Mesh	3. Mesh	4. Mesh	5. Mesh	6. Mesh	7. Mesh	8. Mesh
Hücre Sayısı	6063	12158	24796	50267	75484	199142	349344	499096
T-max (Batarya Yüzeyi) [°C]	56,846	56,976	57,222	57,323	57,429	57,480	57,523	57,533

Simülasyon yapılırken hücre sayısının artmasıyla hesaplanan batarya yüzey sıcaklığının arttığı ancak yaklaşık 350000 adet hücre sayısından sonra artan hücre sayısına rağmen hesaplanan batarya yüzey sıcaklığının neredeyse hiç değişmediği ve sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla doğru bir sayısal çözümlene yapabilmek için 350 bin hücre sayısı ile elde edilen mesh kalitesi yeterlidir.



Şekil 7. Farklı hücre sayılarına göre batarya maksimum sıcaklık değerleri değişimi

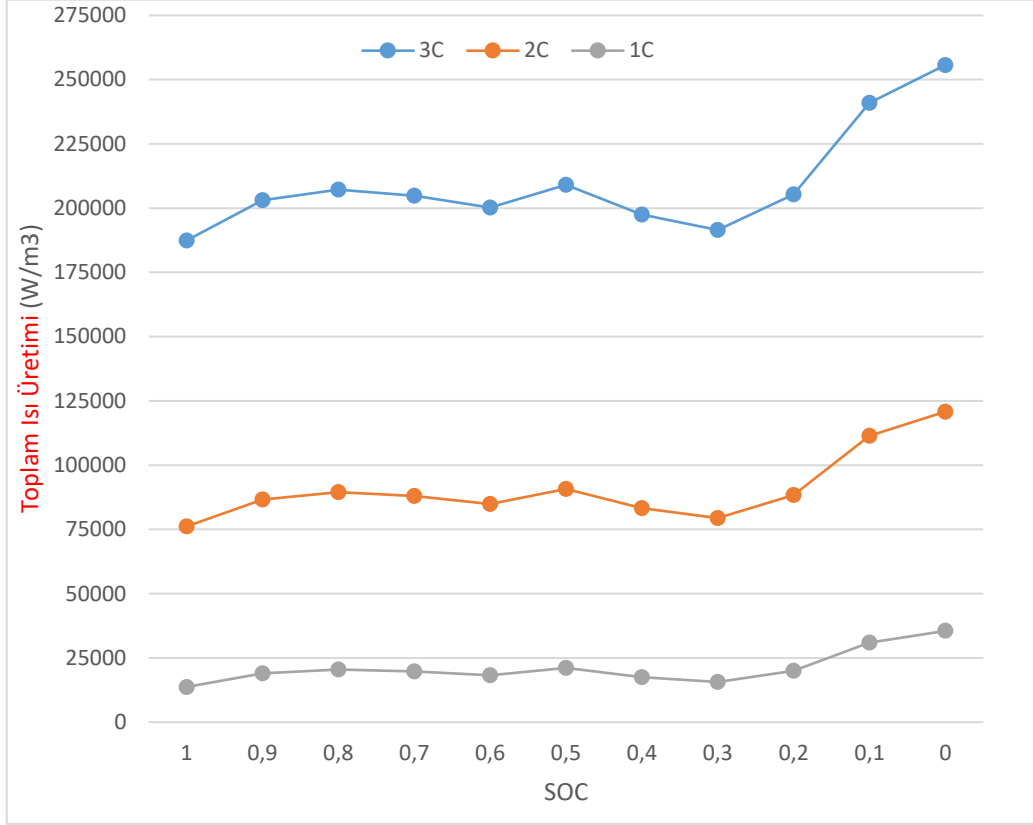
3.3. Tartışma

Bu çalışmada elektrikli araçlarda kullanılan 18650 tip lityum iyon bataryalarında 1C, 2C ve 3C deşarj hızlarında oluşan sıcaklık değerleri deneysel olarak ölçülmüş, sonuçlar Ansys programı Fluent Modülünde sistemin modellenerek elde edildiği sayısal veriler ile kıyaslanmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

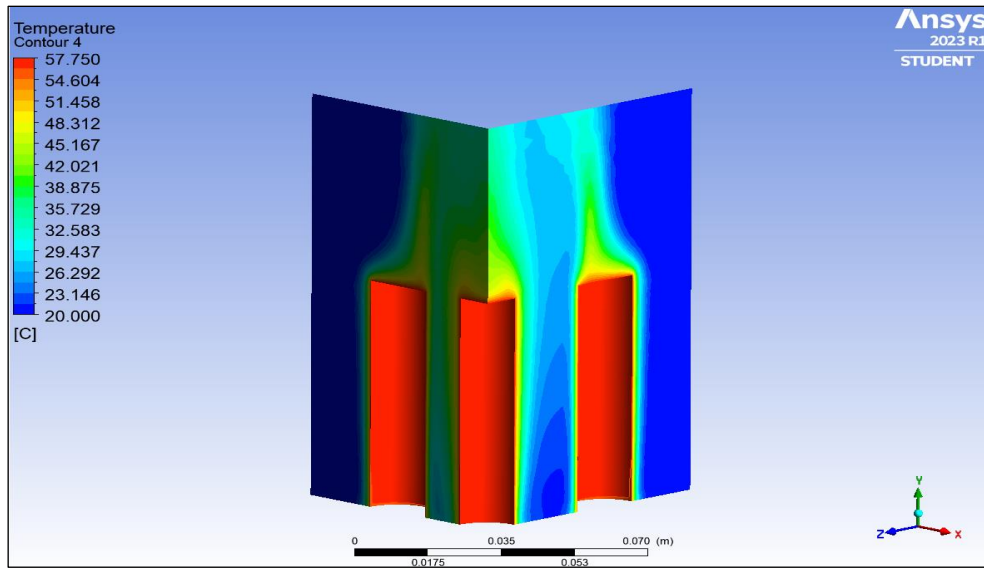
UDF olarak yazılan birim hacimdeki ısı üretimi, farklı deşarj hızlarında veri olarak kaydedilmiş olup sonuçları Şekil-8’de belirtilmiştir. Bilindiği üzere toplam ısı üretimi joule ısı ve entropik ısının toplamına eşittir. Bu çalışmada batarya iç direncinin sabit olduğu varsayıldığından sabit deşarj hızında joule ısısı da sabit kalır ve işareti pozitifdir. Diğer bir yandan ısı üretiminde ikinci terim olan entropik ısı, entropi katsayısının negatif olduğu durumlarda negatif, entropi katsayısının pozitif olduğu durumlarda ise pozitifdir. Toplam ısının joule ısısı ve entropik ısısının toplamına eşit olduğundan ve entropik ısının belirli batarya doluluk oranlarında negatif olması nedeniyle toplam ısı üretiminde zamanla artış yerine azalışlar da görünebilir. Isı üretimdeki bu azalışlar Şekil-8 de batarya doluluk oranının %80-60 değerleri arasında ve %50-30 değerleri arasında açıkça görülmektedir.

Şekil-9 ve Şekil 10’da batarya modülünün 3C deşarj hızındaki sıcaklık dağılımının ANSYS Fluent programında elde edilen sonuçları görünmektedir. Elde edilen sonuçlar UDF içerisine yazılan ısı üretim fonksiyonu yardımıyla elde edilen sayısal çözüm sonuçları ile deneysel verilerin birbirine oldukça yakın olduğunu göstermektedir. Sırasıyla Şekil-11, Şekil-12, ve Şekil 13’te 1C, 2C ve 3C batarya deşarj hızlarında elde edilen sayısal ve deneysel olarak elde edilen maksimum sıcaklıkların batarya doluluk oranına göre değişimlerini göstermektedir. Genel anlamda deneysel ve sayısal yollarla elde edilen

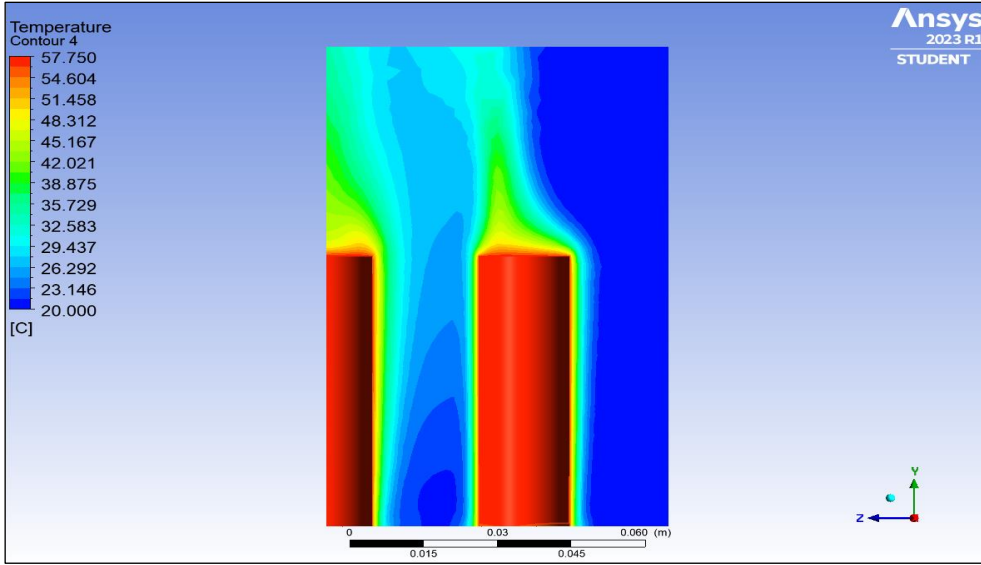
maksimum sıcaklık profillerinin seyrinin birbirine yakın olduğu, batarya doluluk oranının sıfıra yaklaşmasıyla ve batarya deşarj hızının artmasıyla birlikte sıcaklığın da arttığı görülmektedir. 1C deşarj hızında batarya modülündeki maksimum sıcaklık 32°C olarak ölçülürken, 2C deşarj hızında bu değer 44°C, 3C deşarj hızında ise bu değer 55°C'lere kadar çıkmaktadır.



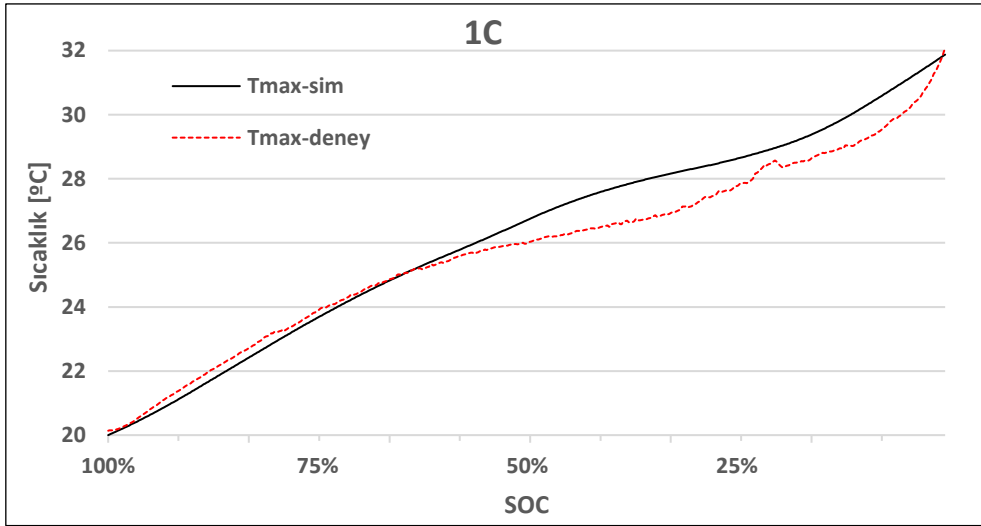
Şekil 8. 1C, 2C ve 3C deşarj hızlarında bataryada birim hacimde oluşan ısı üretiminin batarya doluluk oranına göre değişimi



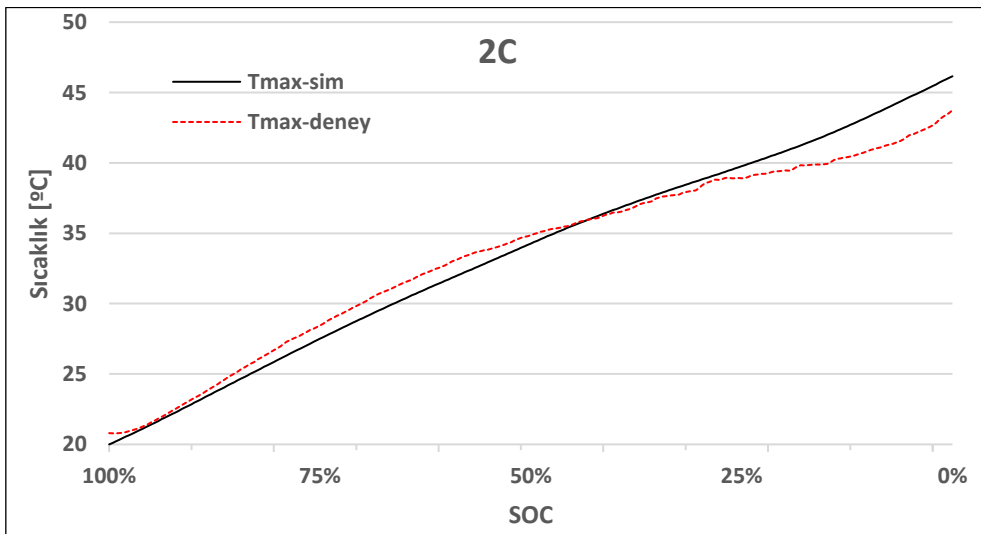
Şekil 9. 3C deşarj hızında batarya modülü sıcaklık dağılımı-1



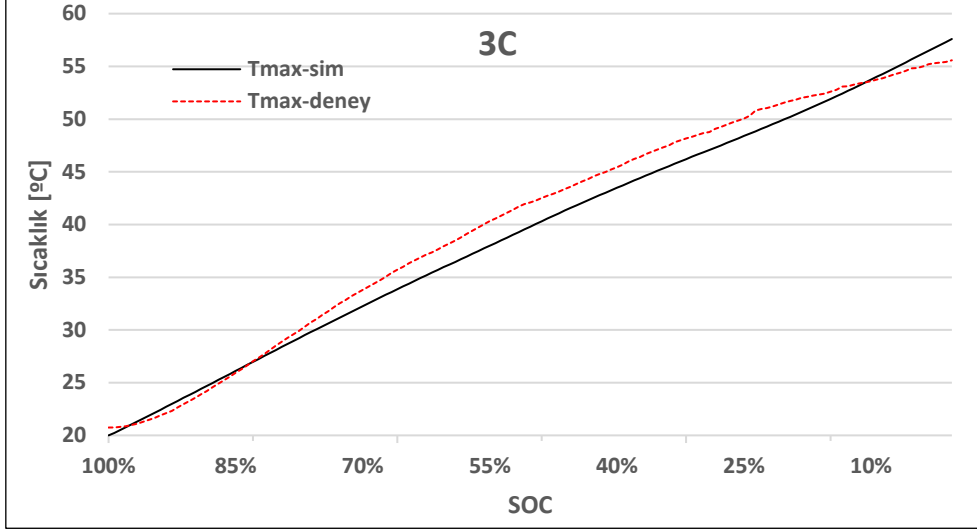
Şekil 10. 3C deşarj hızında batarya modülü sıcaklık dağılımı-2



Şekil 11. 1C deşarj hızında deneysel ve sayısal olarak batarya modülündeki maksimum sıcaklıkların batarya doluluk oranına göre değişimi



Şekil 12. 2C deşarj hızında deneysel ve sayısal olarak batarya modülündeki maksimum sıcaklıkların batarya doluluk oranına göre değişimi



Şekil 13. 3C deşarj hızında deneysel ve sayısal olarak batarya modülündeki maksimum sıcaklıkların batarya doluluk oranına göre değişimi

4. Sonuç

Yapılan çalışmada elektrikli araçlarda kullanılan 18650 tip silindirik lityum iyon bataryalar ile oluşturulan deney düzeneği 1C, 2C ve 3C hızlarında deşarj edilmiş ve batarya modülündeki maksimum yüzey sıcaklığı değerlerinin zamana göre değişimi ölçülmüştür. Elde edilen maksimum yüzey sıcaklığı değerleri, deney düzeneğinin ANSYS Fluent programında modellenmesiyle elde edilen sayısal değerler ile karşılaştırılmış, artan deşarj hızlarında batarya maksimum yüzey sıcaklığının da arttığı, deşarj işlemi boyunca deneysel veriler ile sayısal verilerin birbirlerine oldukça yakın ve uyumlu bir seyir izlediği ancak batarya doluluk oranının 0 ila 0,1 gibi düşük değerlerinde sayısal veriler ile deneysel veriler arasındaki farkın arttığı görülmüştür. Bu farkın nedeninin de R batarya iç direncinin özellikle düşük batarya doluluk oranlarında sabit olmayıp batarya doluluk oranına göre değişkenlik göstermesi ile açıklanabilir. İlerleyen çalışmalarda hem R batarya iç direncinin hem de $\frac{dV_{oc}}{dT}$ batarya entropi katsayısının farklı sıcaklık ve batarya doluluk oranlarında ölçülmesiyle elde edilen veriler kullanılarak daha doğru ve hassas sonuçlara ulaşılabileceği böylece deneysel veriler ile sayısal veriler arasındaki farkın daha da azalacağı düşünülmektedir.

Çıkar Çatışma Beyanı

Makale yazarları birbirleri aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan etmektedir.

Kaynakça

Bernardi D., Pawlikowski E., Newman J. A general energy balance for battery systems. Journal of The Electrochemical Society 1985; 132(1): 5.

- Chen Y., Evans JW. Heat transfer phenomena in lithium/polymer-electrolyte batteries for electric vehicle application. *Journal of The Electrochemical Society* 1993; 140(7): 1833.
- Choi KW., Yao NP. Heat transfer in lead-acid batteries designed for electric-vehicle propulsion application *Journal of The Electrochemical Society* 1979; 126(8): 1321.
- Etacheri V., Marom R., Elazari R., Salitra G., Aurbach D. Challenges in the development of advanced Li-ion batteries: a review. *Energy & Environmental Science* 2011; 4(9): 3243-3262.
- Inui Y., Kobayashi Y., Watanabe Y., Watase Y., Kitamura Y. Simulation of temperature distribution in cylindrical and prismatic lithium ion secondary batteries. *Energy Conversion and Management* 2007; 48(7): 2103-2109.
- Jouhara H., Khordehghah N., Serey N., Almahmoud S., Lester SP., Machen D., Wrobel L. Applications and thermal management of rechargeable batteries for industrial applications. *Energy* 2019; 170: 849-861.
- Karimi G., Li X. Thermal management of lithium-ion batteries for electric vehicles. *International Journal of Energy Research* 2013; 37(1): 13-24.
- Paccha-Herrera E., Calderón-Muñoz WR., Orchard M., Jaramillo F., Medjaher K. thermal modeling approaches for a LiCoO₂ lithium-ion battery-A comparative study with experimental validation. *Batteries* 2020; 6: 40.
- Pesaran AA. Battery thermal management in EV and HEVs: issues and solutions. *Battery Man* 2001; 43(5): 34-49.
- Ramadass P., Haran B., White R., Popov BN. Capacity fade of Sony 18650 cells cycled at elevated temperatures: Part I. Cycling performance. *Journal of Power Sources* 2002; 112(2): 606-613.
- Thomas KE., Newman J. Thermal modeling of porous insertion electrodes. *Journal of The Electrochemical Society* 2003; 150(2): A176.
- Torun E., Buyruk E. Elektrikli araçlarda kullanılan pasif, aktif ve hibrit batarya soğutma sistemlerine ait bir çalışma. 3. Rumeli Sürdürülebilir Çevre için Enerji ve Tasarım Sempozyumu, 2023, Sayfa no:1-6, İstanbul.
- Trinuruk P., Onnuam W., Senanuch N., Sawatdeejuj C., Jenyongsak P., Wongwises S. Experimental and numerical studies on the effect of lithium-ion batteries' shape and chemistry on heat generation. *Energies* 2022; 16(1): 264.
- URL-1. Global EV Outlook 2019, <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>. Erişim Tarihi: 05 Kasım 2022.
- URL-2. Addressing The Impact of Temperature Extremes on Large Format Li-Ion Batteries for Vehicle Applications, <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/58145.pdf>, Erişim Tarihi: 20 Aralık 2022.
- Wang H., Tao T., Xu J., Mei X., Liu X., Gou P. Cooling capacity of a novel modular liquid-cooled battery thermal management system for cylindrical lithium ion batteries. *Applied Thermal Engineering* 2020; 178(2): 115591.

- Wu MS, Wang YY., Wan CC. Thermal behaviour of nickel/metal hydride batteries during charge and discharge. *Journal of Power Sources* 1998; 74(2): 202-210.
- Wu X., Lv S., Chen J. Determination of the optimum heat transfer coefficient and temperature rise analysis for a lithium-ion battery under the conditions of Harbin city bus driving cycles. *Energies* 2017; 10(11): 1723.
- Xie Y., Li W., Yang Y., Feng F. A novel resistance-based thermal model for lithium-ion batteries. *International Journal of Energy Research* 2018; 42(14): 4481-4498.

Multi-Objective Optimization of Cutting Parameters for Polyethylene Thermoplastic Material by Integrating Data Envelopment Analysis and SWARA-Based CoCoSo Approach

Oğuzhan DER^{1*}, Muhammed ORDU², Gökhan BAŞAR³

¹Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Maritime, Department of Marine Vehicles Management Engineering, Balıkesir, Türkiye

^{2,3}Osmaniye Korkut Ata University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Industrial Engineering, Osmaniye, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0001-5679-2594>

²<https://orcid.org/0000-0003-4764-9379>

³<https://orcid.org/0000-0002-9696-7579>

*Corresponding author: oder@bandirma.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 05.08.2023

Accepted: 19.11.2023

Published online: 11.03.2024

Keywords:

CO₂ laser cutting

Optimization

Multi criteria decision making

Polypropylene

ABSTRACT

This paper presents a comprehensive study on the multi-objective optimization of cutting parameters for Polyethylene (PE) thermoplastic material utilizing a CO₂ laser. Recognizing the pivotal role of precise and efficient cutting in various sectors, from packaging to biomedical engineering, we integrate two potent analytical methodologies - Data Envelopment Analysis (DEA) and Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA)-based Comprehensive Criteria Score Optimization (CoCoSo) approach. The cutting parameters chosen for the study were material thickness, power, and cutting speed. The experiments were conducted according to the Taguchi L₁₈ orthogonal array. Surface roughness and kerf width measurements were performed to examine the cutting quality. Additionally, another response variable, material removal rate, was calculated. By integrating Data Envelopment Analysis and the SWARA-based CoCoSo approach, the experimental condition that yielded the lowest surface roughness, kerf width, and highest material removal rate was determined. The optimum experimental condition was found to be 4 mm material thickness, 80 W power, and 15 mm/s cutting speed. This work, therefore, paves the way for the innovative application of these combined methodologies in enhancing the production processes of PE and other thermoplastic materials, with clear implications for cost-effectiveness and sustainability in the manufacturing sector.

Veri Zarflama Analizi ve SWARA Tabanlı CoCoSo Yaklaşımını Entegre Ederek Polietilen Termoplastik Malzeme Kesme Parametrelerinin Çok Amaçlı Optimizasyonu

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 05.08.2023

Kabul tarihi: 19.11.2023

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

CO₂ lazer kesim

Optimizasyon

Çok kriterli karar verme

Polipropilen

ÖZ

Bu makale, Polietilen (PE) termoplastik malzeme için CO₂ lazer kullanarak kesme parametrelerinin çok amaçlı optimizasyonu üzerine kapsamlı bir çalışma sunmaktadır. Paketlemeden biyomedikal mühendisliğe kadar çeşitli sektörlerde kesme işleminin hassas ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesinin önemini göz önünde bulundurarak, Veri Zarflama Analizi (DEA) ve Adım Adım Ağırlık Değerlendirme Oranı Analizi (SWARA) temelinde Birleşik Uzlaşma Çözümü (CoCoSo) yaklaşımını entegre ediyoruz. Kesme parametreleri olarak malzeme kalınlığı, güç ve kesme hızı seçilmiştir. Deneyler Taguchi L₁₈ ortogonal dizine göre uygulanmıştır. Kesim kalitesini incelemek için yüzey pürüzlülüğü ve kerf genişliği ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, diğer bir yanıt olan

malzeme kaldırma oranı hesaplanmıştır. Veri Zarflama Analizi ve SWARA Tabanlı CoCoSo yaklaşımı entegre edilerek en düşük yüzey pürüzlülüğü, kerf genişliği ve en yüksek malzeme kaldırma oranının elde edildiği deney koşulu tespit edilmiştir. Optimum deney koşulu; 4 mm malzeme kalınlığı, 80 W lazer gücü ve 15 mm/s kesme hızı olarak tespit edilmiştir. Bu çalışma, birleşik metodolojilerin PE ve diğer termoplastik malzemelerin üretim süreçlerini geliştirmede yenilikçi uygulamalarına yol açmaktadır. Bu durum, imalat sektöründe maliyet etkinliği ve sürdürülebilirlik açısından net etkileri olan bir perspektif sunmaktadır.

To Cite: Der O., Ordu M., Başar G. Multi-Objective Optimization of Cutting Parameters for Polyethylene Thermoplastic Material by Integrating Data Envelopment Analysis and SWARA-Based CoCoSo Approach. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(2): 638-661.

1. Introduction

Thermoplastic materials are a class of polymers that possess unique properties, making them widely utilized in various industries, including automotive, aerospace, electronics, and packaging (Der et al., 2019a; Der et al., 2022). PE one of the most widely used thermoplastic materials, is characterized by its high resistance to impact, moisture, and chemical substances. This polymer, composed of ethylene monomers, offers distinct advantages such as low cost, ease of processing, and versatility, making it a critical material in diverse industries, including packaging, construction, and automotive engineering (Mierzwa-Hersztek et al., 2019). Thermoplastic materials, including polyethylene, exhibit the unique property of being mouldable and pliable at high temperatures and becoming hard upon cooling. This inherent plasticity facilitates their machining, moulding, and cutting, accommodating a spectrum of functional needs (Rastogi et al., 2011).

One significant procedure used to machine thermoplastic materials is carbon dioxide (CO₂) laser cutting (Der et al., 2019b). This non-contact, thermal-based process provides a high level of precision and operational control, which is ideal for processing thermoplastics like polyethylene. The principle of CO₂ laser cutting revolves around using the high-energy infrared light beam, which upon interaction with the material's surface, causes it to heat, melt, and vaporize, thereby effectuating a cut. This technique yields remarkable advantages, such as minimal heat-affected zones, low distortion, and the ability to handle intricate designs (Powell, 1993).

Optimizing the cutting parameters in the machining process is essential for ensuring the quality of the final product (Cus and Balic, 2003). In this context, three parameters play a crucial role in determining the cutting quality: Surface roughness, kerf width, and material removal rate. Surface roughness refers to the measure of the texture of the machined surface. A smoother surface denotes a higher-quality cut, minimizing post-processing efforts and costs (Liu et al., 2017). Kerf width, the width of material removed during the cutting process, directly impacts the precision of the cut and the total material usage. A smaller kerf width is generally desirable as it allows for more precise cuts and efficient material utilization (Llanto et al., 2021). The rate at which material is removed, which refers to the quantity of material eliminated in a given period, plays a vital role in determining the productivity of the cutting operation. Higher material removal rates indicate faster cutting speeds, leading to increased

productivity and cost-effectiveness (Kini and Chincholkar, 2010). Therefore, a comprehensive and balanced optimization of these parameters is pivotal to achieving an efficient and high-quality machining process.

This study aimed to determine the optimal experimental parameter by using multi-objective optimization of the cutting parameters of thermoplastic materials with a CO₂ laser. For this, firstly, an experimental setup for the cutting experiment of Polyethylene thermoplastic material with a CO₂ laser was designed. Three different input parameters were selected: material thickness, power and cutting speed. Each input parameter was determined as a factor in the experimental design analysis and three levels of each factor were specified. In the experimental study, three different output parameters were measured: Surface roughness, kerf width, and material removal rate. Considering the approach developed in the study, first of all, efficient experiments were determined by data envelopment analysis. Then, the SWARA-based CoCoSo method was used to determine the ranking of the efficient experiments among themselves. In the second stage, the outputs of the experiment were used as criteria. The criteria weights were calculated by the SWARA method, and these criteria weights were used in the CoCoSo method. Parameter optimization of the efficient experiments was carried out by the SWARA-based CoCoSo method.

The rest of the study was organized as follows: Experimental setup and measurement were explained in greater detail. Then, the developed decision-making approach was explained step by step. Experimental results were given and the effects of cutting parameters on each output were analyzed. Multi-objective optimization was carried out by using the developed decision-making approach. Finally, the conclusion of the study was emphasized.

2. Literature Review

In the exploration of CO₂ laser cutting for thermoplastic polymers with thicknesses ranging from 2 to 10 mm, Caiazzo et al. (2005) evaluated an array of influential parameters such as laser power, cutting velocity, gas pressure, and the thickness of the work material. The study elucidated the superior laser-cutting efficacy of polycarbonate (PC), the moderate workability of polypropylene (PP), and the restrained suitability of polyethylene (PE) for laser cutting. Concurrently, Zhou and Mahdavian (2004) advocated for employing a 60W low-power CO₂ laser for slicing non-metallic substances and plastic boards, accentuating the efficacy of pulse mode cutting for medium-density fibreboards processing due to its narrowed kerf width and reduced burnout probability even amidst intricate angular profile cuts (Lum et al., 2000). In a related study, Mathew et al. (1999) executed parametric scrutiny on the laser cutting procedure of carbon fiber-reinforced plastic composites employing a pulsed Nd:YAG laser, utilizing response surface methodology for the establishment of predictive models. Their investigation examined variables including the heat-affected zone and the taper of the cut surface. Kurt et al. (2009) probed the implications of CO₂ laser cutting on engineering plastics, concluding the necessity of laser power and cutting speed regulation and optimization for the attainment of specified dimensions and

optimal surface quality, characterized by satisfactory roughness values. The effect of gas pressure on achieving target dimensions was found negligible, and lower striation frequency was linked to an enhancement in surface quality. Contrarily, no linear correlation was observed between the cutting velocity and surface irregularity of the cut surface. In their assessment of laser power and cutting speed impacts on the quality of cuts across various polymeric materials, Davim et al. (2008a) identified the exceptional workability of Polymethyl Methacrylate (PMMA) for laser cutting, with Polycarbonate (PC) also showing high workability. Polypropylene (PP) displayed medium workability while reinforced thermoset plastic exhibited low workability in laser cutting operations. Davim et al. (2008b) also analyzed the cutting quality of PMMA utilizing a CO₂ laser, focusing on linear and complex 2D pattern surface quality. They reported a relatively small heat-affected zone and the absence of burr formation during the cutting procedure. Ilio et al. (1990) innovatively introduced a digital image processing technique for cut quality assessment in their study on laser cutting of aramid fiber-reinforced plastics. Furthermore, Rooks (2004) delineated the heterogeneous results stemming from different polymer-laser type combinations and discussed the use of robotics for specialized applications such as the dynamic scribing of packaging materials and pre-weakening car trims for integrated airbags. Der et al. (2021) exhibited the successful cutting of variable-thickness polypropylene plastics using a CO₂ laser. The cut pieces were subsequently joined via transmission laser welding, forming a flexible pulsating heat pipe, a process found to be notably efficient due to impeccable cutting.

Moreover, the potency of multi-objective optimization techniques in pinpointing the optimal blend of process parameters, which take into consideration a variety of evaluated cutting properties, has been exhibited. Tackling the shortcomings of the Taguchi method's unifocal optimization, Dubey and Yadava (2008) utilized principal component analysis alongside an orthogonal array to bring forth a multi-objective optimization for the Nd:YAG laser cutting of nickel-based superalloy sheets. Their method led to the discovery of optimized process parameters that resulted in a reduction of various cutting characteristics, encompassing kerf taper, kerf deviation along the length, and kerf width. The parameters could be defined to be optimal as a result of the decrease in oxygen pressure, the shortening of pulse duration, the intermediate pulse frequency, and the slower cutting speed. Through the execution of ANOVA analysis, the cutting speed was recognized as having the most profound impact (48%) on the outcome, subsequently followed by pulse width (33%). In another investigative study, Pandey and Dubey (2012) amalgamated the Taguchi method with fuzzy logic theory to enhance multiple results in the laser cutting procedure of Duralumin sheets, noted for their high reflectivity and thermal conductivity. The determination of the optimized parameter blend hinged on the appraisal of the maximum fuzzy multi-response performance index. This index emphasized beneficial outcomes in relation to augmented gas pressure, amplified cutting speed, attenuated pulse width, and mitigated pulse frequency. Remarkably, in this study, the paramount factor was oxygen gas pressure, which constituted 61.3% of the effect, with pulse frequency following at 34.5%. Chen et al. (2011) employed Grey relational analysis to fine-tune the CO₂ laser cutting process for 6 mm thick PMMA. The researchers

honed their attention on two crucial performance features: acquiring a significant transmittance ratio and curtailing surface irregularities. Through rigorous examination, they discerned the optimal parameters to incorporate a moderate assisted-gas flow rate, a minimal defocussing distance, a low pulse frequency, and a higher cutting speed. Among these variables, the assisted gas flow rate and beam defocusing distance were found to exert the most substantial impact on the ultimate quality of the cut surface. Parameter optimization is instrumental in procuring the desired surface roughness for thermoplastic materials. Traditional optimization techniques typically concentrate on single-objective optimization, which contemplates a single criterion at a time (Nyiranzeyimana et al., 2021), for example, Basar et al. (2018) and Güvenç et al. (2019). Yet, in practical scenarios, multiple criteria necessitate concurrent consideration to attain optimal results. Multi-objective optimization methodologies, when united with multi-criteria decision-making (MCDM) approaches, are gaining recognition for addressing such intricate optimization problems (Kumar et al., 2017). AHP and TOPSIS are two of multi criteria decision making methods that are extensively used (Sasikumar and Ayyappan, 2019). AHP facilitates the determination of the comparative importance of different criteria, while TOPSIS assists in ranking the alternatives based on their performance relative to these criteria. The amalgamation of AHP and TOPSIS offers a holistic framework for decision-making, enabling effective parameter optimization and the realization of the desired surface roughness in thermoplastic materials (Roy et al., 2020). In fact, metaheuristic-based ANFIS applications have been implemented to accurately predict surface roughness, as demonstrated by Guvenc et al. (2022).

Numerous studies exist regarding laser cutting in the literature. For instance, Eksilmez et al. (2022) studied the laser processing of Hardox 500 steel and evaluated its processing parameters. Cebeci et al. (2022) processed AISI 304 stainless steel using a laser, focusing on the impact of cutting parameters on outputs such as surface roughness, kerf width, and burr height. The selection of materials suitable for laser cutting has also been a research topic, as explored by Ordu and Der (2023a). Moreover, Ordu and Der (2023b) concentrated on minimizing environmental impacts when selecting the most suitable plastic material for laser cutting.

Despite the extensive research on laser cutting of various materials, especially thermoplastic polymers, there remains a gap in understanding the integration of multi-objective optimization methodologies with multi-criteria decision-making techniques. The present study seeks to bridge this gap by combining the strengths of AHP and TOPSIS into a comprehensive framework for laser cutting applications. Such an approach not only enhances the predictability of outcomes, such as surface roughness but also highlights the study's novelty in addressing complex optimization challenges in laser cutting. Through this research, we aim to offer a pioneering pathway for stakeholders to achieve optimal results while considering multiple concurrent criteria, ensuring superior laser-cutting performance and quality.

3. Experimental Setups and Measurements

3.1. CO₂ Laser Machine and Thermoplastic

The preliminary experiments were carried out with a laser system, consisting of a 100 W continuous CO₂ laser (LazerFix LF7010 Laser Cutting Machine), and a three-axis CNC-controlled table with a working volume of 70 cm×100 cm×20 cm as shown in Figure 1.



Figure 1. LazerFix LF7010 laser cutting machine

The thermoplastic material selected for this research was PE. Its properties are given in Table 1. The selected material thicknesses were 2 and 4 mm.

Table 1. Average physical, thermal, and mechanical properties of PE

Thermoplastic	Density (kg/m ³)	Yield strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	T _m (°C)	Service Temperature, min/max (°C)
PE	950	23.5	33.00	0.76	125	-70/80

PE, a widely used plastic material, is known for its lightweight, excellent insulation properties, and strong resistance to most acids, bases, and numerous organic solvents. Its flexibility and toughness combined with resistance to impact and abrasion make it mechanically reliable. Additionally, PE serves as an effective vibration damper. The material's melting point is approximately 125°C, emphasizing its substantial thermal properties. It also exhibits superior electrical characteristics, including commendable dielectric strength, volume resistivity, and high arc resistance, making it a popular choice for electrical insulation. Although the grade of polyethylene determines its opacity, it generally ranges from translucent to opaque.

3.2. Selection of Cutting Parameters

The cutting process is affected by various constant and varying parameters. The stand-off distance is the constant factor, while the variables encompass the power of the laser, the speed of the cut, the thickness of the material, and the pressure of the compressed air. The role of compressed air is twofold: to clear away molten material from the workpiece and to shield the focusing optics from any dust or smoke. Keeping the optics clean is crucial in guaranteeing that the workpiece is subjected to a beam of the highest quality. An optimum working distance of 7 mm has been established.

Once the polymer sheet was situated on the work surface, we examined its evenness with a spirit level. We did not employ compression pressure to secure the sheet to the table. For polymer sheets that are smaller and/or thinner, compression is generally essential to avoid unsteadiness induced by the effect of pressurized air on the sheet; however, with the minimum thickness of 2 mm in this study, it was not required. The thrust magnitude and the efficiency in eliminating molten material have correlations with the stand-off distance and nozzle diameter, to the contrary these correlations were not explored in this research.

In this study, material thickness, power and cutting speed were chosen as cutting parameters in cutting PE material with a CO₂ laser. Selected cutting parameters and levels are given in Table 2. Experiments were performed according to the Taguchi L₁₈ orthogonal array.

Table 2. Cutting parameters and levels

Cutting parameters	Symbol	Level 1	Level 2	Level 3
Material thickness (mm)	t	2	4	-
Power (W)	P	80	90	100
Cutting speed (mm/s)	Vc	5	10	15

Figure 2 illustrates the geometric shapes employed in the laser-cutting process of polymeric materials. The results obtained from these cuts were used to determine surface roughness measurements. From a 130 mm x 130 mm square plate, nine pieces, each measuring 30 mm x 30 mm, were obtained. These pieces were cut at different cutting speeds and powers.

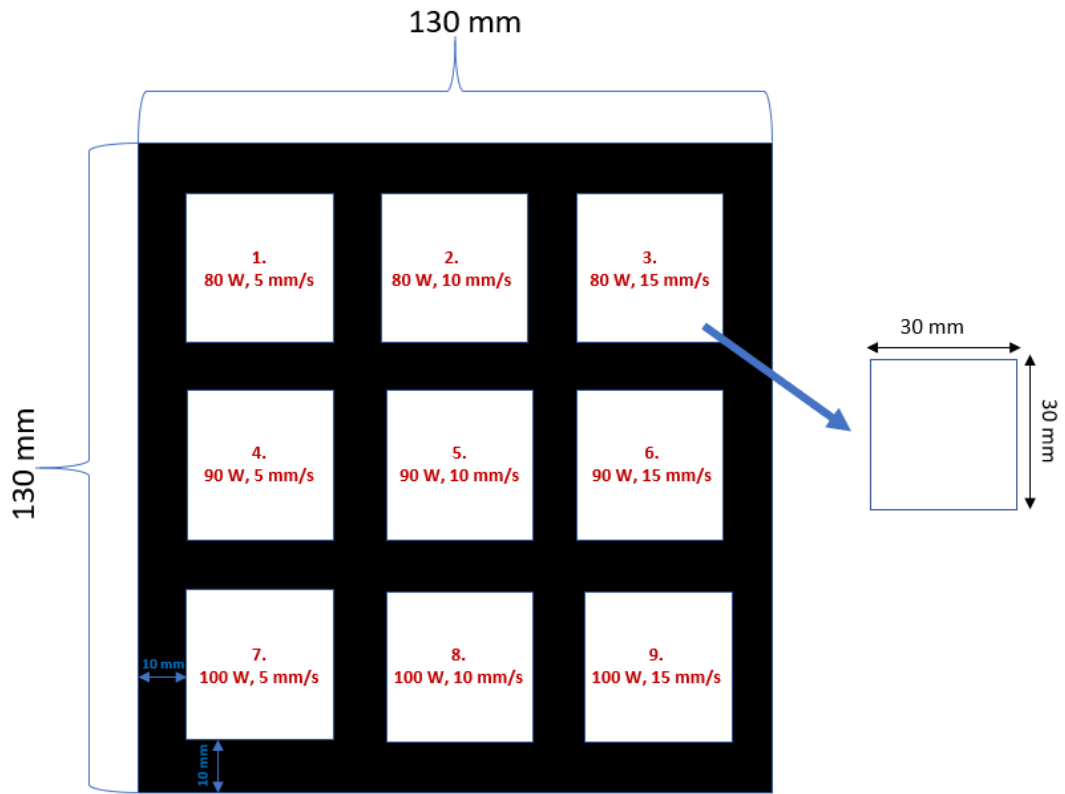


Figure 2. Geometric forms of the specimen for surface roughness measurements

In order to measure kerf width - an important cutting parameter - the part depicted in Figure 3 was cut. A straight cut was made on a 10 mm x 100 mm rectangular plate to measure the kerf widths associated with nine different parameters.

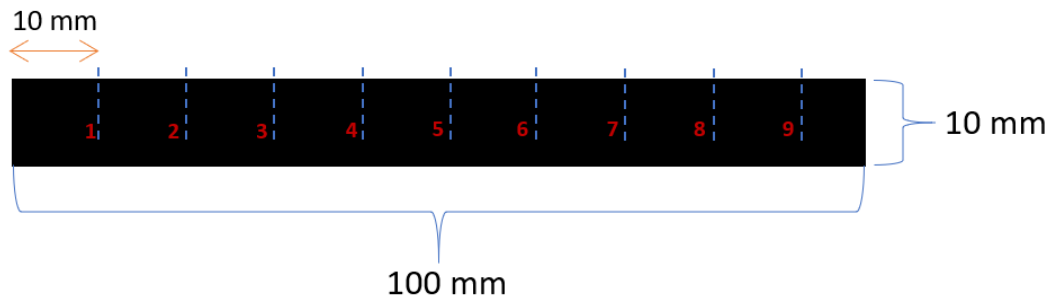


Figure 3. Geometric forms of the specimen for kerf width measurements

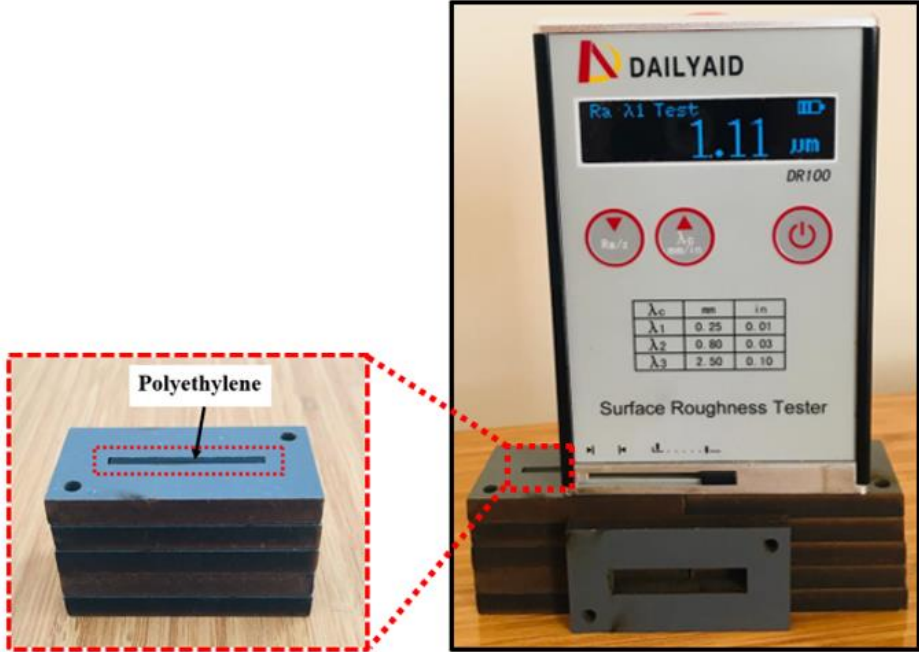
3.3. Measurement of Ra with Kerf Width and Calculation of Material Removal Rate

Surface roughness (Ra) and kerf width (KW) measurements were performed to examine the cutting quality of the PE material. Ra measurements were conducted using the DAILYAID brand and DR100 model surface roughness measurement device. The KW was measured using a computer-connected Dino-Lite AM4113T digital microscope. The measurements were taken from the captured images using Dino Capture 2.0 software. Ra and KW measurement pictures are shown in Figure 4.

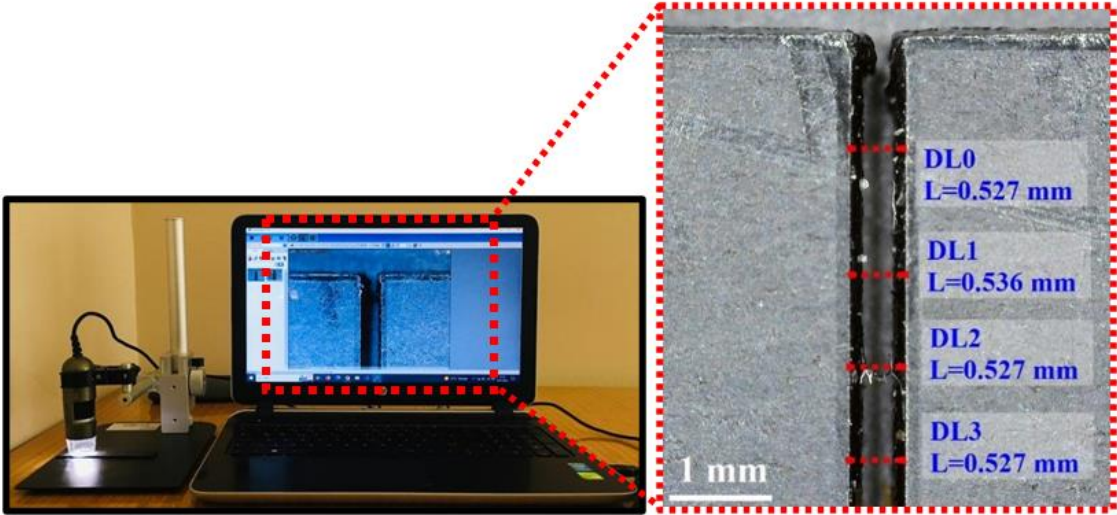
Another response, material removal rate (MRR), is calculated by Eq. (1) (Madić et al., 2014).

$$MRR (mm^3/min) = t \cdot Vc \cdot KW \tag{1}$$

Here; t (mm) is material thickness, Vc (mm/s) means cutting speed and KW (mm) represents kerf width.



a)



b)

Figure 4. Measurement setup a) Surface roughness and b) Kerf width.

4. Data Envelopment Analysis Integrated with SWARA-Based CoCoSo Approach

4.1. Data Envelopment Analysis Modelling

Data Envelopment Analysis (DEA) is an approach used to evaluate the relative performance of alternatives and it has gained widespread use over the years (Po et al., 2009). Charnes et al. (1978) introduced the DEA method featuring the Charnes-Cooper-Rodes (CCR) model, while the DEA variant using the Banker-Charnes-Cooper (BCC) model was proposed by Banker et al. (1984). The core of the DEA model is a fractional programming process that optimizes a ratio obtained by dividing outputs by their corresponding inputs. The computation of weights involves the application of a mathematical programming method (Po et al., 2009). The transformation of fractional programming into a linear one was achieved by Charnes et al. (1981). We modified our DEA model for each Decision-Making Units (DMUs) following Cooper et al. (2000), incorporating 18 DMUs, three inputs, and three outputs. The DEA model assigns efficiencies within the [0, 1] interval, with the highest possible efficiency score capped at 1. This restriction might induce uncertainty in comparing the relative efficiency scores of high-performing DMUs. That is, the DEA model does not facilitate a ranking system among the most efficient DMUs (Ordu et al., 2021).

4.2. Determination of the Criteria Weights by Using SWARA Method

The SWARA method is one of the multi-criteria decision-making methods and can be used to determine criterion weights. SWARA method was developed by Keršulienė et al. (2010). The steps of the method (Keršulienė et al., 2010) are given below:

Step 1: All criteria is sorted in descending order of their importance.

Step 2: For each criterion, the Comparative Significance of the Mean Value (s_j) is determined. For this, criterion j is compared with the criterion ($j+1$). The relative importance of the criterion j according to the criterion ($j+1$) is determined.

Step 3: The coefficient (k_j) is calculated using Eq. (2).

$$k_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ s_j + 1, & j > 1 \end{cases} \quad (2)$$

Step 4: The importance vector (w_j) is calculated using Eq. (3).

$$w_j = \begin{cases} 1, & j = 1 \\ \frac{x_{j-1}}{k_j}, & j > 1 \end{cases} \quad (3)$$

Step 5: The criterion weights (q_j) is calculated using Eq. (4).

$$q_j = \frac{w_j}{\sum_{k=1}^n w_k} \quad (4)$$

4.3. CoCoSo Method

The CoCoSo method, proposed by Yazdani et al. (2020), integrates the principles of the following: Simple Additive Weighting (SAW), Multiplicative Exponential Weighting (MEW), and Weighted

Aggregated Sum Product Assessment (WASPAS). This method's unique capability is to fuse data support the development of more dependable models and facilitate highly accurate decision-making (Torkayesh et al., 2021). The process involved in the CoCoSo method is as follows (Yazdani et al., 2019):

Step 1: The decision matrix is initially established. Based on the compromise normalization equation, the criteria values are normalized by using Eq. (5) for maximization-oriented criteria and Eq. (6) for minimization-oriented criteria. x_{ij} was the value of the alternative i for the criterion j , r_{ij} meant the normalized value of the alternative i for the criterion j ,

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}} \quad (5)$$

$$r_{ij} = \frac{\max_i x_{ij} - x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}} \quad (6)$$

Step 2: The sum of the weighted comparability (S_i) and power-weighted comparability sequences (P_i) for each alternative are calculated by utilizing Eq. (7) and (8). w_j is the weight of the criterion j .

$$S_i = \sum_{j=1}^n (w_j r_{ij}) \quad (7)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n (r_{ij})^{w_j} \quad (8)$$

Step 3: Construct three aggregated assessment scores to identify the corresponding weights of the alternatives by applying Eq. (9) - (11).

$$k_{ia} = \frac{P_i + S_i}{\sum_{i=1}^m (P_i + S_i)} \quad (9)$$

$$k_{ib} = \frac{S_i}{\min_i S_i} + \frac{P_i}{\min_i P_i} \quad (10)$$

$$k_{ic} = \frac{\lambda(S_i) + (1 - \lambda)(P_i)}{(\lambda \max_i S_i + (1 - \lambda) \max_i P_i)} \quad (11)$$

Step 4: Broadly, Eq. (12) signifies the arithmetic average of the sum of the Weighted Sum Method and Weighted Product Method scores. On the other hand, Eq. (13) represents the sum of the relative Weighted Sum Method and Weighted Product Method scores in comparison to the optimal choice. Eq. (14) provides to determine the balanced compromise score of the WSM and WPM models. While the value from Eq. (14) may fluctuate between 0 and 1, the threshold value is generally set at 0.50.

$$k_{ia} = \frac{P_i + S_i}{\sum_{i=1}^m (P_i + S_i)} \quad (12)$$

$$k_{ib} = \frac{S_i}{\min_i S_i} + \frac{P_i}{\min_i P_i} \quad (13)$$

$$k_{ic} = \frac{\lambda(S_i) + (1 - \lambda)(P_i)}{(\lambda \max_i S_i + (1 - \lambda) \max_i P_i)} \quad (14)$$

Step 5: Ascertain based on the descending order of the total score the final ranking of the alternatives (k_i) calculated by Eq. (15).

$$k_i = (k_{ia}k_{ib}k_{ic})^{\frac{1}{3}} + \frac{1}{3}(k_{ia} + k_{ib} + k_{ic}) \quad (15)$$

5. Results and Discussion

5.1. Experimental Results

The analysis of the data obtained from CO₂ laser cutting experiment, as represented in Table 2, has revealed interesting patterns and correlations between various factors such as power, cutting speed, and material thickness on parameters like surface roughness (Ra), kerf width (KW), and material removal rate (MRR). The Ra values have demonstrated that at a constant power and material thickness, an increase in cutting speed results in a reduction of surface roughness. For example, with a power of 80 W and thickness of 2 mm, an increase in cutting speed from 5 mm/s to 15 mm/s resulted in a decrease of Ra from 1.21µm to 0.67µm. This result was found to be compatible with the literature (Caiazzo et al., 2005; Choudhury and Shirley, 2010). However, at a fixed cutting speed and material thickness, an increase in power tended to increase the Ra value, presumably due to the larger amount of heat input causing more significant melting and potentially re-solidification phenomena, leading to a rougher surface. This outcome has aligned with what was previously published in the field (Anjum et al., 2022). Comparing the Ra values for a thickness of 2mm at 80 W power and 5mm/s cutting speed (Ra = 1.21µm), with those for a thickness of 4mm under the same power and cutting speed conditions (Ra = 1.28 µm), it can be seen that increased material thickness also tends to increase the Ra values.

For KW, the values also have tended to decrease as cutting speed increases, consistent with a reduction in the dwell time of the laser beam on the material resulting in narrower cuts. However, with increasing power and material thickness, the KW values increased, which was expected as a more powerful laser would deliver more energy to the cut zone, thus generating wider kerfs. The existing body of research also corroborates these findings (Moradi et al., 2017). For example, comparing the KW values for 2 mm thickness at 80W and 5mm/s cutting speed (KW = 0.466 mm), with the 4mm thickness under the same power and cutting speed conditions (KW = 0.709 mm), has demonstrated the effect of increased material thickness on the KW.

The MRR values ended up with a clear increase with both cutting speed and power, as expected. A faster, more powerful laser would be capable of removing material more quickly. For instance, with a material thickness of 2mm and power of 80 W, increasing the cutting speed from 5 mm/s to 15 mm/s results in the MRR increasing from 280 mm³/min to 724 mm³/min. Similarly, for a cutting speed of 5

mm/s and thickness of 2 mm, increasing the power from 80 W to 100 W increases the MRR from 280 mm³/min to 341 mm³/min. The results reported in the literature are also compatible with the ones found in this study (Varsi and Shaikh, 2019). Interestingly, MRR values also increase noticeably with material thickness, even though one might anticipate a thicker material would take longer to cut. This could be due to the calculation of MRR, which considers volume (mm³/min), thus thicker materials result in a greater volume of material being removed per unit time. To sum up, this analysis implies a delicate balance and potential trade-off when choosing the parameters for laser cutting. Higher cutting speeds may lead to lower Ra and narrower KWs but at the cost of potentially reduced MMRs. Conversely, higher powers may boost the MMR but could result in rougher surface finishes and wider kerfs.

Table 3. Responses from CO₂ laser cutting experiment results

Experiment Number	Thickness (mm)	Power (W)	Cutting speed (mm/s)	Ra (μm)	KW (mm)	MRR (mm ³ /min)
1	2	80	5	1.21	0.466	280
2	2	80	10	0.82	0.419	503
3	2	80	15	0.67	0.402	724
4	2	90	5	1.28	0.538	323
5	2	90	10	0.90	0.491	589
6	2	90	15	0.73	0.462	832
7	2	100	5	1.49	0.569	341
8	2	100	10	1.09	0.530	636
9	2	100	15	0.80	0.504	907
10	4	80	5	1.28	0.709	851
11	4	80	10	0.85	0.661	1586
12	4	80	15	0.70	0.623	2243
13	4	90	5	1.32	0.818	982
14	4	90	10	0.93	0.754	1810
15	4	90	15	0.75	0.702	2527
16	4	100	5	1.51	0.863	1036
17	4	100	10	1.12	0.793	1903
18	4	100	15	0.95	0.722	2599

5.2. The Effect of Cutting Parameters on Ra, KW and MRR

Three-dimensional graphs were generated to investigate the effects of CO₂ laser cutting parameters on Ra, KW, and MRR. The graphs for Ra were displayed in Figure 5 (a-c). It was established that an increase in cutting speed results in a decrease in Ra. Additionally, it was observed that the quality of the laser-cut surface improved with a reduction in both material thickness and power. A review of the figures suggested that cutting speed and power exerted a more significant influence on Ra than material thickness.

Three-dimensional graphs depicting KW are presented in Figure 6 (a-c). Observations showed that KW decreased as the cutting speed increased. Furthermore, it was determined that KW diminished with a reduction in material thickness and laser power. Material thickness and power significantly impact KW, whereas the influence of cutting speed was less pronounced. It was evident that the most crucial parameter was found to be the material thickness.

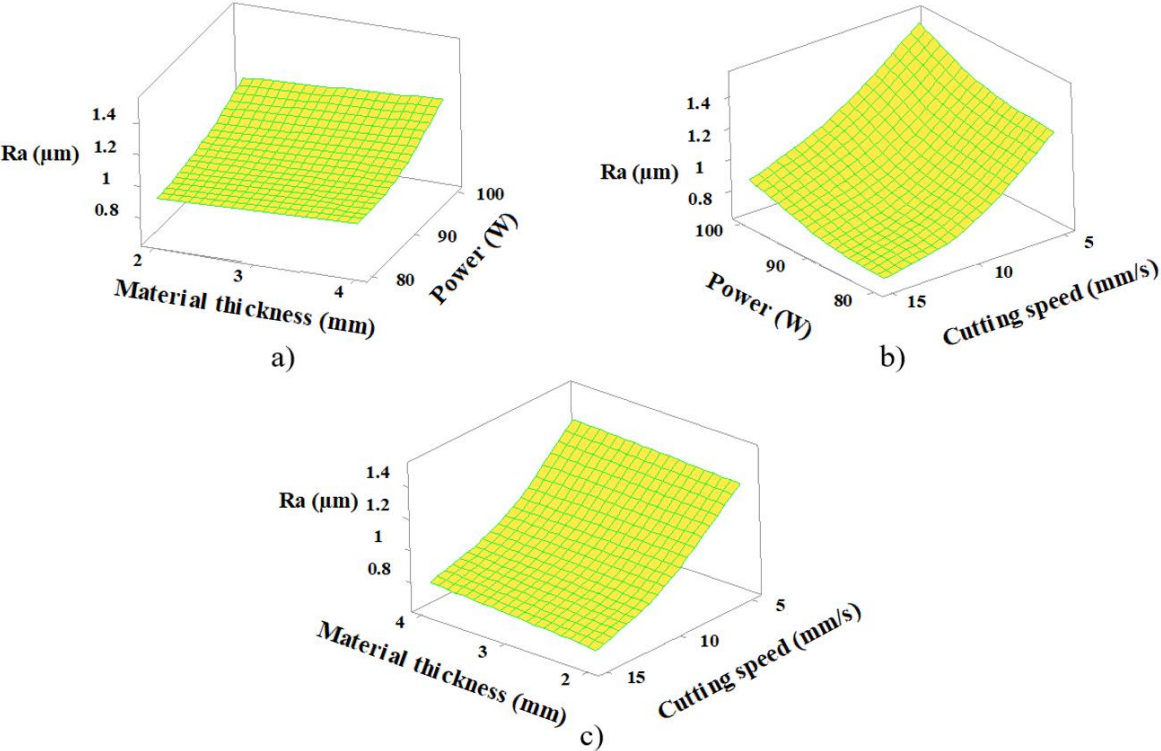


Figure 5. Three-dimensional graphics for Ra

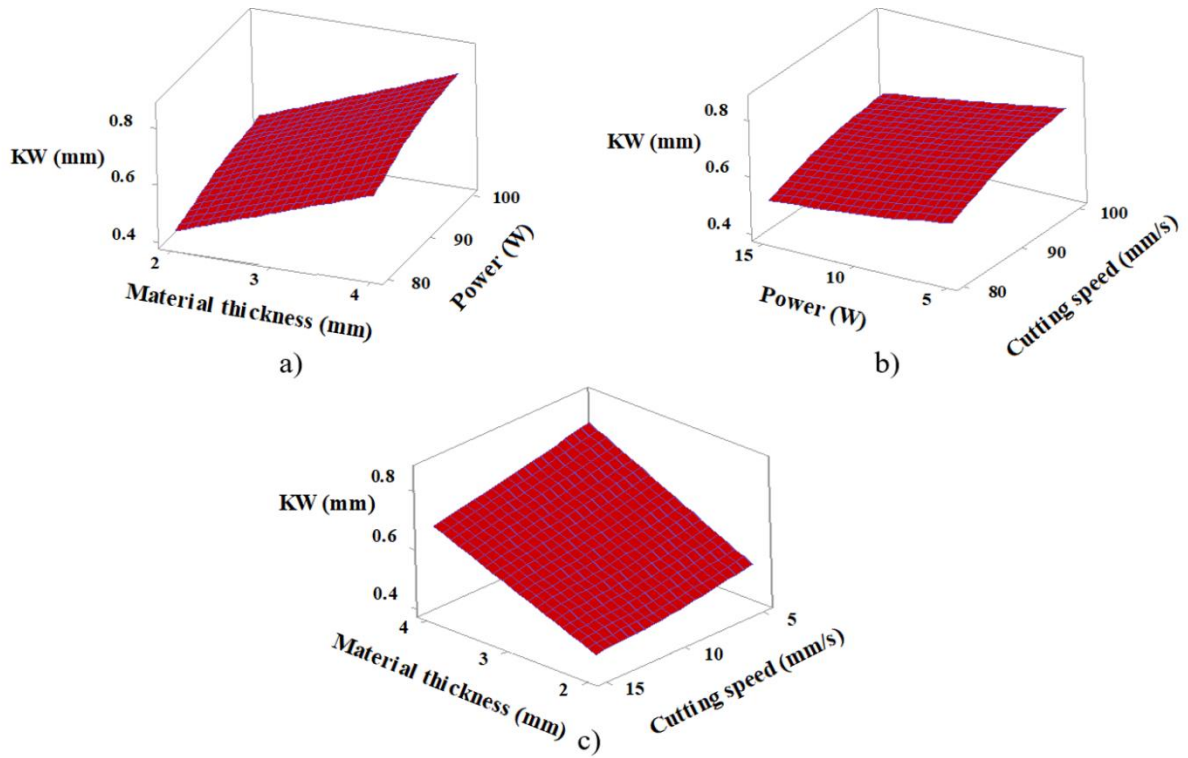


Figure 6. Three-dimensional graphics for KW

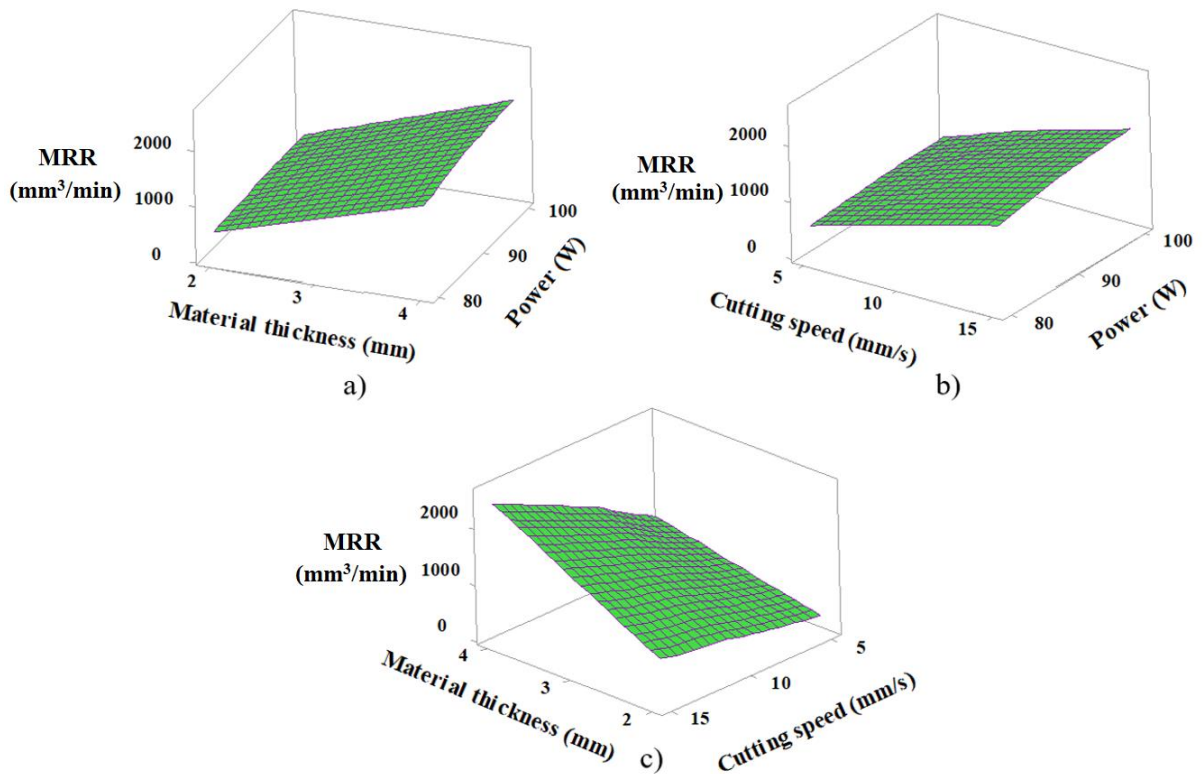


Figure 7. Three-dimensional graphics for MRR

Three-dimensional graphs illustrating the MRR are shown in Figure 7 (a-c). It was observed that the MRR increases as the cutting speed, power, and material thickness increase. The parameters of CO₂

laser cutting have a significant impact on the MRR. Since material thickness is a critical parameter influencing the KW, it also has the most significant effect on the MRR. As the material thickness increases, the KW and, consequently, the MRR also increase. This correlation is due to the use of the KW value in the calculation of the MRR.

5.3. Multi-Objective Optimization of Cutting Parameters

In the multi-objective optimization of cutting parameters, we have integrated three different methods: First, we determined the efficient experiments by using the data envelopment analysis method, then the weights of the criteria were calculated to evaluate the efficient experiments among themselves within the framework of a set of criteria, and lastly, the efficient experiments were ranked from the most optimal to the non-optimal. In the first stage, the efficiency scores of the experiments were calculated based on the input-output relationship by the data envelopment analysis. A total of 18 experiments were considered as decision-making units (DMUs). The factors considered in the experiment were taken into account as inputs and the measured parameters were selected as outputs. As can be seen in Table 4, 14 of the 18 experiments were found to be efficient, and all the efficiency scores are shown in Table 5.

Table 4. The summary of the DEA modeling

Maximum efficiency score	1.00
Minimum efficiency score	0.91
Number of efficient DMUs	14
Total number of DMUs	18
% of efficient DMUs	77.78

Table 5. The experiments and efficiency scores (%)

Experiments	Efficiency Scores (%)
E1	1.00
E2	1.00
E3	1.00
E4	0.97
E5	0.95
E6	1.00
E7	0.91
E8	0.92
E9	1.00
E10	1.00
E11	1.00
E12	1.00
E13	1.00
E14	1.00
E15	1.00
E16	1.00
E17	1.00
E18	1.00

In this multi-objective optimization study, we prioritized Ra, MRR, and KW, with the criteria weights of 50.4%, 28%, and 21.6%, respectively (see Table 6). These weights, signifying their importance, were

derived using the SWARA method. Ra received the highest weight among the criteria, reflecting its crucial importance in the machining of polyethylene thermoplastic material. The quality of a finished product was primarily determined by the Ra, which was directly influenced by the cutting parameters. A superior surface finish could reduce the need for additional finishing processes, potentially saving time and cost. Moreover, a smoother surface was more resistant to wear and tear, leading to a longer product lifespan. Therefore, the weight of Ra, which reflected its dominant role in the machining process, was set at 50.4%.

Table 6. Criteria weights (%)

Criteria	s_j	k_j	q_j	w_j
Surface Roughness		1.00	1.000	0.504
Material Removal Rates	0.80	1.80	0.556	0.280
Kerf Width	0.30	1.30	0.427	0.216

On the other hand, the MRR also has played a significant role in machining, though its weight was less than Ra. This criterion was associated with the efficiency of the machining process, as a higher removal rate translates to faster job completion. However, a higher removal rate might have compromised the quality of the surface finish and the dimensional accuracy of the product. As a result, while it was important to maximize the MRR, this must be balanced with the need to achieve optimal Ra. Hence, the weight assigned to MRR was 28%. Lastly, the KW represented the width of the material that was removed during the cutting process. Although it had a lower weight of 21.6%, it still held relevance in the optimization process. The KW had impacts on the amount of material wasted in the process and also affected the precision of the cut. A smaller KW often corresponds to a more precise cut, which is particularly critical in industries where high precision is required. However, due to the inherent resilience and relatively low cost of polyethylene thermoplastic material, the KW was deemed less important than Ra and MRRs in this specific context. In summary, criteria weights, derived from polyethylene material properties and machining implications, balance product quality (surface roughness), efficiency (material removal rates), and precision (kerf width) for optimal cutting parameter optimization.

The experimental results of the multi-objective optimization of cutting parameters for PE thermoplastic material are summarized in Table 7. This section has elucidated the findings, focusing primarily on the individual and combined effects of the key cutting parameters: thickness, power, and cutting speed. These parameters were optimized using the integrated Data Envelopment Analysis and SWARA-based CoCoSo approach, without delving into the specifics of the CoCoSo parameter values.

Table 7. Ranking experiments by CoCoSo Method

Experiments	Input Parameters			Parameter Values of CoCoSo Method				Rank
	Thickness (mm)	Power (W)	Cutting speed (mm/s)	k_a	k_b	k_c	k	
E1	2	80	5	0.0489	6.1531	0.5301	2.7863	11
E2	2	80	10	0.0777	10.4233	0.8423	4.6613	8
E3	2	80	15	0.0862	12.0807	0.9350	5.3585	3
E6	2	90	15	0.0842	11.4840	0.9136	5.1203	4
E9	2	100	15	0.0818	10.8488	0.8874	4.8628	6
E10	4	80	5	0.0574	5.7771	0.6221	2.7429	12
E11	4	80	10	0.0816	10.6322	0.8854	4.7823	7
E12	4	80	15	0.0922	12.9947	1.0000	5.7577	1
E13	4	90	5	0.0510	4.8655	0.5532	2.3391	13
E14	4	90	10	0.0769	9.7548	0.8341	4.4106	9
E15	4	90	15	0.0897	12.5468	0.9729	5.5672	2
E16	4	100	5	0.0208	2.0000	0.2258	0.9599	14
E17	4	100	10	0.0687	8.1533	0.7453	3.7366	10
E18	4	100	15	0.0829	11.0228	0.8989	4.9380	5

The thickness of the PE material seems to play a substantial role in the ranking. In particular, experiments conducted on materials with a thickness of 4mm (E10 - E18) predominantly ranked higher than those with a thickness of 2mm (E1 - E9). This suggests that, within the parameters tested, the cutting process efficiency tends to improve with increased thickness. The most important reason behind this is that the MRR value increases significantly when the material thickness increases. For example, while this value was 13.86 in E6, it increased to 43.34 in E18.

The power input used during the cutting process, however, did not show a straightforward correlation with the ranking. Considering experiments with constant thickness and cutting speed, we observed that an increase in power from 80W to 90W often improved the rank (as seen in E3 versus E6 and E12 versus E15), but a further power increase to 100W tended to result in a lower rank (as seen in E6 versus E9 and E15 versus E18). This could be indicative of a non-linear relationship between power input and performance, suggesting a need for more targeted optimization to identify the ideal power range. The most important factor that causes this situation is the increase in Ra and KW when the power reaches 100 W. These results are also supported by the existing literature (Eltawahni et al., 2010). For example, Ra was 0.73 at E6 and 0.8 at E9. Similarly, when the thickness reached 4 mm, KW was 0.623 at E12 and 0.863 at E16.

The cutting speed appeared to have the most consistent correlation with the performance rank. Higher cutting speeds generally yielded better ranks, particularly evident when other parameters remained constant (as shown in the set of experiments E1, E2, and E3). This pattern was also observed in experiments E10, E11, and E12, further emphasizing the positive correlation between the cutting speed and ranking. The most important factor behind this was that as the cutting speed increased, the Ra and KW values decreased and the MRR value increased. For example, in E10, Ra and KW were 1.28 and 0.709, respectively, while in E12, these values decreased to 0.7 and 0.623. Several scientists have examined the correlation between surface texture and parameters like cutting velocity, laser intensity,

and the thickness of the material. The materials used for their experiments were polypropylene, polyethylene, and polycarbonate. Their research indicated that as the rate of cutting grew, the surface roughness diminished. This observation aligns well with the results of our latest study, which similarly has shown this pattern (Caiazza et al., 2005; Choudhury and Shirley, 2010).

6. Conclusion

In this study, we explored the effects of material thickness, power, and cutting speed on surface roughness, KW, and MRR during CO₂ laser cutting of PE material. To optimize the cutting parameters for improving cutting quality, we integrated the use of Data Envelopment Analysis (DEA) and the SWARA-based CoCoSo (Combining Compromise Solution) approach. Our results are as follows:

- The surface roughness decreased with a decrease in material thickness and power, coupled with an increase in cutting speed. This means that using thinner materials, lowering power settings, and increasing cutting speeds can contribute to achieving smoother surfaces in the laser cutting process.
- Cutting speed emerged as the most influential parameter on surface roughness, suggesting its adjustment can significantly reduce surface roughness, even more so than varying material thickness.
- In terms of KW, we observed a decrease with an increase in cutting speed and a decrease in both material thickness and power.
- Material thickness stood out as the most influential parameter, implying that KW reduction was most effective when the material thickness was adjusted. For instance, when we doubled the material thickness while keeping the power and cutting speed constant, we saw a KW increase of 54.98%.
- We also determined that the MRR increases in line with increases in material thickness, power, and cutting speed. Given that the calculation of MRR takes into account KW, material thickness, and cutting speed, it is clear that material thickness significantly affects both KW and MRR. This is because of increasing the material thickness leading to a rise in KW and, subsequently, the MRR value.
- Applying the DEA model, we found that 77.78% of Decision-Making Units (DMUs) were efficient.
- Experimental conditions E4, E5, E7, and E8, which involved a material thickness of 2 mm, fell below efficiency with scores under 1.
- The SWARA method revealed that surface roughness, with a weight of 50.4%, was the most important criterion, followed by MRR with a weight of 28%, and KW with a weight of 21.6%.

- Using the DEA and SWARA-based CoCoSo approach, we determined that the best experimental condition was E12, where the material thickness was 4 mm, power is 80 W, and cutting speed was 15 mm/s.
- These findings on CO₂ laser cutting parameters, which have been obtained through multi-objective optimization, offer valuable insights for industry practitioners. By applying these optimized parameters, they can realize time and cost savings while ensuring a higher quality cutting process.

In conclusion, the results of the study underscore the importance of careful selection and optimization of cutting parameters when processing Polyethylene thermoplastic materials. It is suggested that while higher material thickness and cutting speed consistently enhance performance, the relationship between power input and performance would be more complex and non-linear. Future work should consider exploring this complexity further and might benefit from deploying additional experimental designs to comprehensively understand the interactions among these parameters and potentially discover optimal combinations. This study has underlined the power of an integrated approach to multi-objective optimization, combining data envelopment analysis with the SWARA-based CoCoSo method, to derive meaningful, real-world insights.

Acknowledgments

This work has been supported by Osmaniye Korkut Ata University Scientific Research Projects Coordination Unit under grant number #OKUBAP-2022-PT1-003.

Statement of Conflict of Interest

The authors have declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The authors contributed equally to this study.

References

- Anjum A., Shaikh AA., Tiwari N. Experimental investigations of channel profile and surface roughness on PMMA substrate for microfluidic devices with mathematical modelling. *Optik* 2022; 261: 169154.
- Banker RD., Charnes A., Cooper WW. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science* 1984; 30(9): 1078–1092.
- Basar G., Kirli Akin H., Kahraman F., Fedai Y. Modeling and optimization of face milling process parameters for AISI 4140 steel. *Tehnički Glasnik* 2018; 12(1): 5-10.

- Caiazza F., Curcio F., Daurelio G., Minutolo, FMC. Laser cutting of different polymeric plastics (PE, PP and PC) by a CO₂ laser beam. *Journal of Materials Processing Technology* 2005; 159(3): 279–285.
- Cebeci İ., Özlü B., Demir H. AISI 304 paslanmaz sac malzemenin lazerle işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, kerf genişliği ve çapak yüksekliğine etkisinin araştırılması. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2022; 11(2): 410-415.
- Charnes A., Cooper WW., Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research* 1978; 2(6): 429–444.
- Charnes A., Cooper WW., Rhodes E. Evaluating program and managerial efficiency: An application of data envelopment analysis to program follow through. *Management Science* 1981; 27(6): 668–697.
- Chen MF., Ho YS., Hsiao WT., Wu TH., Tseng SF., Huang KC. Optimized laser cutting on light guide plates using grey relational analysis. *Optics and Lasers in Engineering* 2011; 49(2): 222–228.
- Choudhury IA., Shirley S. Laser cutting of polymeric materials: An experimental investigation. *Optics & Laser Technology* 2010; 42(3): 503–508.
- Cooper WW., Seiford LM., Tone K. *Data envelopment analysis*. Springer: USA. 2000.
- Cus F., Balic J. Optimization of cutting process by GA approach. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 2003; 19(1–2): 113–121.
- Davim JP., Barricas N., Conceição M., Oliveira C. Some experimental studies on CO₂ laser cutting quality of polymeric materials. *Journal of Materials Processing Technology* 2008a; 198(1–3): 99–104.
- Davim JP., Oliveira C., Barricas N., Conceição M. Evaluation of cutting quality of PMMA using CO₂ lasers. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2008b; 35(9–10): 875–879.
- Der O., Alqahtani AA., Marengo M., Bertola V. Characterization of polypropylene pulsating heat stripes: Effects of orientation, heat transfer fluid, and loop geometry. *Applied Thermal Engineering* 2021; 184: 116304.
- Der O., Edwardson S., Bertola V. Manufacturing low-cost fluidic and heat transfer devices with polymer materials by selective transmission laser welding. In *Encyclopedia of Materials: Plastics and Polymers* 2022; 370-378.
- Der O., Edwardson S., Marengo M., Bertola V. Engineered composite polymer sheets with enhanced thermal conductivity. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2019b; 613(1): 012008.
- Der O., Marengo M., Bertola V. Thermal performance of pulsating heat stripes built with plastic materials. *Journal of Heat Transfer* 2019a; 141(9): 091808.

- Dubey AK., Yadava V. Multi-objective optimization of Nd:YAG laser cutting of nickel-based superalloy sheet using orthogonal array with principal component analysis. *Optics and Lasers in Engineering* 2008; 46(2): 124–132.
- Eksilmez N., Özlü B., Demir H. Hardox 500 çeliğinin lazerle işlenmesinde kesme geometrisine ve işleme parametrelerine bağlı kesim kalitesinin değerlendirilmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(1): 301-314.
- Eltawahni HA., Olabi AG., Benyounis KY. Effect of process parameters and optimization of CO₂ laser cutting of ultra high-performance polyethylene. *Materials & Design* 2010; 31(8): 4029–4038.
- Guvenc MA., Bilgic HH., Cakir M., Mistikoglu S. The prediction of surface roughness and tool vibration by using metaheuristic-based ANFIS during dry turning of Al alloy (AA6013). *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* 2022; 44: 474.
- Güvenç MA., Çakır M., Mıstıkoğlu S. Experimental study on optimization of cutting parameters by using Taguchi method for tool vibration and surface roughness in dry turning of AA6013. *10th International Symposium on Intelligent Manufacturing and Service Systems*, 9-11 September 2019, Sakarya/Turkey, pp. 1032-1040.
- Ilio A Di, Tagliaferri V., Veniali F. Machining parameters and cut quality in laser cutting of aramid fibre reinforced plastics. *Materials and Manufacturing Processes* 1990; 5(4): 591–608.
- Keršulienė V., Zavadskas EK., Turskis Z. Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management* 2010; 11(2): 243–258.
- Kini MV., Chincholkar AM. Effect of machining parameters on surface roughness and material removal rate in finish turning of $\pm 30^\circ$ glass fibre reinforced polymer pipes. *Materials & Design* 2010; 31(7): 3590–3598.
- Kumar A., Sah B., Singh AR., Deng Y., He X., Kumar P., Bansal RC. A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2017; 69: 596–609.
- Kurt M., Kaynak Y., Bagci E., Demirer H., Kurt M. Dimensional analyses and surface quality of the laser cutting process for engineering plastics. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2009; 41(3–4): 259–267.
- Liu J., Lu E., Yi H., Wang M., Ao P. A new surface roughness measurement method based on a color distribution statistical matrix. *Measurement* 2017; 103: 165–178.
- Llanto JM., Tolouei-Rad M., Vafadar A., Aamir M. Impacts of traverse speed and material thickness on abrasive waterjet contour cutting of austenitic stainless steel AISI 304L. *Applied Sciences* 2021; 11(11): 4925.
- Lum KCP., Ng SL., Black I. CO₂ laser cutting of MDF. *Optics & Laser Technology* 2000; 32(1): 67–76.

- Madić M., Radovanović M., Slătineanu L., Dodun O. Optimization of laser cut quality characteristics considering material removal rate based on pareto concept. *Applied Mechanics and Materials* 2014; 657: 216–220.
- Mathew J., Goswami GL., Ramakrishnan N., Naik NK. Parametric studies on pulsed Nd:YAG laser cutting of carbon fibre reinforced plastic composites. *Journal of Materials Processing Technology* 1999; 89–90: 198–203.
- Mierzwa-Hersztek M., Gondek K., Kopeć M. Degradation of polyethylene and biocomponent-derived polymer materials: An overview. *Journal of Polymers and the Environment* 2019; 27(3): 600–611.
- Moradi M., Mehrabi O., Azdast T., Benyounis KY. Enhancement of low power CO₂ laser cutting process for injection molded polycarbonate. *Optics & Laser Technology* 2017; 96: 208–218.
- Nyiranzeyimana G., Mutua JM., Mose BR., Mbuya TO. Optimization of process parameters in fused deposition modelling of thermoplastics: A review. *Materialwissenschaft Und Werkstofftechnik* 2021; 52(6): 682–694.
- Ordu M., Der O. Polymeric materials selection for flexible pulsating heat pipe manufacturing using a comparative hybrid MCDM approach. *Polymers* 2023a; 15(13): 2933.
- Ordu M., Der. O. Yeşil üretim için çevresel etki temelli termoplastik malzeme seçimi: Karşılaştırmalı bir hibrid ÇKKV yaklaşımı. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023b; 39(1): 100-115.
- Ordu M., Kirli Akin H., Demir E. Healthcare systems and Covid19: Lessons to be learnt from efficient countries. *The International Journal of Health Planning and Management* 2021; 36(5): 1476–1485.
- Pandey AK., Dubey AK. Taguchi based fuzzy logic optimization of multiple quality characteristics in laser cutting of Duralumin sheet. *Optics and Lasers in Engineering* 2012; 50(3): 328–335.
- Po R-W., Guh Y-Y., Yang M-S. A new clustering approach using data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research* 2009; 199(1): 276–284.
- Powell J. CO₂ Laser Cutting. Springer: London, 1993.
- Rastogi S., Yao Y., Ronca S., Bos J., Van der Eem J. Unprecedented high-modulus high-strength tapes and films of ultrahigh molecular weight polyethylene via solvent-free route. *Macromolecules* 2011; 44(14): 5558–5568.
- Rooks B. Laser processing of plastics. *Industrial Robot: An International Journal* 2004; 31(4): 338–342.
- Roy MK., Shivakoti I., Phipon R. Sharma A. A holistic approach to polymeric material selection for laser beam machining using methods of DEA and TOPSIS. *Foundations of Computing and Decision Sciences* 2020; 45(4): 339–357.
- Sasikumar G., Ayyappan S. Multi-criteria decision making for solar panel selection using fuzzy analytical hierarchy process and technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS): An empirical study. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C* 2019; 100(4): 707–715.

- Torkayesh AE., Pamucar D., Ecer F., Chatterjee P. An integrated BWM-LBWA-CoCoSo framework for evaluation of healthcare sectors in Eastern Europe. *Socio-Economic Planning Sciences* 2021; 78: 101052.
- Varsi AM., Shaikh AH. Experimental and statistical study on kerf taper angle during CO₂ laser cutting of thermoplastic material. *Journal of Laser Applications* 2019; 31(3): 032010.
- Yazdani M., Torkayesh AE., Chatterjee P. An integrated decision-making model for supplier evaluation in public healthcare system: The case study of a Spanish hospital. *Journal of Enterprise Information Management* 2020; 33(5): 965–989.
- Yazdani M., Zarate P., Kazimieras Zavadskas E., Turskis Z. A combined compromise solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems. *Management Decision* 2019; 57(9): 2501–2519.
- Zhou BH., Mahdavian SM. Experimental and theoretical analyses of cutting nonmetallic materials by low power CO₂-laser. *Journal of Materials Processing Technology* 2004; 146(2): 188–192.

Veri Merkezi İç Ortam Koşulları için IoT Tabanlı Gerçek Zamanlı İzleme Sistemi

Hakan ÜÇGÜN^{1*}, Büşra PARLAK², Cihan KARAKUZU³

^{1,2,3}Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Bilecik

¹<https://orcid.org/0000-0002-9448-0679>

²<https://orcid.org/0009-0001-4312-4287>

³<https://orcid.org/0000-0003-0569-098X>

*Sorumlu yazar: hakan.ucgun@bilecik.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 14.08.2023

Kabul tarihi:26.11.2023

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Nesnelerin interneti

Veri merkezi

İzleme sistemi

İç ortam kalitesi

Raspberry pi

ÖZ

İnternet çağını yaşadığımız şu günlerde veri merkezleri, kullanıldığı işletmeler veya kurumlar için bilginin erişilmesi, saklanması ve kullanılması için hayati önem taşımaktadır. İçerisinde sunucu sistemleri ve sunucu bilgisayarları barındıran veri merkezleri sürekli gözetim altında tutulması gereken kritik öneme haiz bilgisayar sistemleridir. Bu bakımdan veri merkezlerinin kurulumlarının yapıldığı odalarda veya merkezlerde bazı iç ortam parametrelerin ele alınması ve bu parametrelerin kontrol altında tutulması gerekmektedir. Bu çalışmada, veri merkezinin bulunduğu bir oda içerisindeki iç ortam parametrelerinin izlenmesi ve herhangi bir sorun tespit edilmesi durumunda e-posta yoluyla ilgili kullanıcıların uyarılmasına imkân sağlayan Nesnelerin İnterneti (IoT) tabanlı bir sistem gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen sistemde Raspberry Pi 3 mini-bilgisayar kartı kullanılmış ve veri merkezi içerisindeki sıcaklık ve nem değerleri, ses şiddeti, hareket tespiti, yangın tespiti, sıvı tespiti gibi parametreler ele alınmıştır. Ele alınan parametreler, geliştirilen web arayüzü ile anlık ve gerçek zamanlı olarak izlenmiştir. Sistem, veri merkezindeki iç ortam koşullarında meydana gelen anormal durumları tespit etmede başarılı olmuş ve hızlı bir şekilde önlemler alınabilmesi için ilgili kullanıcılara uyarılarda bulunmuştur.

IoT Based Real Time Monitoring System for Data Center Indoor Conditions

Research Article

Article History:

Received: 14.08.2023

Accepted: 26.11.2023

Published online: 11.03.2024

Keywords:

Internet of things

Data center

Monitoring system

Indoor quality

Raspberry pi

ABSTRACT

In these days when we live in the internet age, data centers are vital for businesses or institutions where they are used to access, store and use information. Data centers, which contain server systems and server computers, are sensitive critical computer systems that must be kept under constant surveillance. In this regard, some indoor parameters should be handled in rooms or centers where data centers are installed and these parameters should be kept under control. In this study, an Internet of Things (IoT) based system has been implemented that allows monitoring the indoor environment parameters in a data center are located and alerting the relevant users via e-post in case any problems are detected. In the developed system, a Raspberry Pi 3 mini computer card was used and parameters such as temperature and humidity values, sound intensity, motion detection, fire detection, liquid detection in the data center were discussed. The considered parameters has monitored instantly and in real-time with the developed web interface. The system was successful in detecting abnormal conditions in the indoor conditions in the data center and warned the relevant users so that measures could be taken quickly.

1. Giriş

Veri merkezleri, herhangi bir kurum veya firmadan gelen tüm önemli bilgilerin depolandığı ve içerisinde sunucular, yönlendiriciler, anahtarlar ve güvenlik duvarları ile yedekleme cihazları, yangın söndürme tesisleri ve klima gibi bir dizi elektronik ekipmanı barındıran bir tesistir. Yapısı gereği, çalıştığı sektör ne olursa olsun, sürekli olarak hizmet sağlayabilme kapasitesine sahip olması gerekmektedir. Bunu başarabilmek için veri merkezlerinin fiziki olarak buldukları ortam koşullarının en uygun değerlerde tutulması gerekmektedir. Sıcaklık ve nem, bir veri merkezindeki sunucuların doğru çalışmasını ve bütünlüğünü belirleyen önemli etmenlerdendir. Sıcaklık çok yüksekse donanıma zarar verebilir ya da çok düşük sıcaklık çok fazla elektrik gücü gerektirebilir ve bu da elektrik israfına neden olabilir (Utomo ve ark., 2019). Öte yandan, yüksek veya düşük nem, statik elektrik boşalması, metal bileşenlerin korozyonu ve ekipmana su hasarı gibi olası sorunlara yol açar. Bu nedenle, sıcaklık ve nemin uluslararası standartlar (Lajevardi ve ark., 2015) ile aynı seviyelerde tutulması önemlidir. Bu parametrelere ek olarak yangın ve sıvı tespitinin yapılması ve bu tarz durumların oluşması halinde kullanıcıların hızlı bir şekilde aksiyon alması da veri merkezinin çalışmasını önemli bir şekilde etkileyebilmektedir.

Günümüzde internet, bilgi aktarımında en önemli rolü üstlenen iletişim araçlarından bir tanesidir. Teknoloji sadece bilgi paylaşımından ziyade veri toplama, veri analizi ve internet üzerinden cihazları uzaktan kontrol etmeye doğru ilerliyor ve bu da IoT adı verilen yeni bir teknoloji ile sonuçlanıyor. IoT, sensör, gömülü sistemler, bilgi işlem ve iletişim teknolojilerinin bir entegrasyonudur. IoT'nin amacı, herhangi bir zamanda, herhangi bir yerde herhangi bir şeye kesintisiz hizmetler sağlamaktır (Swamy ve Kota, 2020). IoT, verileri gerçek zamanlı olarak toplamak, kontrol etmek, analiz etmek ve paylaşmak için çeşitli fiziksel cihazların birbirine bağlanmasıdır (Lin ve ark., 2017; Liu ve ark., 2020). IoT teknolojisinin kapsamlı büyümesi için motive edici faktör, imalat endüstrilerinin, hizmet sağlayıcıların ve yazılım endüstrilerinin çoğunun daha fazla yatırım yapması ve IoT teknolojilerini daha hızlı benimsemesidir. IoT, yaşam kalitesini artırmayı amaçlamaktadır (Miori ve Russo, 2017). Enerjinin verimli kullanılması, veri ölçeklenebilirliği, ortak çalışma alanları ve güvenlik sorunları gibi baskın sistem düzeyinde tasarım süreçleri, potansiyel IoT sistemlerinin kullanımıyla sonuca ulaşabilmektedir (Swamy ve Kota, 2020).

Bu çalışma kapsamında, veri merkezi içerisindeki iç ortam koşullarının izlenmesi ve anormal bir durum oluşması halinde yetkili kullanıcıların ilgili durumdan haberdar edilmesine imkân sağlayan IoT tabanlı bir sistem gerçekleştirilmiştir. Sistem içerisindeki sensörlerden (alev, hareket, ses, sıcaklık ve nem, sıvı tespiti) alınan ortam parametrelerine ait değerler Raspberry Pi kartı ile işlenmiş ve iç ortama ait sayısal veriler tespit edilmiştir. Elde edilen veriler, veri tabanına aktarılmış ve hazırlanan kullanıcı arayüzü üzerinden anlık olarak gösterim sağlanmıştır. Veri merkezi iç ortam parametrelerinde anormal bir durum

olması halinde ilgili kullanıcılara e-posta yoluyla bildirim verilerek anormal durumların hızlı bir şekilde ortadan kaldırılmasına yönelik uyarı süreçleri gerçekleştirilmiştir.

2. Literatür Araştırması

Dünya çapındaki hızlı dijitalleşme nedeniyle veri merkezlerinin kullanımının sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Günümüz dünyası internete ve sunduğu hizmetlere kritik önem vermektedir. Sosyal ağ, elektronik ticaret ve bulut hizmetleri gibi pek çok alanda, tüm kullanıcılara ulaşmak için uzak veri merkezlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ticari şirketler, hassas verileri depoladıkları ve veri merkezlerine büyük ölçüde bağımlı olduklarından, veri merkezlerinin doğru şekilde çalışmasını sağlamak kritik öneme sahiptir (Marcinkevics ve ark., 2023). Veri merkezlerinin güvenilir bir şekilde çalışabilmesi ve donanımsal olarak ortam parametrelerinden etkilenmemesi için sürekli olarak takip edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla literatürdeki bazı çalışmalar aşağıda kısaca ele alınmıştır. Tablo 1’de de bu çalışmaların önemli özellikleri listelenmiştir.

Ramphela ve arkadaşları (Ramphela ve ark., 2020), veri merkezi içerisindeki sıcaklık, nem, konum, hareket, duman, su ve voltaj değişimi gibi ortam parametrelerinin izlenmesine imkân sağlayan bir sistem geliştirmişlerdir. Sistem içerisinde ortama ait veriler hazırlanan bir arayüz ile kullanıcılara aktarılmakta ve ek olarak bir Telegram sohbet botu ile mesaj olarak ilgili kullanıcılara gönderilmektedir. Santiago ve arkadaşları (Santiago ve ark., 2019), veri merkezinin sıcaklığını ve nemini gerçek zamanlı olarak izlemek için temel, uyarlanabilir ve düşük maliyetli bir IoT sistemi geliştirmişlerdir. Sensörlerden elde edilen veriler web sitesinde grafiksel biçimde görüntülenebilir. Uygulama kapsamında sıcaklık veya nem değerleri ASHRAE ve ICREA standartlarının belirlediği limitleri aştığında, bir mobil uygulamaya bildirim gönderilmektedir. İzleme sonuçlarından, veri merkezindeki sıcaklığı manuel olarak kontrol edilmektedir. Kurniawan ve arkadaşları (Kurniawan ve ark., 2019), sunucu odası içerisindeki sıcaklık ve nem bilgilerinin izlenmesine imkân sağlayan bir uygulama geliştirmişlerdir. ESP8266 kartı ile bağlı olan Wemos DHT Shield üzerinden sıcaklık ve nem bilgileri alınarak Raspberry Pi kartına gönderilmektedir. Alınan veriler, web sitesi üzerinden grafiksel olarak gösterilmektedir. Sensör ve zaman bilgileri, WhatsApp üzerinden uyarı mesajları şeklinde gönderilmektedir. Polonelli ve arkadaşları (Polonelli ve ark., 2019), bir veri merkezindeki sıcaklık ve nem verilerinin algılanmaması için LoRa kablosuz sensör düğümlerinin kullanıldığı bir uygulama geliştirmişlerdir. LoRaWAN ağı, güç ve iletişim için kablolamaya gerek olmadığından veri merkezi tesislerinde kolay dağıtım avantajı sunmaktadır. Önerilen düğümler ve LoRaWAN WSN, veri merkezi odası ve ortam izleme için güvenilir veriler sağlayabilmektedir. Elde edilen verilerin analizi ve izlenmesi için Grafana platformu kullanılmıştır. Onibonoje ve arkadaşları (Onibonoje ve ark., 2019), sunucu odasındaki çevresel faktörleri gerçek zamanlı olarak izlemek ve kontrol etmek için IoT tabanlı bir sistem geliştirmişlerdir. Sunucu odasındaki olumsuz etkinin ana faktörü olan ısı indeksini, alandaki hava sıcaklığı ve nem ile ilişkilendiren bir model önerilmiştir. Sistem içerisindeki donanım ve yazılım birimleri ile elektrik kesintisi, ısı, su kaçağı, duman, alev ve ışık sönmeleri durumlarını izleyerek sunucu odasının izlenmesini

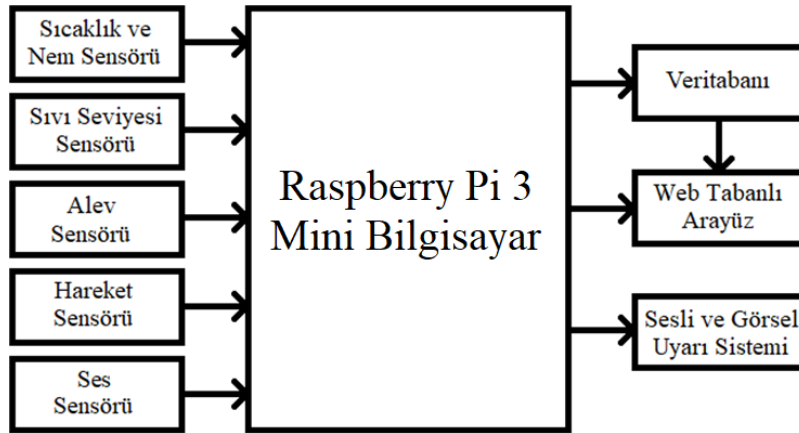
sağlamışlardır. Elde edilen veriler, internet ortamı aracılığıyla yöneticiye iletilmektedir. Nasution ve arkadaşları (Nasution ve ark., 2019), sunucu odası içerisindeki sıcaklık ve nem verilerini uzaktan izleme imkânı sağlayan bir sistem gerçekleştirmişlerdir. Sensör verileri gerçek zamanlı olarak (her 30 saniyede bir) ThingSpeak ortamına aktarılmakta ve kullanıcılara görsel olarak gösterilmektedir. Li ve arkadaşları (Li ve ark., 2019), veri merkezleri içerisindeki sıcaklık ve nem verilerini izlemek için yeni bir düşük enerjili pille çalışan kablosuz sensör ağı tasarımı olan LEMoNet'i kullanmışlardır. Düşük güç tüketimi ile yüksek veri güvenilirliği arasındaki dengeyi sağlamak için iki katmanlı bir ağ mimarisi ve çok modlu bir veri alışverişi protokolü kullanılmıştır. Deneysel ve benzetim çalışmaları, LEMoNet'in yüksek güvenilirliğini, ölçeklenebilirliğini ve güç verimliliğini göstermiştir. Purwanto ve arkadaşları (Purwanto ve ark., 2018), sunucu odasının sıcaklık ve nemini kontrol etmede bulanık kontrol sisteminin hızını ve etkinliğini test eden bir sistem geliştirmişlerdir. Sensör verilerinin web tabanlı izlenmesi için Twitter üzerinden gerçek zamanlı bildirimler kullanılmıştır. Cong ve arkadaşları (Cong ve ark., 2020), veri merkezi için LoRa'ya dayalı bir kablosuz termal izleme sistemi geliştirmişlerdir. Çalışma kapsamında veri merkezinde daha az düğümle düşük maliyetli, istikrarlı, yüksek kapsama alanı ve enerji açısından verimli bir WSN tasarlanması hedeflenmiştir. Yönetim ve bakımı kolaylaştırmak için uç cihaz ve ağ geçidi, bir LoRa protokolü ağı aracılığıyla iletişim kurmaktadır. Aynı zamanda, ağ geçidi ile sunucu arasında bilgi alışverişinde bulunmak için Message Queuing Telemetry Aktarımı (MQTT) protokolü kullanılmıştır.

Tablo 1. Literatürdeki benzer çalışmalar karşılaştırma tablosu

Referans	İşlemci	Veriler	Mimari	Bağlantı	Veri Erişimi
(Ramphela ve ark., 2020)	Raspberry Pi	Sıcaklık, Nem, Duman, Konum, Hareket, Su ve Voltaj Değişimi	IoT	Kablolu	PowerBi Dashboard Telegram Mesajı
(Santiago ve ark., 2019)	Arduino Uno	Sıcaklık ve Nem	IoT	Ethernet Shield card	Mobil Uygulama
(Kurniawan ve ark., 2019)	ESP8266/ Raspberry Pi	Sıcaklık ve Nem	IoT	Kablosuz	Web Arayüz WhatsApp Mesajı
(Polonelli ve ark., 2019)	STM32L4	Sıcaklık ve Nem	LoRaWAN WSN	Kablosuz	Grafana
(Onibonoje ve ark., 2019)	Arduino Uno, Arduino Nano	Sıcaklık, Nem, Su Kaçağı, Duman, Alev ve Işık	GPRS/ GSM	Kablosuz	Bilgisayar ve Mobil Uygulama
(Nasution ve ark., 2019)	LattePanda	Sıcaklık ve Nem	IoT	Kablolu	ThingSpeak
(Li ve ark., 2019)	Raspberry Pi 3	Sıcaklık ve Nem	LEMoNet WSN	Kablosuz	Simülasyon
(Purwanto ve ark., 2018)	WeMos D1	Sıcaklık ve Nem	IoT	Kablolu	Web Arayüzü Twitter Mesajı
(Cong ve ark., 2020)	STM32 L151C8T6	Sıcaklık ve Nem	LoRa WSN	Kablosuz	Web Arayüzü
Çalışma	Raspberry Pi	Sıcaklık, Nem, Ses, Hareket, Alev, Sıvı Seviyesi	IoT	Kablolu	Web Arayüzü E-posta

3. Materyal ve Metot

Veri merkezinin izlenmesi amacıyla geliştirilen sistemin algılama birimi içerisinde sıcaklık ve nem sensörü, sıvı seviyesi sensörü, hareket sensörü, alev sensörü ve ses sensörü kullanılmıştır. Sensörlerden alınan verilerin işlenmesi ve internet ortamına aktarılması amacıyla IoT çalışmalarında sıkça kullanılan Raspberry Pi 3 kartı kullanılmıştır. Veri merkezi izleme sistemine ait blok şema Şekil 1’de verilmiştir. İç ortama ait ham veriler sensörler aracılığıyla alınmakta ve Raspberry Pi 3 kartına aktarılmaktadır. Sensörlerden alınan ham verilerin işlenmesi ile iç ortama ait sıcaklık, nem, sıvı, ses, alev ve hareket durumlarına ait parametreler elde edilmektedir. Elde edilen ortam parametreleri, depolanmak ve kullanıcılara aktarılmak için hazırlanan veritabanı içerisine kaydedilmektedir. Geliştirilen web tabanlı arayüz ile ortam parametreleri kullanıcılara anlık olarak aktarılmaktadır. Geliştirilen sistem içerisinde, herhangi bir ortam parametresinde belirlenen eşik seviyeler dışarısında bir değer tespit edilmesi durumunda ilgili kullanıcılara e-posta yoluyla bildirimler gönderilmektedir. Ek olarak sesli ve görsel olarak kullanıcıları ilgili durumdan haberdar edecek bir uyarı sistemi de bulunmaktadır. Sistem içerisinde, işletim sistemi olarak Raspbian OS kullanılmıştır. Yazılımsal olarak sensör verilerinin işlenmesinde Python programlama dili, verilerin depolanması için MySQL veritabanı ve web arayüzü için HTML, CSS ve PHP programlama dilleri kullanılmıştır.



Şekil 1. Veri merkezi izleme sisteminin blok şeması

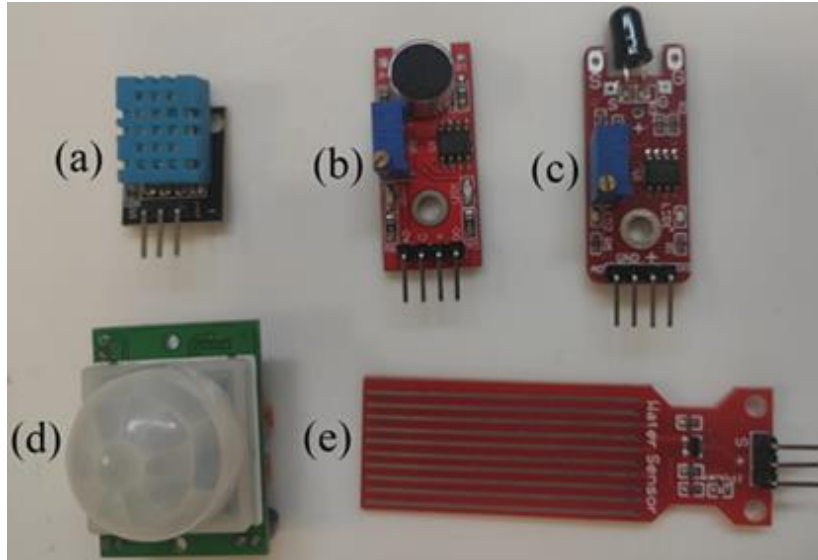
3.1. Raspberry Pi 3 Mini Bilgisayar

Raspberry Pi, bilgisayar bilimi eğitimini teşvik etmek ve donanım ve yazılımla deney yapmayı teşvik etmek için oluşturulmuş kompakt, tek kartlı bir bilgisayardır. İlk Raspberry Pi 2012'de piyasaya sürüldü ve o zamandan beri farklı özelliklere sahip birkaç model piyasaya sürüldü. Raspberry Pi'nin uyarlanabilirliği, göze çarpan özelliklerinden biridir. Medya merkezleri, robotik ve ev otomasyonu gibi birçok uygulama için kullanılmaktadır. Linux işletim sisteminin bir varyantında çalışır ve kullanıcıların çeşitli sensörleri, eyleyicileri bağlayıp denetlemesine olanak tanıyan USB bağlantı noktaları, HDMI çıkışı ve GPIO (Genel Amaçlı Giriş/Çıkış) pinleri ve diğer çevre birimleri dâhil olmak üzere bir dizi giriş ve çıkışa sahiptir. Ek olarak Raspberry Pi, Python, Scratch ve C gibi çeşitli programlama dilleri

kullanılarak kolaylıkla programlanabildiği için programlama ve bilgisayar bilimi kavramlarını öğrenmek için mükemmel bir geliştirme aracıdır (Sathish ve ark., 2023).

3.2. İzleme Sistemi Algılama Birimi

Veri merkezi içerisindeki iç ortam parametrelerini elde etmek için kullanılan algılama birimi, 5 sensörden (alev sensörü, DHT11 sıcaklık ve nem sensörü, hareket sensörü, ses sensörü ve sıvı seviyesi sensörü) oluşmaktadır. DHT11 sensörü bulunduğu ortamın sıcaklık ve nemini ölçmek için kullanılan bir sensördür (Şekil 2.a). Sıcaklık ölçümü için NTC birimi, nem ölçümü için ise nem ölçüm biriminin kullanıldığı DHT11 dijital olarak çıkış veren bir sensördür. Ses sensörü, ortamdaki ses dalgalarını elektrik sinyallerine çevirmek için kullanılan ve ses oranını tespit etmek için kullanılan sensördür (Şekil 2.b). Üzerinde bulunan mikrofon birimi ile bulunduğu ortamdaki ses değişikliklerini tespit etmekte, üzerindeki trimpot aracılığıyla tespit işlemlerinde gerekli hassasiyet ayarlanmakta olup dijital olarak çıkış vermektedir. Alev sensörü, 760 - 1100 nm arası dalga boyundaki ateşleri algılamak amacıyla bir IR alıcı barındırmaktadır (Şekil 2.c). Üzerinde bulunan trimpot aracılığıyla tespit işlemlerinde hassasiyet ayarlanmakta olup dijital çıkış vermektedir. PIR hareket sensörü, ortamdaki anormal hareketliliğin tespit edilmesi amacıyla kullanılan ve bu tarz durumlarda uyarı veren sensördür (Şekil 2.d). İçerisinde bulunan kızılötesi algılama birimi ile görüş alanında herhangi bir değişikliğin meydana gelmesi durumunda dijital olarak çıkış vermektedir. Sıvı seviyesi sensörü, ortamda herhangi bir su ya da sıvı kaçağı olup olmadığını kontrol etmek amacıyla kullanılan bir sensördür (Şekil 2.e). Üzerinde bulunan paralel şekildedeki iletken hatlara sıvının temas etmesi ile dijital olarak çıkış vermektedir.



Şekil 2. Veri merkezi izleme sisteminde kullanılan algılama birimleri

3.3. Veri Tabanı Tasarımı

Veri merkezi içerisindeki iç ortam parametrelerine ait değerlerin tespit edilmesinden sonra saklanması ve gerçek zamanlı olarak kullanıcılara aktarılabilmesi için veritabanı oluşturulmuştur. Raspbian işletim sistemi içerisinde MySQL sunucusunu kurulması ile veritabanı işlemlerine başlanmış ve phpMyAdmin arayüzü üzerinden veri tabanı ile ilgili yönetim süreçleri gerçekleştirilmiştir. Sensörler aracılığıyla alınan sıcaklık, nem, sıvı tespiti, ses şiddeti, alev ve hareket durumu parametrelerine ek olarak anlık zaman bilgileri de alınmakta ve bu değerler veri tabanına kaydedilmektedir. Arka planda yazılan web servisleri ile veri tabanındaki ortam parametreleri web ara yüzüne aktarılmaktadır. Veritabanı içerisinde sensörler ile ilgili tabloların haricinde ek olarak izleme sistemini yönetecek olan kullanıcılara ait bilgilerin tutulduğu tablolara da bulunmaktadır. Şekil 3'te sensörlerden alınan verilere ait veritabanı tablosunun örnek bir bölümü verilmiştir. İzleme sisteminin çalışması süresinde her 5 saniyede bir ortam verisi alınarak veri tabanına eklenmektedir. Herhangi bir ortam parametresinde sorun yaşanması durumunda ilgili sensörün uyarı vermesine bağlı olarak kayı sürecinde değişiklikler meydana gelebilmektedir.

Gözet	Yapı	SQL	Ara	Ekle	Dışa aktar	İçe aktar	Yetkiler	İşlemler	ID	ZAMAN	SICAKLIK	NEM	YANGIN	HAREKET	SU	SES
<input type="checkbox"/>	Düzenle	Kopyala	Sil	4016	2023-06-14 14:15:39	25	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/>	Düzenle	Kopyala	Sil	4017	2023-06-14 14:15:50	25	52	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<input type="checkbox"/>	Düzenle	Kopyala	Sil	4018	2023-06-14 14:15:58	25	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/>	Düzenle	Kopyala	Sil	4019	2023-06-14 14:18:15	25	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/>	Düzenle	Kopyala	Sil	4020	2023-06-14 14:18:23	25	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/>	Düzenle	Kopyala	Sil	4021	2023-06-14 14:18:30	25	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/>	Düzenle	Kopyala	Sil	4022	2023-06-14 14:18:38	25	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/>	Düzenle	Kopyala	Sil	4023	2023-06-14 14:19:27	26	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/>	Düzenle	Kopyala	Sil	4024	2023-06-14 14:19:34	26	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/>	Düzenle	Kopyala	Sil	4025	2023-06-14 14:19:42	26	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<input type="checkbox"/>	Düzenle	Kopyala	Sil	4026	2023-06-14 14:23:03	25	52	0	1	1	1	1	1	1	1	1

Şekil 3. Veritabanı ölçüm bilgileri tablosu

3.4. Kullanıcı Arayüzü Tasarımı

İzleme sistemi için geliştirilen web arayüzü ile iç ortama ait parametre değerlerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve kullanıcılara bilgi verilmesi sağlanmıştır. Veri tabanına aktarılan parametre değerleri, web servisi ile ayrı ayrı alınmaktadır. Geliştirilen web arayüzü Şekil 4'te verilmiştir. Sistemde yetkili yöneticinin giriş yapmasında sonra ölçümler isimli sayfa açılmaktadır. Sayfa içerisindeki tabloda, anlık zaman, sıcaklık, nem, yangın, su, hareket ve ses değerleri takip edilmektedir. Bu sayede yönetici, anlık olarak ortamın durumunu ve sensör verilerini gözlemleyebilmektedir. Sistem içerisinde bazı

parametreler **VAR** veya **YOK** şeklinde web arayüzü üzerinden aktarılmıştır. Web arayüzü üzerinden sistemi denetleyecek yöneticiler ile ilgili de temel olarak veri tabanına ekleme, güncelleme ve silme gibi işlemler yapılabilmektedir. İlgili yönetici, kaydı eklendikten sonra sistemi kullanmaya başlamaktadır. Ortamdaki sıcaklık ve nem değerleri için Highcharts Kütüphanesi kullanılarak grafikler oluşturulmuştur.

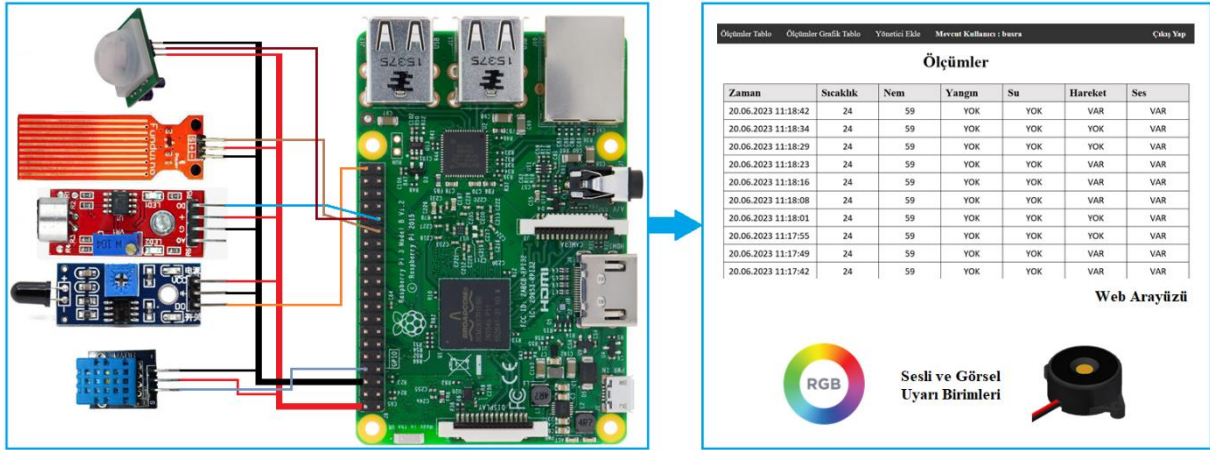
Ölçümler

Zaman	Sıcaklık	Nem	Yangın	Su	Hareket	Ses
20.06.2023 11:18:42	24	59	YOK	YOK	VAR	VAR
20.06.2023 11:18:34	24	59	YOK	YOK	YOK	VAR
20.06.2023 11:18:29	24	59	YOK	YOK	YOK	VAR
20.06.2023 11:18:23	24	59	YOK	YOK	VAR	VAR
20.06.2023 11:18:16	24	59	YOK	YOK	VAR	VAR
20.06.2023 11:18:08	24	59	YOK	YOK	VAR	VAR
20.06.2023 11:18:01	24	59	YOK	YOK	YOK	VAR
20.06.2023 11:17:55	24	59	YOK	YOK	YOK	VAR
20.06.2023 11:17:49	24	59	YOK	YOK	VAR	VAR
20.06.2023 11:17:42	24	59	YOK	YOK	VAR	VAR
20.06.2023 11:17:34	24	59	YOK	YOK	VAR	VAR
20.06.2023 11:17:27	24	59	YOK	YOK	VAR	VAR
20.06.2023 11:17:19	24	59	YOK	YOK	YOK	VAR
20.06.2023 11:17:14	24	59	YOK	YOK	VAR	VAR
20.06.2023 11:17:06	24	59	YOK	YOK	VAR	VAR
20.06.2023 11:16:59	24	59	YOK	YOK	YOK	VAR

Şekil 4. İzleme sistemi web arayüzü

4. Bulgular

Veri merkezi iç ortam parametrelerinin izlenmesi ve takibi için geliştirilen sisteme ait işlevsel bağlantı şeması ve web arayüzü ile etkileşim Şekil 5’te verilmiştir. Geliştirilen izleme sistemi, veri toplama ve kullanıcılara aktarma olarak iki aşamada çalışmaktadır. İlk aşamada algılama birimi içerisindeki sensörlerden iç ortama ait ham veriler alınmakta Raspberry Pi 3 mini bilgisayar kartına gönderilmektedir. Raspberry Pi kartı içerisinde her sensör için farklı işlem gerçekleştirilerek ortama ait parametreler tespit edilmiştir. İkinci aşamada, kullanıcıların iç ortam parametrelerini izleyebilecekleri web arayüzü gerçekleştirilmiştir. Web arayüzü üzerinden veri merkezi içerisindeki iç ortam parametrelerine ait ölçüm sonuçları, anlık olarak gösterilmektedir. Sensörlere ait değerlerin tespit edilmesinde sonra herhangi bir sorun yaşanması durumunda sensörler ile ilgili hazırlanan kesme fonksiyonları ile sesli ve görsel uyarı işlemleri tetiklenmektedir. Uyarı işlemlerinin tetiklenmesine bağlı olarak sistem üzerinden yöneticilere uyarı e-postası gönderilmektedir.



Şekil 5. İzleme sistemi bağlantı şeması (sol) ve web arayüzü (sağ) ile etkileşim diyagramı

Algılama birimi içerisindeki sensörler ile Raspberry Pi 3 kartı arasındaki donanımsal bağlantılar için kullanılan pinler Tablo 2’de verilmiştir. Raspberry Pi 3 kartı üzerindeki pin bağlantı işleminde genel amaçlı giriş/çıkış (Broadcom, BCM) düzeni kullanılmıştır. Sistem içerisindeki verilen sesli ve görsel uyarı işlemlerinde Buzzer ve RGB (Red, Green and Blue) led kullanılmıştır. Her parametre için farklı bir ses dizisi ve renk kullanılarak, kullanıcıların hangi parametrede sorun olduğunu daha kolay anlamasına imkân sağlanmıştır.

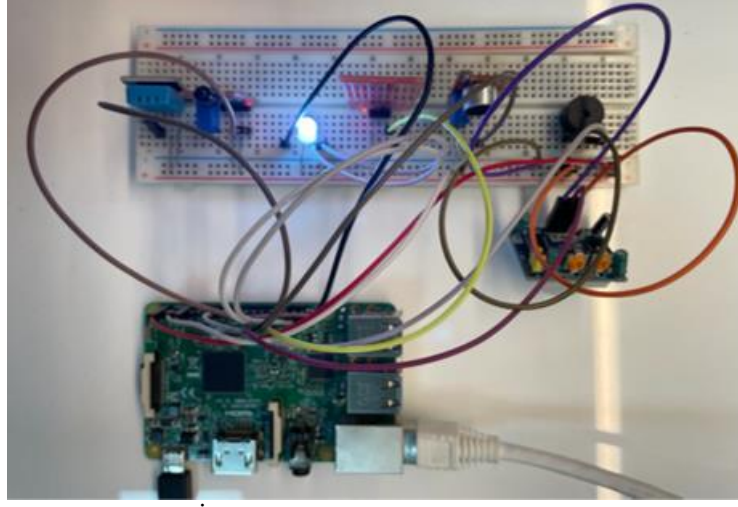
Tablo 2. Pin bağlantıları tablosu

Raspberry Pi 3	Sensörler
BCM5	Sıvı Tespit Sensörü
BCM6	Ses Sensörü
BCM12	Hareket Sensörü
BCM14	DHT11 Sıcaklık ve Nem Sensörü
BCM21	Alev Sensörü
BCM23	Buzzer
BCM (26, 13, 19)	RGB Led (Red, Green, Blue)

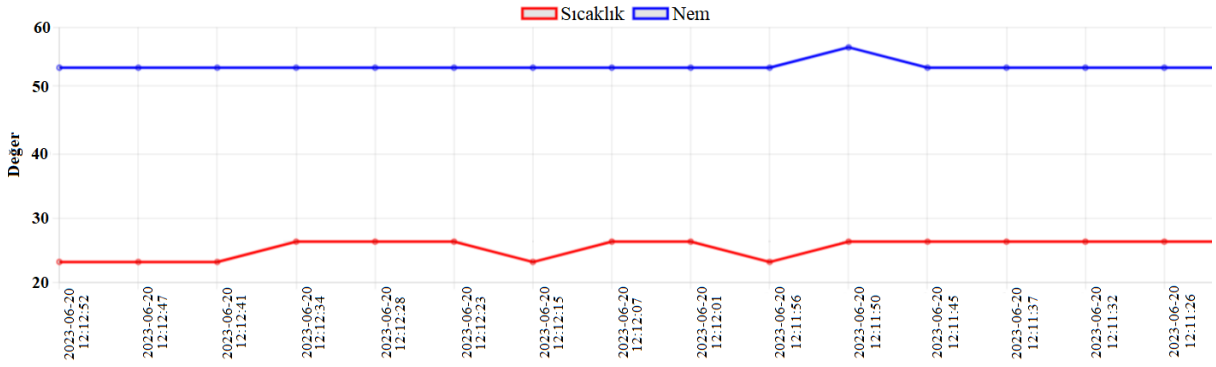
Gerçekleştirilen izleme sisteminin donanımsal bağlantılarına ait görünüm Şekil 6’da verilmiştir. Donanımsal test işlemlerinde her sensör için ayrı ayrı test işlemleri gerçekleştirilmiştir ve sensör kalibrasyonları yapılmıştır. Her sensörden ilgili ortam parametresi alınmaya çalışılmış ve ilgili sensörün testi geçmesinden sonra bir sonraki sensöre geçilmiştir. Bu şekilde yapılan sensör testlerinden sonra bütünleşik sisteme geçilmiştir. Bütünleşik sistem ile yapılan laboratuvar çalışmalarında iç ortama ait veriler toplanmaya başlanmıştır. Sisteme güç vermek için 5 V’luk adaptör kullanılmış olup internet bağlantısı için kablolu internet bağlantısı yapılmıştır.

Algılama birimi içerisindeki DHT11 sensöründen alınan sıcaklık ve nem değerlerine ait örnek bir grafik Şekil 7’de verilmiştir. Web arayüzü üzerinden alınan şekilde belirli bir zaman aralığındaki sıcaklık ve nem değerleri görülmektedir. Algılama birimindeki diğer sensörlerden var ya da yok mantığı ile veri

alındığı için aşağıdaki grafiğe benzer bir grafik yapılmamıştır. Bunun yerine uyarı işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. İzleme sistemi prototipinden bir görünüm



Şekil 7. Sıcaklık ve nem değerlerinin web arayüzündeki örnek bir grafiği

Sensörler tarafından anormal bir durum algılandığında yönetici olarak sisteme kaydedilen kullanıcıya bir e-posta gönderilerek bilgilendirme yapılmaktadır. Böylece sistem uyarılarının yönetici tarafından hızlı bir şekilde fark edilmesi ve gerekli önlemlerin daha hızlı alınması mümkün kılınmıştır. Bu sayede izleme sisteminde meydana gelebilecek olumsuz durumların uzaktan takibi daha etkin bir şekilde gerçekleştirilecektir. Sistem üzerinden yöneticilere gönderilen örnek e-posta içeriği Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Sistem ile ilgili yöneticiye gönderilen e-posta içerik görseli

5. Tartışma ve Sonuçlar

Temel amacı büyük miktarda veri depolamak olan veri merkezleri, günümüzde internet kaynaklarına erişimde büyük bir önem taşımaktadır. Veri merkezleri içerisinde bilişim teknolojileri ekipmanları, sunucular, yönlendiriciler, altyapı sistemleri vb. pek çok cihaz bulunmaktadır. Bu tarz elektronik ekipmanın sürekli olarak göz önünde bulundurulması ve aktif takip edilmesi gerekmektedir. Herhangi bir cihazda problem yaşanması durumunda ilgili cihazın çalışmaması, veri merkezinde gerçekleştirilen işlemlerde sorunlara sebebiyet verebilmektedir. Bu gibi sorunlu durumları tespit etmek ve önlem almak amacıyla ölçüm ve izleme sistemleri kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, bir veri merkezi içerisindeki iç ortam koşullarının (sıcaklık, nem, sıvı, alev, ses ve hareket) tespiti ve gerçek zamanlı olarak uzaktan izlenmesi amacıyla düşük maliyetli bir izleme sistemi gerçekleştirilmiştir. Raspberry Pi 3 mini bilgisayar kartı ile yapılan ölçüm işlemleri üzerinden kullanıcıların bilgilendirilmesi ve uyarılmasına yönelik işlemler gerçekleştirilmiştir. Sistem içerisinde yangın veya sıvı tespiti gibi durumlarda yöneticilere e-posta yolu ile uyarılar verilmektedir. Bu sayede oluşabilecek herhangi bir olumsuz durumu karşısında hızlı bir şekilde önlem alma imkânı sağlanacaktır.

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

- Cong G., Wan J., Hua T., Zhou J., Niu H. A data center thermal monitoring system based on LoRa. 5th International Conference on Computational Intelligence and Applications (ICCIA), 19-21 June 2020, Sayfa no:70-75, Beijing, China
- Kurniawan DE., Iqbal M., Friadi J., Indra BRI., Rio RR. Smart monitoring temperature and humidity of the room server using raspberry pi and whatsapp notifications. Journal of Physics: Conference Series - IOPscience 2019; 1351(2019): 1-8.
- Lajevardi B., Haapala KR., Junker JF. Real-time monitoring and evaluation of energy efficiency and thermal management of data centers. Journal of Manufacturing Systems 2015; 37(2): 511-516.
- Li C., Li J., Jarizadeh M., Badawy G., Zheng R. LEMoNet; Low energy wireless sensor network design for data center monitoring. IFIP Networking Conference (IFIP Networking), 20-22 May 2019, Sayfa no:1-9, Warsaw, Poland.
- Lin J., Yu W., Zhang N., Yang X., Zhang H., Zhao W. A survey on Internet of Things: Architecture enabling technologies security and privacy and applications. IEEE Internet Things Journal 2017; 4(5): 1125-1142.

- Liu H., Han D., Li D. Fabric-IoT: A blockchain-based access control system in IoT. *IEEE Access* 2020; 8: 18207-18218.
- Marcinkevics M., Avotins A., Apse-Apsitis P., Senfelds A. Identifying ineffective cooling implementation to increase energy efficiency in existing data centres. *IEEE 10th Jubilee Workshop on Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE)*, 1-5 April 2023, Sayfa no:1-6, Riga, Latvia.
- Medina-Santiago A., Azucena ADP., Gomez-Zea JM., Jesus-Magana JA., Valdez-Ramos ESS., Falcon-Perz F. Adaptive model IoT for monitoring in data centers. *IEEE Access* 2019; 8: 5622-5634.
- Miori SV., Russo D. Improving life quality for the elderly through the social Internet of Things (SIoT). *Global Internet of Things Summit (GIoTS) Conference*, 6-9 June 2017, Sayfa no:1-6, Genova, Switzerland.
- Nasution TH., Muchtar MA., Seniman S., Siregar I. Monitoring temperature and humidity of server room using LattePanda and ThingSpeak. *Journal of Physics: Conference Series - IOPscience* 2019; 1235(2019): 1-6.
- Onibonoje MO., Bokoro PN., Nwulu NI., Gbadamosi SL. An IoT-Based approach to real-time conditioning and control in a server room. *International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*, 21-22 September 2019, Sayfa no:1-6, Malatya, Turkey.
- Polonelli T., Brunelli D., Bartolini A., Benini L. A LoRaWAN Wireless sensor network for data center temperature monitoring. *International Conference on Applications in Electronics Pervading Industry, Environment and Society*, 26-27 September 2018, Sayfa no:169-177, Pisa, Italy.
- Purwanto FH., Utami E., Pramono E. Implementation and optimization of server room temperature and humidity control system using fuzzy logic based on microcontroller. *Journal of Physics: Conference Series - IOPscience* 2018; 1140(2018): 1-13.
- Ramphela MKJ., Owolawi PA., Mapayi T., Aiyetoro G. Internet of things (IoT) integrated data center infrastructure monitoring system. *International Conference on Artificial Intelligence, Big Data, Computing and Data Communication Systems (icABCD)*, 06-07 August 2020, Sayfa no:1-6, Durban, South Africa.
- Sathish P., Reddy AS., Teja GS., Kiran GU., Kireeti A. Design of water quality monitoring system using SVM algorithm. *4th International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC)*, 06-08 July 2023, 1196-1201, Coimbatore, India.
- Swamy SN., Kota SR. An empirical study on system level aspects of internet of things (IoT). *IEEE Access* 2020; 8: 188082-188134.
- Utomo MAP., Aziz WA., Harjito B. Server room temperature & humidity monitoring based on Internet of Thing (IoT). *Journal of Physics: Conference Series - IOPscience* 2019; 1306(1): 12-30.

Sığıla (*Liquidambar orientalis*) Ağaç Yapraklarının Koyun Diyetlerine İlavesinin Fermantasyon ve Sindirim Derecelerine Etkilerinin *In vitro* Gaz Üretim Tekniği ile Belirlenmesi

Bilal SELÇUK^{1*}, Tuğba BAKIR², Yakup BİLAL³, Hülya AKÇAM⁴

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootehni Bölümü, 46000, Kahramanmaraş

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootehni Bölümü, 46000, Kahramanmaraş

³Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootehni Bölümü, 46000, Kahramanmaraş

⁴Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootehni Bölümü, 46000, Kahramanmaraş

¹<https://orcid.org/0000-0001-9136-5707>

²<https://orcid.org/0000-0003-2185-7137>

³<https://orcid.org/0000-0001-9785-5395>

⁴<https://orcid.org/0000-0002-6784-1782>

*Sorumlu yazar: bllselcuk46@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 02.02.2023

Kabul tarihi: 26.11.2023

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

In vitro

Sindirim derecesi

Koyun diyetleri

Ağaç yaprakları

ÖZ

Çalışmada sığıla ağaç yapraklarının, yonca kuru otu yerine % 0, 10, 20, 30 oranlarında koyun rasyonlarına ilave edilerek, gaz üretimi (GÜ), metan (CH₄) üretimi, gerçek sindirilebilir kuru madde (GSKM), taksimat faktörü (TF), mikrobiyal protein (MP), mikrobiyal protein sentezi etkinliği (MPSE) ve gerçek sindirim derecesi (GSD) üzerine olan etkileri *in vitro* gaz üretim tekniği ile belirlenmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada sığıla ağaç yapraklarını kullanımı GÜ ve CH₄ üretimlerini önemli derecede düşürmüştür (P<0.001). Rasyonlar arasındaki GSKM, TF, MP, MPSE ve GSD değerleri sayısal farklılık istatistiki olarak önemli bulunmuştur (P<0,05). Araştırmada, GSKM (252,71 ile 264,49 mg), TF (3,58 ile 4,59), MP (100,80 ile 131,16 mg), MPSE (% 38,53 ile % 51,89) ve GSD (% 53,57 ile % 56,23) arasında bulunmuştur. Pearson's korelasyon analizi kullanılarak rasyonların fermantasyon parametreleri GÜ, CH₄ (ml), CH₄ (%) ile PF, MP ve MPSE değerleri arasında negatif bir ilişki çıkmıştır (P<0.01). Sığıla ağaç yapraklarının içerisinde bulunan tanen miktarının yüksek olmasından dolayı koyun rasyonlarında uygun dozun belirlenmesi için *in vitro* bulgular ile elde edilen sonuçların *in vivo* çalışmalarla desteklenmesine ihtiyaç vardır.

Determination of the Effects of Addition of Sweetgum (*Liquidambar orientalis*) Tree Leaves to Sheep Diets on Fermentation and Digestion Degrees by *In vitro* Gas Production Technique

Research Article

Article History:

Received: 02.02.2023

Accepted: 26.11.2023

Published online: 11.03.2024

Keywords:

In vitro

Degree of digestion

Sheep diets

Tree leaves

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the effects of adding sweetgum tree leaves at levels of 0, 10, 20, and 30% to sheep diets instead of alfalfa hay on gas production (GP), methane (CH₄) production, true digestible dry matter (TDDM), partitioning factor (PF), microbial protein (MP), microbial protein synthesis efficiency (MPSE) and true digestibility (TD) using the *in vitro* gas production technique. The GP and CH₄ productions of the diets were significantly decreased (P<0.001). The TDDM, PF, MP, MPSE and TD values of the diets were found to be statistically significant (P<0.05). In the study, the TDDM, PF, MP, MPSE, and TD values were found to be between 252.71 and 264.49 mg, 3.58 and 4.59, 100.80 and 131.16 mg, 38.53% and 51.89%, and 53.57% and 56.23%, respectively. Using Pearson's correlation analysis in the diets, a negative correlation was found between the fermentation parameters GP, CH₄ (ml), CH₄ (%) and PF, MP

and MPSE values ($P < 0.01$). Due to the high tannin content of the sweetgum tree leaves in the diets, it is necessary to support the results obtained from the *in vitro* findings with *in vivo* studies to determine the appropriate dose in the diets of sheep.

To Cite: Selçuk B., Bakır T., Bilal Y., Akçam H. Sığla (*Liquidambar orientalis*) Ağaç Yapraklarının Koyun Diyetlerine İlavesinin Fermantasyon ve Sindirim Derecelerine Etkilerinin *In vitro* Gaz Üretim Tekniği ile Belirlenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(2): 674-683.

1. Giriş

Kaba yem, geniş getiren hayvanların metabolizması için önemli ve ekonomik bir besin kaynağıdır. Rumen mikroorganizmaları, fizyolojik yapıları sebebiyle geniş getiren hayvanlarda rumende kaba yemi uçucu yağ asitlerine, B ve K grubu vitamin sentezi ve mikrobiyel proteinlere dönüştürebilmektedir (Chen ve ark., 2022). Rumen mikroorganizmaları fermantasyon süreci boyunca kaba yem kaynaklarından ve partikül boyutlarından büyük ölçüde etkilenmektedir (Liu ve ark., 2021). Bu nedenle, kaba yem bileşimi ile rumen mikroorganizmaları arasındaki etkileşim mekanizmasının daha iyi anlaşılması, hayvanların performansların ve ürünlerin ekonomik etkinliğinin artırılmasına yardımcı olmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde, çeşitli sebeplerden dolayı gıda yan ürünlerinin hayvan yemi olarak kullanımına olan ilginin artmasına neden olmuştur. Bu sebepler, kirliliğin azaltılması, geri dönüşüm maliyetlerinin artması, insan beslenmesiyle rekabet etmeden çiftlik hayvanlarının beslenmesi hedefi ve ekonomik yemin değerinin algılanmasındaki değişiklikleri içermektedir (Maghsoud ve ark., 2008). Hayvancılık verimliliğini sınırlayan en önemli faktör, mera miktarı ve kalitesi açısından gıda arzının mevsimsel olmasıdır. Genellikle kurak dönemlerde daha az yem üretilmektedir. Bu nedenle kaliteli kaba yemlere sınırlı erişimin olması, geniş getiren hayvanlarda et ve süt üretiminde düşüşe yol açacağı bildirilmiştir (Cai ve ark., 2020).

Yonca (*Medicago sativa* L.), protein ve mineraller açısından zengin olması nedeniyle yaygın olarak kullanılan bir kaba yem kaynağıdır (Zhang ve ark., 2017). Bununla birlikte, yonca üretiminin yüksek maliyeti, onun hayvancılık üretiminde kullanılabilirliğini ciddi şekilde kısıtlamıştır (Chávez ve ark., 2021). Bu nedenle, tatmin edici hayvansal üretimi sağlamak için yerel olarak üretilen, yüksek verimli, alternatif yem kaynaklarının araştırılması, çözülmesi gereken acil bir sorun haline gelmiştir. Özellikle kuraklık dönemlerinde ağaç yaprak ve dallarının hayvan beslemede kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Ağaç dal ve yapraklarının, geniş getiren hayvanların beslenmesinde kullanılabileceği ve rasyonların önemli bir kısmını oluşturduğu bildirilmiştir (Kamalak ve ark., 2005b; Boga, 2014; Ulger ve ark., 2017; Olfaz ve ark., 2018). Ayrıca ağaç yaprakları besin maddelerinin yanı sıra fenolik bileşikler ve sekonder metabolitleri içermektedir. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda, bu sekonder metabolitlerin geniş getiren hayvanlarda anti-proteolitik ve anti-metanojenik özellikleri üzerinde durulmuştur (Sallama ve ark., 2011; Jayanegara ve ark., 2011; Jayanegara ve ark., 2014; Denek ve ark., 2017).

Sığla (*Liquidambar orientalis*) 10-15 m' ye kadar büyüyen Türkiye'ye özgü bir ağaçtır. Yapraklarının çeşitli sekonder metabolitler içerdiği ve yapılan çalışmalarda da anti metanojenik bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir (Ulger ve ark., 2017). Çalı ve ağaç yaprakları arasından potansiyel olarak önemli yem

kaynaklarını tanımlamak ve bunları ruminantların rasyonlarına dahil etmek için, dünyanın birçok gelişmekte olan bölgelerinde artan bir eğilimin olduğu ve sindirilebilir besin maddeleri bakımından diğer birçok yem bitkisiyle karşılaştırılabileceği, hatta bunların birçok yem bitkisinden daha iyi olabileceği ifade edilmiştir (Devendra, 1990; Boschini, 2002).

Ruminantlarda rasyon kullanımı rumen mikrobiyotasını düzenleyebileceği ve yemden yararlanma oranını etkileyebileceği iyi bilinmektedir (Cui ve ark., 2019). Bu çalışmada koyun rasyonlarına sığıla ağaç yapraklarının artan oranlarda yonca kuru otu yerine kullanılması ile koyun diyetlerinde *in vitro* gaz ve metan üretim parametlerine, sindirim derecelerine etkileri araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan sığıla ağaç yaprakları Haziran 2022 yılında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesinde 5 ayrı ağaçtan toplanmıştır. Toplanan sığıla ağaç yaprakları, yemler ve hayvan besleme laboratuvarına getirilerek gölgede kurumaya bırakılmıştır. Kurutulan yapraklar değirmende 1 mm' lik elekten geçecek şekilde öğütülmüştür. Daha sonra sığıla ağaç yaprakları ve rasyonları oluşturan yem ham maddelerinin ham protein (HP), ham kül (HK), ham yağ (HY) ve kuru madde (KM) içerikleri AOAC (1990)'de bildirilen yöntemlere göre yapılmıştır. Sığıla ağaç yapraklarının ve yonca kuru otunun kondanse tanen içerikleri Makkar ve ark., (1995)'nin bildirmiş olduğu yöntemle göre belirlenmiştir. Rasyonlarda kullanılan yem ham maddelerinin kimyasal kompozisyonu ve metabolik enerji değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Rasyonları oluşturan yem hammaddelerinin kimyasal kompozisyonları

	KKM (%)	HP (%)	HY (%)	HK (%)	KT (%)	GÜ(ml)	ME (MJ/kg)
Sığıla ağaç yaprağı	94,82	11,82	3,91	4,79	12,73	36,89	2,04
Yonca	94,41	13,42	1,51	8,39	0,82	48,82	2,28
Soya küspesi	93,14	52,86	2,41	7,33		55,74	3,30
Yulaf dane	92,53	10,88	5,45	3,69		58,75	2,85
Buğday samanı	94,34	3,87	1,37	4,80		31,83	1,59

KKM (%): Kurutulmuş kuru madde, HP(%): Ham protein, HY(%): Ham yağ, HK(%): Ham kül, KT(%): Kondanse tanen, GÜ: 24 saatlik gaz üretimi 200 mg/KM, ME (MJ/kg): Metabolik enerji

Rasyonu oluşturan yemlerin metabolik enerji değerleri Menke ve Steingass (1988)'in bildirdiği yöntemle aşağıdaki eşitlik kullanılarak belirlenmiştir.

$$ME (MJ/kg KM) = (1,68 + 0,1418 * GÜ) + (0,073 * HP) + (0,217 * HY) - (0,028 * HK) \quad (1)$$

GÜ: Gaz üretimi (200 mg/KM)

HP: Ham protein (%) (g/kg⁻¹ KM)

HY: Ham yağ (%) (g/kg⁻¹ KM)

HK: Ham kül (%) (g/kg⁻¹ KM)

Yem hammaddelerinin kimyasal kompozisyonları kullanılarak NRC (2007)' ye göre izokalorik ve izonitrojenik olacak şekilde %17 HP ve 2600 kcal/kg enerjiye sahip 4 ayrı deneme rasyonu hazırlanmıştır. Diyetleri oluşturan yem ham maddelerinin miktarları, diyetlerin metabolik enerji ve HP içerikleri Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Rasyonları oluşturan besin maddelerinin miktarları (gr)

YEM ÖRNEKLERİ	KONTROL (%0)(g/kg)	S ₁ (%10)(g/kg)	S ₂ (%20) (g/kg)	S ₃ (%30) (g/kg)
Yonca	500	400	300	200
Sığıla ağaç yaprağı	0	100	200	300
Soya küspesi	142,63	145,08	147,54	150
Yulaf dane	231,54	237,19	242,85	248,5
Buğday samanı	59,83	51,72	43,61	35,50
Yağ	40	40	40	40
Tuz	10	10	10	10
Kireç Taşı	15	15	15	15
Min-Vit	1	1	1	1
Toplam (gr)	1000	1000	1000	1000
ME (kcal/kg KM)	2600	2600	2600	2600
HP (g/kg)	170	170	170	170

Min-Vit: Mineral ve Vitamin, ME: Metabolik enerji, HP: Ham protein S₁: Sığıla ağaç yaprağı %10, S₂: Sığıla ağaç yaprağı %20, S₃: Sığıla ağaç yaprağı %30. Metabolik enerji NRC (2007)' ye göre hesaplanmıştır.

Çalışmada kullanılan rasyonların gaz üretim değerleri Menke ve ark., (1979)'nın bildirdiği *in vitro* gaz üretim yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Rasyonlar tamponlanmış rumen sıvısı inokulumu (1:2) ile 100 ml hacimli cam şırıngalara (Model Fortuna, Häberle Labortechnik, Lonsee- Ettlenschie ß, Germany) 500 mg/KM örnek miktarı ve 40 ml tamponlanmış rumen sıvısı olacak şekilde anaerobik şartlarda 39 °C' de su banyosunda 24 saatlik fermentasyona bırakılmıştır. Rumen sıvısı inokulumu Kahramanmaraşta bulunan kesimhaneden 3 baş merinos koyunlardan alınmış olup, koyunlar 50-60 kg canlı ağırlıkları arasındadır. Rumen sıvıları hava geçirmez bir termos yardımıyla laboratuvara getirilmiştir. Rasyonların, cam şırıngalarda yirmidört saatlik inkubasyonu sonucu oluşan toplam gazın metan içerikleri kızılötesi metan ölçüm cihazı yardımıyla (Sensor Europe GmbH, Erkrath, Germany) belirlenmiştir (Goel ve ark., 2008).

Metan (ml) miktarları aşağıda belirtilen formüle göre hesaplanmıştır.

$$CH4 (ml) = G\ddot{U} * CH4 (\%) \quad (2)$$

Cam şırıngalarda 24 saatlik fermentasyon sonucu rasyonları içeren rumen sıvısı inokulantları 100 ml lik cam beherlere konulmuştur. Daha sonra beherlerin içerisine 50 ml NDF solüsyonu ilave edilerek 60 dk hot plate cihazında kaynamaya bırakılmıştır. Kaynamış olan rumen sıvısı inokulantları darası daha önceden alınmış 1 por'luk cam krezeler ile süzölmüştür. Süzme işleminden sonra krezeler 70 °C' de 24 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır. Diyetlerin gerçek sindirilebilir kuru madde (GSKM), gerçek sindirim derecesi (GSD), taksimat faktörü (TF), mikrobiyal protein (MP) ve mikrobiyal protein sentezleme etkinliği (MPSE) değerleri aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır. (Blümmel ve ark., 1997a).

$$GSKM (mg) = \text{İnkubasyon edilmiş substrat miktarı (mg)} - \text{Substrat miktarı (mg)} \quad (3)$$

$$GSD (\%) = GSKM / \text{İnkubasyon edilmiş substrat miktarı (mg)} \quad (4)$$

$$TF = (GSD / GÜ) \quad (5)$$

$$MP (mg) = (GSD - (2,2 * GÜ)) \quad (6)$$

$$MPSE (\%) = ((GSD - (2,2 * GÜ))/GSD) * 100 \quad (7)$$

İstatistik Analiz

Çalışmadaki *in vitro* bulgular SPSS v 20.0 programı (IBM Corp., Armonk, NY, ABD) ile tek yönlü varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuştur ve rasyonların *in vitro* gaz üretimleri ve sindirim parametreleri arasındaki ilişki Pearson's korelasyon analizi ile belirlenmiştir. Ortalamalar arasındaki farklar ($P < 0.05$) Duncan çoklu karşılaştırma testi ile belirlenmiştir (Duncan, 1955).

3. Bulgular ve Tartışma

Ruminant beslemede rasyon kullanımı hayvanlar için bir çok avantajı vardır. Rasyon kullanımı yemlerin kantitatif olarak karışmasını sağlar ve yemler tek bir besin maddesi haline döner. Ayrıca yemlerin hayvanlar tarafından seçilmesi ve elenmesi de önlenmiş olur (Boğa ve ark., 2022). Rasyonların *in vitro* gaz üretimleri ve sindirim parametreleri Tablo 3' te verilmiştir. Rasyonların fermantasyon ve sindirim parametreleri arasındaki Pearson's korelasyonu Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3. Rasyonların gaz üretimleri, mikrobiyal protein ve sindirim parametreleri

TMR	GÜ (ml)	CH ₄ (ml)	CH ₄ (%)	GSKM(mg)	TF	MP (mg)	MPSE(%)	GSD (%)
Kontrol	80,18 ^a	13,23 ^a	16,51 ^a	261,40 ^{ab}	3,58 ^b	100,80 ^b	38,53 ^b	55,54 ^{ab}
S ₁	76,89 ^a	11,54 ^b	15,01 ^b	254,97 ^{ab}	3,64 ^b	100,97 ^b	39,59 ^b	54,16 ^{ab}
S ₂	60,68 ^b	7,37 ^d	12,14 ^d	252,71 ^b	4,59 ^a	131,16 ^a	51,89 ^a	53,57 ^b
S ₃	77,16 ^a	10,21 ^c	13,23 ^c	264,49 ^a	3,76 ^b	109,94 ^b	41,53 ^b	56,23 ^a
SHO	1,923	0,315	0,228	4,437	0,152	5,574	1,727	0,983
Sig.	***	***	***	Ö.D	***	***	***	Ö.D

^{a,b,c,d} aynı sütunda yer alan farklı simgeye sahip olan ortalamalar birbirinden farklıdır. Kontrol: Kontrol grubu, S₁: %10 sığıla ağaç yaprağı, S₂: %20 sığıla ağaç yaprağı, S₃: %30 sığıla ağaç yaprağı, GÜ: Gaz üretimi(500mg/ KM), GSKM: Gerçek sindirilebilir kuru madde (500 mg/ KM), TF: Taksimat faktörü, MP: Mikrobiyal protein (mg), MPSE: Mikrobiyal protein sentezleme etkinliği (%), GSD: Gerçek sindirim derecesi (%) ve SHO: Standart hata ortalaması Sig: Önem seviyesi * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$. Ö.D: Önemli değil.

Tablo 4. Rasyonların fermantasyon ve sindirim parametreleri arasındaki Pearson's korelasyonu

	GÜ	CH ₄ (ml)	CH ₄ (%)	GSKM	PF	MP	MPSE
CH ₄ (ml)	0,91 ^{**}						
CH ₄ (%)	0,77 ^{**}	0,95 ^{**}					
GSKM	0,47	0,31	0,15				
PF	-0,96 ^{**}	-0,89 ^{**}	-0,76 ^{**}	-0,26			
MP	-0,89 ^{**}	-0,88 ^{**}	-0,79 ^{**}	-0,02	0,96 ^{**}		
MPSE	-0,96 ^{**}	-0,92 ^{**}	-0,80 ^{**}	-0,23	0,99 ^{**}	0,97 ^{**}	
GSD	0,48	0,33	-0,17	0,99 ^{**}	-0,28	-0,04	-0,25

Korelasyon önem seviyesi * 0,05 ** 0,01. GÜ: Gaz üretimi 500 mg KM; CH₄ (ml) ve CH₄ (%): Rasyonların metan üretim miktarı; GSKM: Gerçek sindirilebilir kuru madde; PF: Partitioning faktör; MP: Mikrobiyal protein; MPSE: Mikrobiyal protein sentezleme etkinliği; GSD: Gerçek sindirim derecesi

Rasyonların fermantasyon parametreleri GÜ, CH₄ (ml), CH₄ (%) ile PF, MP ve MPSE değerleri arasında negatif bir ilişki çıkmıştır (P<0.01). Rasyonların GSKM ile GÜ, CH₄ (ml) ve CH₄ (%) değerleri arasında ise pozitif bir ilişki tespit edilmiştir (Tablo 4). Diyetlerin kuru madde sindirimi azaldıkça gaz ve metan üretimlerinin de azaldığı bu ilişki ile belirtilebilir. Rasyona eklenen sığıla ağaç yaprakları gaz üretimini azaltmış ve sayısal olarak bu farklılık istatistiksel olarak da önemli bulunmuştur (P<0.001). Rasyonlarının *in vitro* gaz üretim değerleri 60,68 ml ile 80,18 ml arasında değişmiştir. En yüksek gaz üretim değeri kontrol grubunda en düşük ise S₂ grubundan elde edilmiştir. Yemlerin gaz üretim değerlerinin fermente edilmiş madde miktarına bağlı olduğu bildirilmiştir (Sampath, 1995). Uçucu yağ asitleri bağırsak lümeninde, sindirilmemiş rasyon karbonhidratları gibi çeşitli maddelerin mikrobiyal fermantasyonuyla üretilen organik asitlerdir (Çağlar ve ark., 2017). Ayrıca yem hammaddelerinin toplam gaz üretimi direkt ve indirekt olmak üzere iki şekilde oluşmaktadır. Fermantasyon esnasında oluşan uçucu yağ asitlerinin tampon çözelti ile tepkimeye girmesi sonucu indirekt gaz üretimi oluşmaktadır (Wolin, 1960). Çalışmadaki rasyonların 24 saatlik fermantasyon sonucunda CH₄ ml değerleri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (P<0.001). Rasyonların CH₄ ml değerleri 7,37 ml ile 13,23 ml 500 mg/KM arasında değişmiştir. Rasyonların metan üretimi kontrol grubuna oranla S₂ rasyonunda % 44'lük bir azalma görülmüştür. Rasyonlarda sığıla ağaç yaprak oranlarının artması ile kondanse tanen miktarı da artabileceği söylenebilir (Tablo 1.). Tavendale ve ark., (2005)'ın yapmış olduğu çalışmada tanenlerin arkeaların yapısında bulunan proteinlere tutunması ile oluşan bakterisid ya da bakteriostatik etkilerinden dolayı rumende fermantasyon sonucu oluşan CH₄ üretiminin azalmasına sebep olduğunu bildirmişlerdir. Kondanse Tanen bakımından zengin rasyonlar, ruminantlarda rumen protein bozulması ve CH₄ emisyonu üzerinde etkili bir inhibitör etki ile azaltabilir, ancak bu, yemin sindirilebilirliği ve verimliliği üzerindeki olumsuz etkilerinden kaçınmak için diyete dahil etme şeklini, miktarını ve dikkatli kaynak seçimini gerektirir (Min ve ark., 2020). Çalışmadaki rasyonların CH₄ içerikleri %12,14 ile 16,51 arasında değişmiştir. Lopez ve ark., (2010)'ın yaptıkları çalışmada yem hammaddeleri anti-metanojenik özelliklerine göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre çalışmadaki S₂ ve S₃ grupları düşük anti-metanojenik etki gösterdiği belirlenmiştir. Rasyonlarda GSKM değerleri 252,71 ile 264,49 mg/KM arasında tespit edilmiştir. Bitkilerde bulunan esansiyel yağlar, tanen ve diğer aktif bileşikler rumende bulunan selülotik mikroorganizmaların işlevini engelleyerek yemlerin sindirimini azalttığı bildirilmektedir (Patra ve ark., 2006). Rasyonların TF değerleri 3,58 ile 4,59 arasında bulunmuştur. Yemlerdeki TF değeri 1 ml gaz üretimi için ihtiyaç duyulan substrattan enerjinin dönüşümünü ifade eder. Fakat bu enerji hem uçucu yağ asitlerinin üretimi, hem de mikrobiyal proteinlerin üretimi için kullanıldığından yemleri sadece gaz üretimine göre seçim yapmak doğru olmaz (Blümmel ve ark., 1994; Blümmel ve ark., 1997b). Teorik olarak ruminant hayvanların beslenmesinde kullanılan yemlerin TF değerlerinin 2,75 ile 4,41 arasında olması gerektiğini ve bu değerlerin MPSE'yi belirleyen en önemli etkenlerden biri olduğu ve yüksek TF değeri ile düşük gaz üretimi genellikle mikrobiyal protein üretiminin artacağına bir göstergesi olduğu daha önce yapılan çalışmalarda bildirilmiştir (Blümmel ve ark., 2005; Blümmel ve Lebzien, 2001). Rasyonların MP 100,80 ile 131,16

mg arasında ve MPSE değerleri ise %38,53 ile 51,89 arasında tespit edilmiştir. Kondanse tanenler, rumende proteinler ile kompleks yapı oluşturarak rumende mikrobiyal sindirim oranını düşürdükleri bildirilmiştir (Silanikove ve ark., 1994). Rasyonların GSD değerleri ise %53,57 ile 56,23 arasında bulunmuştur. Yemlerde kondanse tanenin yüksek miktarda olması yemin lezzetini düşürecek olup yem tüketimini kısıtlayarak sindirim derecesinde düşmesine neden olacağı bildirilmiştir (Kamalak ve ark., 2005a).

4. Sonuç

Rasyonda sığıla ağaç yapraklarının yonca otu yerine artan seviyelerde ilave edilmesiyle gaz ve CH₄ üretimini düşürdüğü, TF, MP ve MPSE değerlerini ise önemli derecede etkilediği saptanmıştır (P<0.001). Çalışmadaki *in vitro* bulgulara göre rasyonlarda kontrol grubuna kıyasla % 20 sığıla ağaç yaprakları bulunan S₂ grubunda metan üretimini %44 düşürdüğü tespit edilmiştir. Sığıla ağaç yapraklarının rasyonlarda kullanılmadan önce içerdiği yüksek kondanse tanenden dolayı polietilen glikol (PEG) muamelesine tabii tutularak tanenin havanlar üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılabileceği düşünülmüştür. Bu çalışmadaki rumen fermantasyon parametrelerinin sonuçlarına bakılarak hayvansal üretimde rasyonda uygulanması ve hayvan performansı arasındaki etkileşimin anlaşılması için *in vivo* çalışmalarda referans sağlayabilir. *In vitro* çalışmalarla elde edilen bulguların *in vivo* çalışmalarla desteklenmesine gereksinim duyulmaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- AOAC. Official method of analysis. 15th ed., pp.66-88. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA. 1990.
- Blümmel M., Cone JW., Van Gelder AH., Nshalai I., Umunna NN., Makkar HPS., Becker K. Prediction of forage intake using *in vitro* gas production methods: Comparison of multiphase fermentation kinetics measured in an automated gas test, and combined gas volume and substrate degradability measurements in a manual syringe system. *Animal Feed Science and Technology* 2005; 123, 517-526.
- Blümmel M., Lebzien P. Predicting ruminal microbial efficiencies of dairy rations by *in vitro* techniques. *Livestock Production Science* 2001; 68(2-3): 107-117.
- Blümmel M., Makkar HPS., Chisanga G., Mtimuni J., Becker K. The prediction of dry matter intake of temperate and tropical roughages from *in vitro* digestibility/gas-production data, and the dry

- matter intake and in vitro digestibility of African roughages in relation to ruminant liveweight gain. *Animal Feed Science and Technology* 1997a; 69(1-3): 131-141.
- Blümmel M., Steingas H., Becker K. The relationship between in vitro gas production, in vitro microbial biomass yield and 15N incorporation and its implications for the prediction of voluntary feed intake of roughages. *British Journal of Nutrition* 1997b; 77(6): 911-921.
- Blümmel M., Steingass H., Becker K. The partitioning of in vitro fermentation products and its bearing for voluntary feed intake. In *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology (Germany)* 1994; DLG.
- Boga M. Chemical composition and in vitro gas production kinetics of some tree leaves obtained in the mediterranean region of Turkey. *Anadolu J Agr Sci.* 2014, 29(2): 143-146.
- Boğa M., Avcı BC., Kılıç HN. Evaluation of some commercial food rations in terms of chemical composition, methane production, net energy and organic substance digestibility. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology* 2022; 10(6): 1095-1101.
- Boschini CF. Nutritional quality of mulberry cultivated for ruminant feeding. (Mulberry for Animal Production. Ed. M.D. Sánchez. *FAO Animal Production and health Paper*. ISBN:92-5-104568-2) 2002; Rome.
- Çağlar A., Tomar O., Ekiz T. Bütirik asit: yapısı, özellikleri ve sağlık üzerine etkileri. *Koçtepe Vet Dergisi* 2017; 10(3): 213-225.
- Cai Y., Du Z., Yamasaki S., Nguluve D., Tinga B., Macome F., Oya T. Community of natural lactic acid bacteria and silage fermentation of corn stover and sugarcane tops in Africa. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 2020; 33(8): 1252.
- Chávez CCM., Ramírez PN., Hoyos LR., Durán MGR., Madrigal JF., Sánchez MCC., Palacios CAM. Retos y perspectivas del sector acuícola rumbo al 2050. *Ciencia Nicolaita*; 2021; 83.
- Chen X., Ma Y., Khan MZ., Xiao J., Alugongo GM., Li S., Cao Z. A combination of lactic acid bacteria and molasses improves fermentation quality, chemical composition, physicochemical structure, in vitro degradability and rumen microbiota colonization of rice straw. *Frontiers in Veterinary Science* 2022; 9.
- Cui K., Qi M., Wang S., Diao Q., Zhang N. Dietary energy and protein levels influenced the growth performance, ruminal morphology and fermentation and microbial diversity of lambs. *Scientific Reports* 2019; 9(1): 1-10.
- Denek N., Aydın SS., Can A. The effects of dried pistachio (*Pistachio vera* L.) by-product addition on corn silage fermentation and in vitro methane production. *Journal of Applied Animal Research* 2017; 45(1): 185-189.
- Devendra C. Shrubs and tree fodders for farm animals: proceedings of a workshop in Denpasar, Indonesia, 24-29 July 1989. IDRC, Ottawa, ON, CA, 1990.
- Duncan DB. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*, 1955; 11(1): 1-42.

- Goel G., Makkar HP., Becker K. Effects of Sesbania sesban and Carduus pycnocephalus leaves and Fenugreek (Trigonella foenum-graecum L.) seeds and their extracts on partitioning of nutrients from roughage-and concentrate-based feeds to methane. *Animal Feed Science and Technology* 2008; 147(1-3): 72-89.
- Jayanegara A., Wina E., Soliva CR., Marquardt S., Kreuzer M., Leiber F. Dependence of forage quality and methanogenic potential of tropical plants on their phenolic fractions as determined by principal component analysis. *Animal Feed Science and Technology* 2011; 163(2-4): 231-243.
- Jayanegara A., Wina E., Takahashi J. Meta-analysis on methane mitigating properties of saponin-rich sources in the rumen: influence of addition levels and plant sources. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 2014; 27(10): 1426.
- Kamalak A., Canbolat Ö., Gürbüz Y., Özyay O., Erer M., Özkan ÇÖ. Kondense taninin rumimant hayvanlar üzerindeki etkileri hakkında bir inceleme. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi* 2005a; 8(1): 132-137.
- Kamalak A., Canbolat O., Gurbuz Y., Ozay O., Ozkose, E. Chemical composition and its relationship to in vitro gas production of several tannin containing trees and shrub leaves. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 2005b; 18(2): 203-208.
- Liu K., Zhang Y., Yu Z., Xu Q., Zheng N., Zhao S., Wang J. Ruminant microbiota–host interaction and its effect on nutrient metabolism. *Animal Nutrition* 2021; 7(1): 49-55.
- Lopez S., Makkar HPS., Soliva CR. Screening plants and plant products for methane inhibitors. In “In vitro screening of plant resources for extra nutritional attributes in ruminants: Nuclear and related methodologies”, Ed; Vercoe PE, Makkar HPS, Schlink A, London, New York, USA 2010.
- Maghsoud B., Akbar T., Hossein J., Ali MG. Evaluation of some by-products using in situ and in vitro gas production techniques. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences* 2008; 3(1): 7-12.
- Makkar HPS., Blümmel M., Becker K. Formation of complexes between polyvinyl pyrrolidones or polyethylene glycols and tannins, and their implication in gas production and true digestibility in in vitro techniques. *British Journal of Nutrition* 1995; 73(6): 897-913.
- Menke KH., Steingass H. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Anim Res Dev*, 1988; 28, 7-55.
- Menke KH., Raab L., Salewski A., Steingass H., Fritz D., Schneider W. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feeding stuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. *The Journal of Agricultural Science* 1979; 93(1): 217-222.
- Min BR., Solaiman, S., Waldrip HM., Parker D., Todd RW., Brauer D. Dietary mitigation of enteric methane emissions from ruminants: A review of plant tannin mitigation options. *Animal Nutrition* 2020; 6(3): 231-246.

- NRC. National Research Council (US). Committee on Nutrient Requirements of Small Ruminants. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids, 2007.
- Olfaz M., Kilic U., Boga M., Abdi AM. Determination of the in vitro gas production and potential feed value of olive, mulberry and sour orange tree leaves. *Open Life Sci.* 2018; 13: 269–278.
- Patra AK., Kamra DN., Agarwal N. Effect of plant extracts on in vitro methanogenesis, enzyme activities and fermentation of feed in rumen liquor of buffalo. *Animal Feed Science and Technology* 2006; 128 (3-4): 276-291.
- Sallama SMA., Abdelgaleib SAM., Buenoc ICS., Nassera MEA., Araujod RC., Abdallac AL. Effect of some essential oils on in vitro methane emission *Archives of Animal Nutrition* 2011; 65(3): 203–214.
- Sampath KT., Wood CD., Prasad CS. Effect of urea and by-products on the in-vitro fermentation of untreated and urea treated finger millet (*Eleusine coracana*) straw. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 1995; 67(3): 323-328.
- Silanikove N., Nitsan Z., Perevolotsky A. Effect of a daily supplementation of poly (ethylene glycol) on intake and digestion of tannin-containing leaves (*Ceratonia siliqua*) by sheep. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 1994; 42(12): 2844-2847.
- Tavendale MH., Meagher LP., Pacheco D., Walker N., Attwood GT., Sivakumaran S. Methane production from in vitro rumen incubation with *Lotus pedunculatus* and *Medicago sativa*, and effects of extractable condensed tannin fractions on methanogenesis. *Anim Feed Sci Technol* 2005; 123-124, 403-419.
- Ulger I., Kamalak A., Kurt O., Kaya E., Guven I. Comparison of the chemical composition and anti-methanogenic potential of Liquidambar orientalis leaves with *Laurus nobilis* and *Eucalyptus globulus* leaves using an in vitro gas production technique. *Ciencia e investigación agraria: revista latinoamericana de ciencias de la agricultura* 2017; 44(1): 75-82.
- Wolin MJ. A theoretical rumen fermentation balance. *J. Dairy Sci* 1960; 43:1452–1459. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(60\)90348-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(60)90348-9).
- Zhang Q., Zhao M., Wang X., Yu Z., Na R. Ensiling alfalfa with whole crop corn improves the silage quality and in vitro digestibility of the silage mixtures. *Grassland Science* 2017; 63(4): 211-217.

Doğu Akdeniz Bölgesinde Buğday ve Mısır Üretiminde Yakıt Tüketiminden Kaynaklı Karbondioksit Emisyonunun Belirlenmesi

Hamza KUZU^{1*}, Mehmet Emin BİLGİLİ², Ali AYBEK³, Mehmet ÖZEKİN⁴

^{1,3,4}Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

²Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Adana

¹<https://orcid.org/0000-0001-8585-4467>

²<https://orcid.org/0000-0002-4191-0540>

³<https://orcid.org/0000-0003-3036-8204>

⁴<https://orcid.org/0009-0003-3768-0927>

*Sorumlu yazar: kuzuhamza@hotmail.com

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 03.10.2023

Kabul tarihi: 11.12.2023

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Doğu Akdeniz Bölgesi

Buğday

Mısır

Yakıt tüketimi

Karbondioksit emisyonu

İklim değişikliği, etkisi artarak devam eden küresel çapta ciddi bir sorun olmaktadır. Bu sorunda tarımsal üretimde oluşan sera gazı emisyonlarının da payı vardır. Hükümetler, sera gazı emisyonlarının azaltılması için politikalar geliştirmektedir. Bu nedenle tarımsal üretimde gerçekleşen sera gazı emisyonlarını belirlemek için araştırmaların yapılması önemli hale gelmektedir. Bu çalışmada, Doğu Akdeniz Bölgesi'nde buğday ve mısır üretiminde yakıt tüketimine bağlı olarak ortaya çıkan karbondioksit emisyonunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Doğu Akdeniz Bölgesi'nde yakıt esaslı CO₂ emisyonu hesaplama yöntemi ile 2018-2022 yılları arasında gerçekleşen ortalama CO₂ emisyonu, özgül yakıt tüketimi ve özgül CO₂ emisyonu sırasıyla buğday üretiminde 154,50 ktCO₂, 26,60 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹ ve 90,49 g_{CO2} kg_{ürün}⁻¹ olarak, mısır üretiminde ise 58,66 ktCO₂, 10,71 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹ ve 36,44 g_{CO2} kg_{ürün}⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bölgede yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonu; buğday üretiminde en fazla nakliye en düşük ekim işleminde, mısır üretiminde ise en fazla toprak işlemede, en düşük ise gübreleme işleminde gerçekleştiği saptanmıştır. Konuya ilişkin bazı öneriler çalışmanın sonuç bölümünde sunulmuştur.

Determination of Carbon Dioxide Emission from Fuel Consumption for Wheat and Corn Production in the Eastern Mediterranean Region

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 03.10.2023

Accepted: 11.12.2023

Published online: 11.03.2024

Keywords:

Eastern Mediterranean region

Wheat

Corn

Fuel consumption

Carbon dioxide emission

Climate change is a serious global problem whose impact continues to increase. Greenhouse gas emissions generated in agricultural production also contribute to this problem. Governments are developing policies to reduce greenhouse gas emissions. Therefore, it becomes important to conduct research to determine greenhouse gas emissions in agricultural production. This study aimed to determine the carbon dioxide emissions related to fuel consumption for wheat and corn production in the Eastern Mediterranean Region. According to the fuel based CO₂ emission calculation method in the Eastern Mediterranean Region, between 2018-2022 average the CO₂ emission, the specific fuel consumption and the specific CO₂ emission were determined as 154.50 ktCO₂, 26.60 g_{fuel} kg_{product}⁻¹ and 90.49 g_{CO2} kg_{product}⁻¹ in wheat production, and 58.66 ktCO₂, 10.71 g_{fuel} kg_{product}⁻¹ and 36.44 g_{CO2} kg_{product}⁻¹ in corn production, respectively. It has been determined that fuel consumption and CO₂ emissions in the region occurs at the highest transportation at the lowest planting process in wheat production, at the highest soil tillage at the lowest fertilization process in corn production. Some suggestions on the subject are presented in the conclusion section of the study.

To Cite: Kuzu H., Bilgili ME., Aybek A., Özekin M. Doğu Akdeniz Bölgesinde Buğday ve Mısır Üretiminde Yakıt Tüketiminden Kaynaklı Karbondioksit Emisyonunun Belirlenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(2): 684-693.

1. Giriş

Gelişmekte olan ülkeler artan nüfusunu beslemek ve ekonomik kalkınmayı sağlamak için daha fazla tarımsal üretim gerçekleştirmekte ve enerji ihtiyacını genel olarak ucuz bir enerji olan fosil yakıtlardan karşılamaktadır. Özellikle sanayi devriminden sonra süregelen enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için fosil yakıtların kullanımında yaşanan artış ekonomik büyümenin yanında, atmosfere salınan karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve nitroksit (N₂O) gibi sera gazlarında ciddi bir artışa neden olmuş ve günümüzde sıkça tartışılan küresel ısınma ve iklim değişikliği sorununa yol açmıştır (Çelik ve ark., 2017; Özçağ ve ark., 2017; Massey ve ark., 2019).

Sera gazlarının etkisiyle yaşanan küresel ısınmanın sonucunda oluşan iklim değişikliği, tüm dünya ülkelerini yakından ilgilendiren önemli bir sorundur. Özellikle sanayi devrimi sonrasında yoğun üretim ve tüketim ile birlikte doğal bir süreç olarak ilerleyen iklim değişikliği, insan faaliyetleri ile ivme kazanmıştır (Aydın, 2023). Yarı kurak bölgede olması nedeniyle Türkiye, iklim değişikliği etkilerine en hassas ülkelerden birisi olup, gelecekte daha sıcak, kurak ve yağışlar açısından daha belirsiz bir iklim yapısına sahip olacağı beklenmektedir (IPCC, 2013). İklim değişikliğinin, yağış rejiminin değişmesi, sıcaklık artışları, kuraklık, çölleşme ve doğal afetler gibi olumsuz etkileri tarımda verimlilik ve büyüme oranlarını etkileyerek ekonomi üzerinde de önemli bir tehdit unsuru oluşturmaktadır (Hayaloğlu, 2018). Bu süreci durdurmadan sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak ve tarımsal üretimde verimsizliği ortadan kaldırmak kolay olmayacaktır (Smagulova ve ark., 2017).

Tarım, insanların beslenme ve barınma ihtiyaçlarını karşılayan, sanayiye ham madde sağlayan ve dolayısıyla ülkenin ekonomik kalkınmasına katkı yapan bir sektör olmaktadır. İklim değişikliğine bağlı olarak oluşan seller, sıcak hava dalgaları ve fırtınalar tarım sektörüne ve ekosistemine zarar vermektedir (Hayaloğlu, 2018). Bu durum ekolojik, sosyal ve ekonomik açıdan ciddi olumsuzluklara yol açmaktadır (Aydın ve Aktuz, 2023). Ayrıca tarım sektörü, tohumun hazırlanmasından hasada ve hasat sonrası ürünlerin depolanmasına kadar üretimin her aşamasında oluşan sera gazı emisyonları ile iklim değişikliğini tetiklemektedir (Lal, 2004). Başka bir ifade ile tarım iklim değişikliğinden hem etkilenen hem de iklim değişikliğini tetikleyen bir sektör olmaktadır. Tarımsal üretimde enerji kaynağı olarak yakıt ve motor yağı kullanımı, tarımsal uygulamalara uygun güç ve tasarımda tarım alet ve makinalarının seçilmemesinden kaynaklanan motorların aşırı yüklenmesi gibi nedenlerle egzoz emisyonlarındaki zararlı maddeler ve dumanlar atmosfere salınmakta ve doğal ekosistemi kirletmektedir (Öztürk ve Vulkan, 2017). Artan nüfusa yeterli düzeyde gıda sağlamak için daha fazla tarımsal üretim yapılmaktadır. Bu nedenle sera gazı emisyonlarının doğal ekosistem üzerindeki olumsuz etkileri artmaktadır.

2030 yılına kadar küresel sera gazı emisyonlarında yaklaşık %50 oranında bir artış olacağı öngörülmektedir (Verge ve ark., 2007). Küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %20'si tarım

sektöründen kaynaklanmaktadır (Ritchie ve ark., 2020). Türkiye’de ise tarımsal üretimden kaynaklı sera gazı emisyonları 1990 yılında 46,1 MtCO₂ iken 2021 yılında ise 72,1 MtCO₂ olarak belirlenmiş olup, %56,5 oranında bir artış olduğu saptanmıştır (TÜİK, 2023a). İnsan faaliyetleri ile oluşan sera gazı emisyonlarının neden olduğu iklim değişikliğinin önlenmesi amacıyla tüketim alışkanlıkları gözden geçirilmeli, sınırlı kaynaklar ihtiyaç düzeyinde kullanılmalı ve tarım alanlarının sürdürülebilir kullanımı sağlanmalıdır (Dellal ve ark., 2011; Akalın, 2014). Sürdürülebilir bir tarımsal üretim için üretim süreçlerinde enerji daha verimli kullanılmalı ve fosil yakıt kullanımı azaltılmalıdır. Daha az fosil enerji kaynakları kullanarak sera gazı emisyonlarını azaltacak, daha verimli sürdürülebilir üretim sistemleri geliştirilmelidir (Öztürk, 2017). Tarımsal üretimde, sera gazı emisyonlarının önemli bir kaynağı olan fosil yakıtlar dikkate alınarak iklim değişikliğiyle mücadelede, sera gazı emisyonlarındaki artışın kontrol edilmesi ve azaltılmasına yönelik araştırmalar yapılmaktadır (Gołasa ve ark., 2021). Bu nedenle tarımsal üretimle ortaya çıkan sera gazı emisyonlarını belirlemek için analizlerin yapılması giderek önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, Doğu Akdeniz Bölgesi’nde buğday ve mısır bitkilerinin yetiştirilmesinde enerji kaynağı olarak kullanılan yakıt tüketimine bağlı oluşan karbondioksit emisyonu değerleri belirlenmiş, ayrıca konuya ilişkin bazı öneriler sunulmuştur

2. Materyal ve Metot

Doğu Akdeniz Bölgesi, Adana, Hatay, Kahramanmaraş, Mersin ve Osmaniye illerini kapsamaktadır. Bölge, Türkiye’nin sulu tarıma elverişli verimli toprak yapısı ve üretim potansiyeli ile en bereketli tarım topraklarına sahip ovalardan oluşmaktadır. Bölgede sulu tarım yaygın olup, iklim yapısından dolayı yılda 2-3 ürün almak mümkündür. Toprak ve iklim özelliklerinin sağladığı avantajlar sayesinde, bölgede birçok tarla bitkisinin üretimi yapılabilmektedir. Çalışmada, bölgede yaygın yetiştirilen buğday ve mısır (dane) bitkileri seçilmiştir. Doğu Akdeniz Bölgesi’nde yıllara göre buğday ve mısır için üretim alanları, üretim miktarları ve verim değerleri Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerinden alınmıştır (Tablo 1 ve Tablo 2). Doğu Akdeniz Bölgesi’nde yaygın yetiştirilen buğday ve mısır için yıllara göre toplam üretim alanları, üretim miktarları ve verim değerleri ise Tablo 3’te verilmiştir. Ortalama değerler bölgedeki illerin 5 yıllık (2018-2022) verilerinin ortalamasını ifade etmektedir.

Bölgede son beş yılda buğday için; üretim alanları yaklaşık 442000-497000 ha arasında, üretim miktarları yaklaşık 1541000-1922000 ton arasında ve ürün verim değerleri ise yaklaşık 3,4-4,1 ton ha⁻¹ arasında değişmektedir (Tablo 1). Mısır üretim alanları yaklaşık 139000-182000 ha arasında, üretim miktarları yaklaşık 1390000-1818000 ton arasında ve ürün verim değerleri ise yaklaşık 9,9-10,8 ton ha⁻¹ arasında olduğu görülmektedir (Tablo 2).

Doğu Akdeniz Bölgesi’nde buğday ve mısır bitkilerinin toplam üretim alanları yaklaşık 583000-644000 ha arasında, üretim miktarları yaklaşık 2930000-3580000 ton arasında ve ürün verim değerleri ise yaklaşık 5-5,7 ton ha⁻¹ arasında değişmektedir (Tablo 3).

Tablo 1. Doğu Akdeniz Bölgesi'nde yıllara göre ortalama buğday üretim alanları, üretim miktarları ve verim değerleri (TÜİK, 2023b)

Yıllar	Üretim alanı (ha)	Üretim miktarı (ton)	Verim (ton ha ⁻¹)
2018	496425	1754680	3,53
2019	444008	1541215	3,47
2020	490587	1773610	3,62
2021	473902	1921950	4,06
2022	442330	1576517	3,56
Ortalama	469450	1713594	3,65

Tablo 2. Doğu Akdeniz Bölgesi'nde yıllara göre ortalama mısır üretim alanları, üretim miktarları ve verim değerleri (TÜİK, 2023b)

Yıllar	Üretim alanı (ha)	Üretim miktarı (ton)	Verim (ton ha ⁻¹)
2018	147616	1592884	10,79
2019	139439	1390386	9,97
2020	147421	1590392	10,79
2021	154644	1657157	10,72
2022	181507	1818031	10,02
Ortalama	154125	1609770	10,46

Tablo 3. Doğu Akdeniz Bölgesi'nde yıllara göre buğday ve mısır bitkilerinin toplam üretim alanları, üretim miktarları ve verim değerleri (TÜİK, 2023b)

Yıllar	Üretim alanı (ha)	Üretim miktarı (ton)	Verim (ton ha ⁻¹)
2018	644041	3347564	5,20
2019	583446	2931601	5,02
2020	638007	3364002	5,27
2021	628545	3579107	5,69
2022	623837	3394548	5,44
Ortalama	623576	3323364	5,33

Bölgede buğday ve mısır üretiminde birim alanda tüketilen yakıt değerleri (L ha⁻¹) Tablo 4'te verilmiştir. Yakıt tüketim değerleri üretici koşullarında yapılan tarımsal üretim girdi maliyetleri çalışmasından (Bilgili ve ark., 2022), yağ tüketim değerleri ise literatürde belirtildiği üzere yakıt tüketiminin %4'ü olacak şekilde alınmıştır (Bilgili ve Aybek, 2018).

Tablo 4. Buğday ve mısır bitkilerinin üretiminde birim alanda tüketilen yakıt ve yağ değerleri

Tarımsal ürün	Tüketilen dizel yakıtı (L ha ⁻¹)	Tüketilen motor yağı (L ha ⁻¹)
Buğday	115,16	4,61
Mısır	133,17	5,33

Yakıt türüne bağlı CO₂ emisyon faktörleri ve dizel yakıtı ile motor yağının ısı değerleri için Tablo 5’te verilen değerler kullanılmıştır (IPCC, 1996; Öztürk ve ark., 2017; Bilgili ve Aybek 2018; Küsek, 2018).

Tablo 5. Dizel yakıtı ve yağlama yağının ısı değerleri ve CO₂ emisyon faktörleri

Yakıt	Yakıt Alt Isıl Değeri (GJ L ⁻¹)	CO ₂ Emisyon Faktörü (kgCO ₂ GJ ⁻¹)
Dizel	0,0371	74,01
Motor yağı	0,0382	73,28

Doğu Akdeniz Bölgesi’nde buğday ve mısır bitkilerinin üretiminde ortaya çıkan CO₂ emisyonlarının belirlenmesi için yapılan hesaplamalarda, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinde (IPCC, 1996) belirtilen, yakıt esaslı CO₂ emisyonu hesaplama yöntemi dikkate alınmıştır (Öztürk ve ark., 2017; Bilgili ve Aybek 2018; Küsek, 2018). Yakıt tüketimine dayalı CO₂ emisyonlarının hesaplanması için önerilen yaklaşım Eşitlik 1-5’te verilmiştir.

$$\text{Toplam CO}_2 \text{ emisyonu} = \text{Yakıt esaslı CO}_2 \text{ emisyonları} + \text{Yağ esaslı CO}_2 \text{ emisyonları} \quad (1)$$

$$\text{CO}_2 \text{ emisyonları} = \text{Kullanılan yakıt miktarı} \times \text{Yakıtın alt ısı değeri} \times \text{Emisyon faktörü}$$

$$\text{Yakıt esaslı CO}_2 \text{ emisyonları} = \text{Kullanılan dizel miktarı} \times \text{Alt ısı değeri} \times \text{Emisyon faktörü}$$

$$\text{Yakıt esaslı CO}_2 \text{ emisyonları (kgCO}_2 \text{ ha}^{-1}) = L \text{ ha}^{-1} \times 0,0371 \text{ GJ L}^{-1} \times 74,01 \text{ kgCO}_2 \text{ GJ}^{-1} \quad (2)$$

$$\text{Yağ esaslı CO}_2 \text{ emisyonları} = \text{Kullanılan yağ miktarı} \times \text{Alt ısı değeri} \times \text{Emisyon faktörü}$$

$$\text{Yağ esaslı CO}_2 \text{ emisyonları (kgCO}_2 \text{ ha}^{-1}) = L \text{ ha}^{-1} \times 0,0382 \text{ GJ L}^{-1} \times 73,28 \text{ kgCO}_2 \text{ GJ}^{-1} \quad (3)$$

Özgül yakıt tüketimi, herhangi bir ürünün üretimi sürecinde üretilen her bir birim ürün için ne kadar yakıt tüketildiğini ifade etmektedir (Öztürk ve ark., 2017; Bilgili ve Aybek 2018; Küsek, 2018).

$$\text{ÖYT} = \frac{\text{YT}}{\text{ÜM}} \quad (4)$$

Burada;

ÖYT : Özgül yakıt tüketimi ($\text{g}_{\text{yakıt}} \text{ kg}_{\text{ürün}}^{-1}$),

YT : Tüketilen yakıt miktarı ($\text{g}_{\text{yakıt}}$) ve

ÜM : Üretilen ürün miktarıdır ($\text{kg}_{\text{ürün}}$).

Tüketilen yakıt miktarı, ortalama olarak dizel yakıtı yoğunluk değeri ($0,84 \text{ g cm}^{-3}$) (Beşergil, 2009) ile çarpılarak litre cinsinden gram cinsine çevrilmiştir.

Özgül CO₂ emisyonu, herhangi bir ürünün üretim işlemleri sırasında gerçekleşen, üretilen her bir birim ürün için ne kadar CO₂ emisyonu oluştuğunu belirtmektedir (Öztürk ve ark., 2017; Bilgili ve Aybek 2018; Küsek, 2018).

$$\text{ÖCE} = \frac{\text{CE}}{\text{ÜM}} \quad (5)$$

Burada;

ÖCE : Özgül CO₂ emisyonu ($\text{g}_{\text{CO}_2} \text{ kg}_{\text{ürün}}^{-1}$),

CE : CO₂ emisyonu (g_{CO_2}) ve

ÜM : Üretilen ürün miktarıdır ($\text{kg}_{\text{ürün}}$).

3. Bulgular ve Tartışma

Doğu Akdeniz Bölgesi'nde; yıllara göre ortalama buğday ve mısır üretiminde hesaplanan CO₂ emisyonu, özgül yakıt tüketimi ve özgül CO₂ emisyonu değerleri sırası ile Tablo 6 ve Tablo 7'de, buğday ve mısır bitkilerinin hesaplanan toplam CO₂ emisyonu, özgül yakıt tüketimi ve özgül CO₂ emisyonu değerleri ise Tablo 8'de verilmiştir.

Bölgede son beş yılda buğday için; CO₂ emisyonu yaklaşık 145,5-163,4 ktCO₂ arasında, özgül yakıt tüketimi yaklaşık 23,8-27,9 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹ arasında ve özgül CO₂ tüketimi ise yaklaşık 81,1-94,8 g_{CO2} kg_{ürün}⁻¹ arasında değişmiştir (Tablo 6). Mısırdaki CO₂ emisyonu yaklaşık 53,1-69,1 ktCO₂ arasında, özgül yakıt tüketimi yaklaşık 10,3-11,2 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹ arasında ve özgül CO₂ tüketimi ise yaklaşık 35,2-38,2 g_{CO2} kg_{ürün}⁻¹ arasında değişmektedir (Tablo 7).

Doğu Akdeniz Bölgesi'nde buğday ve mısır bitkilerinde yıllara göre hesaplanan toplam CO₂ emisyonu yaklaşık 199,1-219,6 ktCO₂ arasında, özgül yakıt tüketimi yaklaşık 34,2-39,1 g_{yakıt} kg_{ürün}⁻¹ arasında ve özgül CO₂ tüketimi ise yaklaşık 116,6-132,9 g_{CO2} kg_{ürün}⁻¹ arasında değişmiştir (Tablo 8).

Tablo 6. Doğu Akdeniz Bölgesi'nde yıllara göre buğday CO₂ emisyonu, özgül yakıt tüketimi ve özgül CO₂ emisyonu

Yıllar	CO ₂ emisyonu (ktCO ₂)	Özgül yakıt tüketimi (g _{yakıt} kg _{ürün} ⁻¹)	Özgül CO ₂ emisyonu (g _{CO2} kg _{ürün} ⁻¹)
2018	163,38	27,37	93,11
2019	146,13	27,87	94,81
2020	161,46	26,76	91,03
2021	155,97	23,85	81,15
2022	145,58	27,14	92,34
Ortalama	154,50	26,60	90,49

Tablo 7. Doğu Akdeniz Bölgesi'nde yıllara göre mısır CO₂ emisyonu, özgül yakıt tüketimi ve özgül CO₂ emisyonu

Yıllar	CO ₂ emisyonu (ktCO ₂)	Özgül yakıt tüketimi (g _{yakıt} kg _{ürün} ⁻¹)	Özgül CO ₂ emisyonu (g _{CO2} kg _{ürün} ⁻¹)
2018	56,18	10,37	35,27
2019	53,07	11,22	38,17
2020	56,10	10,37	35,28
2021	58,85	10,44	35,51
2022	69,08	11,17	38,00
Ortalama	58,66	10,71	36,44

Tablo 8. Doğu Akdeniz Bölgesi'nde yıllara göre buğday ve mısır bitkilerinin toplam CO₂ emisyonu, özgül yakıt tüketimi ve özgül CO₂ emisyonu

Yıllar	CO ₂ emisyonu (ktCO ₂)	Özgül yakıt tüketimi (gyakıt kgürün ⁻¹)	Özgül CO ₂ emisyonu (gCO ₂ kgürün ⁻¹)
2018	219,56	37,74	128,38
2019	199,19	39,09	132,98
2020	217,56	37,13	126,31
2021	214,82	34,29	116,66
2022	214,65	38,31	130,34
Ortalama	213,16	37,31	126,93

Doğu Akdeniz Bölgesi'nde buğday ve mısır bitkilerinin 2018-2022 yılları arasında ortalama üretim alanı 623576 ha, üretim miktarı 3323364 ton, verimi 5,33 ton ha⁻¹, CO₂ emisyonu 213,16 ktCO₂, özgül yakıt tüketimi 37,31 gyakıt kgürün⁻¹ ve özgül CO₂ emisyonu 126,93 gCO₂ kgürün⁻¹ olarak belirlenmiştir (Tablo 3 ve Tablo 8). Buğdayda ortalama CO₂ emisyonu; Adana (50,64 ktCO₂), Kahramanmaraş (44,39 ktCO₂), Mersin (26,92 ktCO₂), Hatay (17,48 ktCO₂), Osmaniye (15,07 ktCO₂) olarak mısırdaki; Adana (27,69 ktCO₂), Osmaniye (12,58 ktCO₂), Kahramanmaraş (9,36 ktCO₂), Hatay (5,01 ktCO₂), Mersin (4,02 ktCO₂) olarak sıralanmaktadır. Ortalama özgül yakıt tüketimi buğdayda; Hatay (154,27 gyakıt kgürün⁻¹), Kahramanmaraş (153,59 gyakıt kgürün⁻¹), Mersin (150,33 gyakıt kgürün⁻¹), Osmaniye (134,76 gyakıt kgürün⁻¹), Adana (107,81 gyakıt kgürün⁻¹) olarak mısırdaki; Kahramanmaraş (18,13 gyakıt kgürün⁻¹), Osmaniye (15,33 gyakıt kgürün⁻¹), Mersin (15,06 gyakıt kgürün⁻¹), Hatay (14,89 gyakıt kgürün⁻¹), Adana (13,82 gyakıt kgürün⁻¹) olarak sıralanmaktadır. Ortalama özgül CO₂ emisyonu buğdayda; Hatay (327,49 gCO₂ kgürün⁻¹), Kahramanmaraş (326,05 gCO₂ kgürün⁻¹), Mersin (319,13 gCO₂ kgürün⁻¹), Osmaniye (286,07 gCO₂ kgürün⁻¹), Adana (228,87 gCO₂ kgürün⁻¹) olarak mısırdaki ise Kahramanmaraş (44,51 gCO₂ kgürün⁻¹), Osmaniye (37,63 gCO₂ kgürün⁻¹), Mersin (36,96 gCO₂ kgürün⁻¹), Hatay (36,54 gCO₂ kgürün⁻¹), Adana (33,92 gCO₂ kgürün⁻¹) olarak sıralanmaktadır. Bölgede yakıt tüketimi ve CO₂ emisyonu; buğday üretiminde en fazla nakliye en düşük ekim işleminde, mısır üretiminde ise en fazla toprak işlemede, en düşük ise gübreleme işleminde gerçekleştiği belirlenmiştir.

Öztürk ve Vulkan (2017), Türkiye'de 2010-2015 yılları arasındaki dönem için yaptıkları çalışmada, ortalama özgül yakıt tüketimini buğday üretiminde 20,7 gdizel kgbuğday⁻¹, mısır üretiminde 12,4 gdizel kgmısır⁻¹; ortalama CO₂ emisyonunu buğday üretiminde 1,4 MtCO₂ yıl⁻¹, mısır üretiminde 0,2 MtCO₂ yıl⁻¹; ortalama özgül CO₂ emisyonunu buğday üretiminde 67,7 gCO₂ kgbuğday⁻¹, mısır üretiminde ise 40,4 gCO₂ kgmısır⁻¹ olarak belirlemişlerdir.

Tarımsal üretim faaliyetlerinde ortaya çıkan CO₂ emisyonları, küresel ısınmaya ve sonucunda ise iklim değişikliği sorununa neden olmaktadır. Tarımsal üretim süreçleri doğal çevreye bağlı olarak yürütülebilmektedir. Bu nedenle iklim değişikliğinden en fazla etkilenen olan yine tarımsal üretim süreçleri olmaktadır. Diğer bir ifade ile tarım, iklim değişikliğini tetikleyen ve bunun sonucundan da olumsuz etkilenen bir sektördür. İklim değişikliğinin sonucunda kuraklığın da etkisi ile tarımsal

üretimde azalma, ürün kalitesinde düşme, gıda arzında azalma, gıda fiyatlarında artma ve yetersiz beslenme problemleri yaşanabilecektir. Dahası üretim deseninde oluşacak değişiklikler ihracatta azalışa ve ithalatta artışa neden olabileceği için ekonomik büyüme hızı yavaşlayacaktır. Ekonomik kalkınmada yaşanacak olumsuzlukların yansımaları olarak toplum genelinde refah düzeyinde düşüş gerçekleşecektir (Dellal 2014; Dellal ve ark., 2015).

Bu çalışmada Doğu Akdeniz Bölgesi'nde yaygın tarımı yapılan buğday ve mısır bitkilerinin üretiminde enerji kaynağı olarak kullanılan yakıt tüketimine bağlı CO₂ emisyon değerleri belirlenmiştir. Diğer bölge ve ürünlere göre değerlendirme yapılabilmesi için tarımsal üretimde CO₂ emisyonu konusundaki çalışmalar artırılmalıdır.

4. Sonuç

İklim değişikliği, sera gazı emisyonlarının neden olduğu küresel nitelikte bir sorundur. Bu sorunun gelişmesinde insan faaliyetlerinin etkisi büyüktür. Sanayi devriminden sonra artan enerji ihtiyacı fosil yakıtlarla karşılandığı için sera gazı emisyonları da artmıştır. Birçok ülke küresel ısınmayı engellemek, iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak ve sera gazı emisyonlarını düşürmek adına kurum ve kuruluşları aracılığı ile enerji, sanayi, ulaşım ve tarım sektörlerinde özellikle fosil yakıt kullanımını sınırlandırabilmek için politikalar veya yeniden yapılanmalar oluşturulmaktadır. Bu durum sürdürülebilir kalkınma için önemlidir. Bunun için; (1) doğal çevreye zararlı tüketilebilir fosil yakıtlar yerine verimli ve çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, (2) tarımsal üretimde yakıt, kimyasal gübreler, tarımsal ilaçlar, traktör ve makina girdilerinin azaltılması, (3) tarımsal uygulamalarda teknoloji kullanımının artırılması, (4) sıfır veya azaltılmış toprak işleme yöntemlerinin tercih edilmesi gibi gelişmiş teknolojilere sahip enerji tasarruflu teknik sistemlerle donatılmış tarım makina ve teknolojilerinin kullanılması, (5) arazi toplulaştırılması ile Türkiye'de parçalı, küçük ve şekilsiz tarla parsellerinin birleştirilerek arazilerin yol ve sürüm mesafelerinin verimli ve ekonomik hale getirilmesi, (6) ekonomik ömrünü tamamlamış traktör ve makinalarının yerine tarımsal işletmelere uygun güç ve özellikte traktör ve makinalar alınabilmesi için çeşitli teşviklerin uygulanması, (7) yenilenebilir enerjilerin geliştirilmesine daha fazla odaklanması gerekmektedir. Bu görevlerin yerine getirilmesi aynı zamanda cazip hale getirilmesini de gerektirir. Örneğin vergi muafiyetleri, yatırım sübvansiyonları ve sübvansiyonlu krediler şeklinde mali politikaların uygulamaya konulması gerekmektedir. Ayrıca tarımsal işletmelerin iklim değişikliği konusunda bilinçlendirilmesi, çevre duyarlılığı ve farkındalığının artırılması için eğitim ve bilgilendirmelerin yaygınlaştırılması da önemlidir. Aksi takdirde, ulusal tarım sektöründe enerji tüketiminin ve aynı zamanda CO₂ emisyonlarının azaltılması yönündeki ilerlemeler büyük ölçüde engellenebilecektir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Kaynakça

- Akalın M. İklim değışikliğinin tarım üzerindeki etkileri: bu etkileri gidermeye yönelik uyum ve azaltım stratejileri. Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 2014; 7(2): 351-377.
- Aydın A., Aktuz NC. Sürdürülebilir tarım için iklim değışikliğine ekosistem tabanlı uyum faaliyetleri. Çevre, Şehir ve İklim Dergisi, 2023; 2(3): 132-157.
- Aydın A. Tarım sektöründen kaynaklı sera gazı emisyonlarının hesaplanması; enterik fermantasyon. Uluslararası Gıda Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi, 2023; 3(1): 40-54.
- Beşergil B. Yakıtlar yağlar. Ege Üniversitesi Basımevi; İzmir; 2009.
- Bilgili ME., Aybek A. Doğu Akdenizde zeytin üretiminde yakıt tüketimi sonucunda oluşan karbondioksit emisyonu durumu. 3rd International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2018), Çukurova University, Congress Center, October 24-26, 2018, Adana.
- Bilgili ME., Kuzu H., Aybek A. Doğu Akdeniz bölgesinde mısır ve pamuk üretiminde insan ve makina iş gücü gereksinimlerinin belirlenmesi. International Journal of Eastern Mediterranean Agricultural Research, 2022; 5(1): 77-84.
- Çelik Z., Erdal Ü., Etöz M. Türkiye’de ekolojik tarımın ekonomik boyutu ve iklim değışimine etkisi. I. Uluslararası Organik Tarım ve Biyoçeşitlilik Sempozyumu, 27-29 Eylül 2017, sayfa no:1-10, Bayburt.
- Dellal İ. Kuraklık ve gıda güvenliği. Dünya 4 Mevsim Dergisi, 2014; 8: 22-25.
- Dellal İ., Engürülü B., Ulukan H., Özevren AŞ., Ünal M. İklim değışikliğinin tarım sektörüne ekonomik yansımaları. Türkiye Ziraat Mühendisliği VIII. Teknik Kongresi, 12-16 Ocak 2015, sayfa no:62-80, Ankara.
- Dellal İ., McCarl BA., Butt T. The economic assessment of climate change on turkish agriculture. Journal of Environmental Protection and Ecology 2011; 12(1): 376-385.
- Gołasa P., Wysokiński, M., Bienkowska-gołasa W., Gradziuk P., Golonko M., Gradziuk B., Siedlecka A., Gromada A. Sources of greenhouse gas emissions in agriculture, with particular emphasis on emissions from energy used. Energies 2021; 14(13): 3784.
- Hayaloğlu P. İklim değışikliğinin tarım sektörü ve ekonomik büyüme üzerindeki etkileri. Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 2018; 9(25): 51-62.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). GHG protokolü - mobil kılavuz (03/21/05) v1.3., 1996.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change 2013: The physical science basis. contribution of working group 1 to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, 2013.

- Küsek G. Güneydoğu Anadolu bölgesinde mercimek üretiminde yakıt tüketimine bağlı olarak gerçekleşen karbondioksit emisyonlarının değerlendirilmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 2018; 22(4): 572-584.
- Lal R. Carbon emission from farm operations. *Environment international*, 2004; 30(7): 981-990.
- Massey R., McClure H., Schneider R. Agriculture and greenhouse gas emissions. University of Missouri: Columbia-Extension Publication, 2019. <https://mospace.umsystem.edu/xmlui/bitstream/handle/10355/71743/g00310-2019MarchRevised.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Erişim Tarihi: 14.09.2023)
- Özçağ M., Yılmaz B., Sofuoğlu E. Türkiye’de sanayi ve tarım sektörlerinde seragazı emisyonlarının belirleyicileri: indeks ayrıştırma analizi. *Uluslararası İlişkiler*, 2017; 14(54): 175-195.
- Öztürk HH., Vulkan EV. Türkiye’de buğday ve mısır üretiminde yakıt tüketimine bağlı olarak gerçekleşen karbondioksit emisyonlarının değerlendirilmesi. 4. Uluslararası Multidisipliner Avrasya Kongresi (IMCOFE), 23-25 Ağustos 2017, sayfa no:13-23, Roma.
- Öztürk HH. Energetic and environmental comparison of rapeseed cultivation systems. LAMBERT Academic Publishing, Deutschland, 2017.
- Öztürk HH., Gözübüyük Z., Atay U. Türkiye’de pamuk üretiminde yakıt tüketimine bağlı olarak gerçekleşen karbondioksit emisyonlarının değerlendirilmesi. 3. Uluslararası Tarım ve Çevre Kongresi, 16-18 Kasım 2017, sayfa no: 21-30, Antalya.
- Ritchie H., Roser M., Rosado P. CO₂ and greenhouse gas emissions. *Our world in data*, 2020. <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector> (Erişim tarihi: 26.08.2023)
- Smagulova S., Adil J., Tanzharikova A., Imashev A. The economic impact of the energy and agricultural complex on greenhouse gas emissions in Kazakhstan. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2017; 7(4): 252-259.
- TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). Haber bülteni, sera gazı emisyon istatistikleri, 2023a. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2021-49672> (Erişim tarihi: 25.08.2023)
- TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). Bitkisel üretim istatistikleri, 2023b. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=134&locale=tr> (Erişim tarihi: 23.08.2023)
- Verge XPC., DeKimpe C., Desjardins RL. Agricultural production, greenhouse gas emissions and mitigation potential. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2007; 142: 255-269.



ERP Destekli Reel Maliyet Muhasebe Sistemi Geliştirme ve Bir Uygulama

Adem BİBER^{1*}, Cafer ÇELİK²

¹ Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 25240, Erzurum

² Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, 25240, Erzurum

¹ <http://orcid.org/0000-0003-0942-3280>

² <http://orcid.org/0000-0002-7025-2647>

*Sorumlu yazar: admbbr@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 11.04.2023

Kabul tarihi: 07.09.2023

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

ERP

Kurumsal kaynak planlaması

Maliyet muhasebesi

ERP ile maliyet muhasebesi

uygulaması

ÖZ

Maliyet; firmaların faaliyetlerini sürdürebilmeleri için odaklanmaları gereken en önemli konuların başında gelmektedir. Bu çalışmada, işlem sürelerinin standart olarak belirlenmesinin güç olduğu sektör ve işletmelerde maliyetlerin belirlenmesi için gerekli işlem sürelerinin, geliştirilen ara yazılım kullanılarak elde edilmesi sağlanmıştır. Üretim sahasından operatörler aracılığıyla alınarak Mikro ERP yazılımı üzerinde, maliyet muhasebesine entegrasyonu sağlanan bu bilgiler sayesinde, maliyetlerin daha doğru, güvenilir ve güncel hesaplanması hedeflenmektedir. Mikro ERP yazılımı ve maliyet muhasebesi ile entegre çalışacak olan ara yazılım, teorik yaklaşımların aksine, gerçek işlem/operasyon/makine bilgileri üzerinden hesaplama yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. SQL veri tabanı kullanılarak C# dilinde yazılan ara yazılım sayesinde sahadan veriler alınarak, Mikro ERP yazılımına entegre edilmesi sağlanmış ve maliyet muhasebesi ile bağlantıları kurularak gerekli yazılım ve sistem eksiklikleri giderilmiştir. İlgili dönemde yapılan masrafların, ilgili iş merkezleri/operasyonlara dağıtılması ile doğru maliyetlendirme zemini oluşturulmuştur. Aynı zamanda geliştirilen ara yazılım sayesinde anlık üretim takibinin yapılabilmesine imkân sağlanmıştır. Çalışma sonucunda maliyetlerin küçük sapmalar haricinde işletme verilerine göre doğru ve güvenilir olduğu saptanmıştır.

Development of the ERP Supported Real Cost Accounting System and an Application

Research Article

Article History:

Received: 11.04.2023

Accepted: 07.09.2023

Published online: 11.03.2024

Keywords:

ERP

Enterprise resource planning

Cost accounting

Cost accounting application with

ERP

ABSTRACT

Cost; it's one of the most important issues that companies need to focus on for continue their activities. In this study, it has been ensured that the required processing times to determine the costs in the sectors and businesses where it is difficult to determine the processing times as a standard, by using the developed middleware. It is aimed to calculate the costs more accurately, reliably and currently, thanks to this information, which is taken from the production site by the operators and integrated into the cost accounting on the Mikro ERP software. Cost accounting and middleware, which will work integrated with Mikro ERP software, allow calculations to be made on the real process/operation/machine information, contrary to theoretical approaches. Thanks to the middleware written in C# using the SQL database, the data from the field was taken and integrated into the Mikro ERP software and the necessary software and the system deficiencies were eliminated by establishing connections with cost accounting. By allocating the expenses incurred in the relevant period to the relevant work centers/operations the correct costing basis has been established. At the same time, thanks to the developed middleware, it is possible to follow

the production instantly. As a result of the study, it has been determined that the costs are correct and reliable according to the companies data, except for small deviations.

To Cite: Biber A., Çelik C. ERP Destekli Reel Maliyet Muhasebe Sistemi Geliştirme ve Bir Uygulama. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(2): 694-707.

1. Giriş

Maliyet kavramı işletmeler için her zaman üzerinde durulması gereken en önemli kavramların başında gelmektedir. Özellikle pandemi süreci ile başlayan ve sonrasında hızla artan tedarik sorunları sebebiyle maliyetler ile başa çıkmak oldukça büyük bir sorun haline almıştır. Maliyetlerde meydana gelen artış ve dalgalanmalar, işletmelerin geleneksel maliyet yaklaşımları ile bunları kontrol altında tutmasının önünde büyük bir engel teşkil etmektedir. İşletmeler, karşılaştıkları bu durumun üstesinden gelmek, rekabet edilebilirliğini artırmak, doğru ve istikrarlı fiyat politikası sergileyebilmek ve müşteri memnuniyet düzeyini maksimum hale getirebilmek için, doğru ve güvenilir maliyet değerlerini elde etmek istemektedir. Bu sebeple üretim, üretim planlama, kalite, muhasebe, finans, insan kaynakları, satış, satın alma gibi pek çok modülü bulunan kurumsal kaynak planlama (ERP) yazılımları ile bu modüllerden birisi olan maliyet muhasebesini kullanarak, üretim/hizmet faaliyetlerini gerçekleştirirken yaptığı tüm masrafları ilgili merkezlere dağıtarak, gerçek maliyet değerlerini hesaplamaya çalışmaktadır. Maliyet muhasebesini uygulamak için ihtiyaç duyulan veriler, tüm süreçleri tek bir noktada toplayan ve entegre hale getiren ERP sistemlerinden alınmaktadır. Parasal değerler ile üretim verileri arasında kurulan bu entegrasyon, doğru bilgiye ulaşma olasılığını artırmaktadır.

ERP sistemlerindeki bu bilgiler, genellikle iş etüdü çalışmaları sonucunda belirlenmiş standart işlem süreleridir. Genellikle, iş etüdü çalışmaları sonucunda belirli sayıda parçayı üretmek için harcanan toplam sürenin, parça sayısına bölünmesi ile standart işlem süresi elde edilmektedir.

Ancak üretim prosesleri düşünüldüğünde, insan ve makine kapasite/kabiliyetleri sebebiyle standart sürelerin çok değişkenlik gösterdiği gözlenmektedir. Özellikle insan ve makine etkilerinin çok önemli farklar oluşturabildiği metal sac şekillendirme proseslerinde bu durum kendini çokça göstermektedir. Aynı işi yapan/yapabilen iki makinenin hızlarının farklı olması veya aynı işi yapan iki çalışanın el becerilerinin/hızlarının farklı olması bu durumu ortaya çıkarmaktadır.

Standart ERP yazılımları ile maliyet muhasebesi kullanılarak gerçekleşen maliyet değerlerini hesaplamak mümkündür. Ancak bu durumun sağlanabilmesi için ihtiyaç duyulan tüm bilgilerin standart ve gerçeğe uygun olması gerekmektedir. Ürün reçetesinde yer alan süre ve makine bilgisi ile iş merkezi-operatör atamaları üretim sahasında aynen uygulanabilmelidir. Üretim esnasında karşılaşılan olağan dışı durumlar sebebiyle yapılan değişiklikler sürecin yönetimini sistem üzerinde yapmayı güçleştirmektedir.

Bu çalışmada işletmelerin elde etmek istediği gerçek maliyetlerin, üretim sahasında operatörler tarafından kullanılan, ara yazılım aracılığıyla alınabilmesi açıklanmaktadır. Geliştirilen ara yazılım ERP sistemi ile entegrasyonu sağlar. Gerçekleşen işlem süreleri, makine ve iş istasyonu bilgileri ara yazılım

üzerinden operatörler tarafından girilir ve maliyet muhasebesinin çalıştırılmasıyla gerçek maliyet değerleri hesaplanır. Aynı zamanda, geliştirilen ara yazılım ile üretim takibi ve üretim/tüketim işlemleri sağlanarak; hem iş emirlerinin takibi hem de maliyet muhasebesi için gerekli olan sistem işlemleri, ERP sistemi altyapısı kullanılarak daha kolay bir şekilde gerçekleştirilebilir.

Geliştirilen ara yazılım yardımıyla aylık periyotlarda gerçekleşen masrafların maliyetlere en doğru şekilde yansıtılması sağlanmaktadır. Doğru işlem süreleri ile doğru paylar alınması sağlanırken, üretim anlık takip edilebilmektedir. ERP sistemi üzerinde yapılması gereken maliyetli işler, küçük birimlere ayrılarak operatörler tarafından yapılacak basit bir yapıya dönüştürülmektedir.

Literatürde, ERP ile ilgili çok sayıda çalışma olduğu tespit edilmiştir. Çalışmalarda ERP sistemlerinin özellikleri, zaman içerisindeki gelişimi, kapsamı, kurulumu, sağladığı katkılar, uygulamada karşılaşılan sorunlar ve bu sorunlara karşı alınabilecek önlemlerin ele alındığı görülmektedir (Al-Mashari, 2002; Keçek ve Yıldırım, 2009; Şahbazoğlu ve Temurtaş, 2011; Çağlıyan, 2012; Allen ve ark., 2022). Aşağıda sadece bu çalışmanın konusu ile ilgili olanlardan bazılarının kapsamlarına kısaca yer verilmiştir.

Pek çok ERP projesi ulaşılmak istenen hedefler elde edilemediği için başarısızlıkla sonuçlanmaktadır. Başarılı bir ERP sistemi uygulaması için kritik başarı faktörleri, yazılım seçim süreci ve uygulama adımları olarak tanımlanmış ve incelenmiştir (Umble ve ark., 2003).

ERP ile stok modülü arasındaki ilişkiyi inceleyen bir çalışmada ERP sistemi üzerinde, stok giriş/çıkış ve sipariş sistemi tasarlanarak, muhasebe ile entegrasyonu açıklanmış, ERP sisteminin tercih edilme nedenleri, uygulama sırasında karşılaşılan sorunlar, tasarlanan sistemin getireceği kolaylıklar/zorluklar ve sistemin işletilmesi konuları ele alınmıştır (Cankurt ve Temurtaş, 2010).

Yunan şirketleri içerisinde seçilen bir örneklem ile Yunanistan'da yer alan ERP pazarı, bu şirketlerin ERP sistemlerine yatırım yapma gerekçeleri, kullanıcı faydaları ve muhasebe bilgi sistemleri üzerindeki etkileri incelenmiştir (Galani ve ark., 2010).

ERP sisteminin alt yapısını kullanan, maliyet muhasebesi ile entegre çalışan üretim takip sistemlerinin ortaya konması için gerekli aşamaları ve bu aşamalar esnasında meydana gelebilecek sorunların ele alındığı çalışmada bir üretim işletmesi incelenmiş ve çalışmanın detayları paylaşılmıştır (Dalğar, 2012). Muhasebe bilgi sistemlerinin mevcut ve gelecekteki durumları göz önünde bulundurularak, muhasebe alanında karşılaşılan sorunlara ilişkin gelecekteki teknolojik cevapları (mobil cihazlar, bulut sistemler, iş zekası, büyük veri gibi) öngörülmüştür (Belfo ve Trigo, 2013)

ERP sisteminin tek başına tüm ihtiyaçlara cevap veremediği bir durumun incelendiği çalışmada ise SAP ERP ile entegre çalışacak bir ara yazılım önerisinde bulunulmuş, satış noktaları ile merkezi sistem arasında yaşanan kopuklukların giderilebilmesi için ERP sistemine entegre edilen ara bir yazılım geliştirilmiştir (Aydın ve Temurtaş, 2015).

Açık kaynak kodlu bir ERP yazılımı olan Odoo, çalıştığı süre zarfında artan veri sebebiyle performans düşüklüğü yaşamış, veri artışının en büyük sebebi olan mailler ve eklentilerin depolanması için SQL veri tabanı gibi ilişkisel veri tabanları yerine NoSQL veri tabanı sistemleri kullanımı araştırılmıştır (Enaya, 2016).

ERP sistemi ile muhasebe bilgi sisteminin bütünleşmesi neticesinde meydana gelecek sinerjinin, sistemin etkinliği ve verimliliği üzerindeki değişimlerinin incelendiği bir çalışmada ERP sistemi ile muhasebe bilgi sisteminin bilgi teknolojileri kullanılarak entegrasyonu sayesinde sistemin verdiği olumlu reaksiyonlar aktarılmıştır (Bülbül ve Sevim, 2016).

Metal üretimi yapan bir işletmede, ERP kullanımı öncesi ve sonrası yaşanan süreçlerin belirlenen kriterlere göre karşılaştırılarak, ERP kullanımının işletme verimlilik ve performansına olan katkısı ile kullanıcı iş yüklerinin azalmasına olan etkilerinin araştırıldığı bir çalışma yapılmıştır (Bulut ve Çelebi, 2016).

ERP kullanılarak tedarikçi değerlendirme sistemleri için gerçek zamanlı veri toplanarak ve takip edilerek, birlikte çalışılan tedarikçilerin performans değerlendirmesine odaklanılmış, ERP kullanımı ile dinamik yapıda yeni bir tedarikçi değerlendirme modeli sunulmuştur (Tekez ve ark., 2019).

ERP sistemlerinin temel özelliklerini dikkate alarak, SAP ERP ürün maliyetlendirme bölümüne dair incelemeler detaylandırılarak, maliyet modülü ve süreçleri hakkında bilgi verilen bir çalışmada SAP ERP üzerinde maliyet muhasebesi işlemleri uygulama ekran görüntüleri ile gösterilmiştir (Adiloğlu ve Gür, 2019).

Literatür taraması olarak yapılan çalışma sonucunda elde bulgular sayesinde, kurumsal düzeyde bulut ERP sisteminin kabul görmesinde etkili 13 ana faktör olduğu saptanmıştır. Bu faktörler teknolojik, organizasyonel ve çevresel ana başlıkları altında kategorize edilerek tartışılmış ve kendi içlerinde değerlendirilmiştir (Christiansen ve ark., 2022).

Endüstri 4.0 teknolojilerinin gelişmesi ile ERP sistemlerine gelecekte entegre edilmesi olası geliştirmeler üzerine araştırmalar yapılmıştır. Gelecekte ERP sistemlerine entegre edilmesi öngörülen Endüstri 4.0 teknolojileri, kritik başarı faktörleri ve siber güvenlik meselesi üzerinde durulmuştur (Al-Amin ve ark., 2023).

ERP projelerinden fayda sağlamak için müşteri ve danışman firma arasındaki ilişki ve uyum oldukça önemli olduğunun vurgulandığı bir çalışmada; müşteri-danışman arasındaki çatışmaların projeye herhangi bir fayda sağlamadığı, müşteri-danışman ilişkileri ve uyumunun, ERP uygulaması sonrasında elde edilen faydayı nasıl etkilediği ortaya konulmuştur (Bawack ve Kala Ka, 2023).

İş süreçlerinde var olan karmaşıklık sebebiyle, üretim takibi ve maliyetlerin hesaplanmasının daha da zorlaştığı, etkin bir biçimde üretim takibinin yapılması ile maliyetlerin daha doğru şekilde hesaplanmasının öneminin her geçen gün arttığı, bu nedenle bilgi teknolojilerinin yardımıyla maliyet muhasebesi ile entegre çalışan üretim takip sistemlerinin geliştirmesine ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir (Biber, 2023).

Yapılan çalışma ile literatürde yer alan çok sayıda teorik çalışmaya nazaran, uygulamalı çalışma eksikliğine bir çözüm önerisi sunulmak istenmektedir. Çalışma sayesinde ERP sistemi ile maliyet muhasebesi yapılmak istendiğinde karşılaşılabilecek sorunlar ortaya konarak çözüm önerileri paylaşılmaktadır.

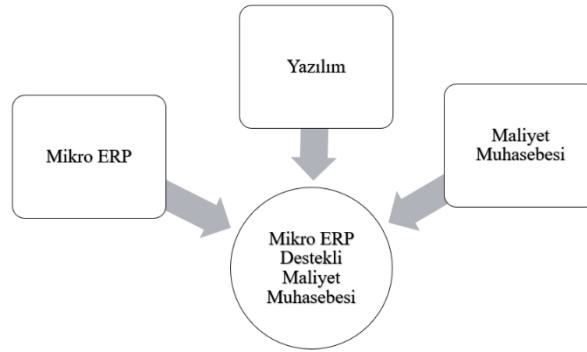
Çalışmanın ikinci bölümünde geliştirilen ara yazılım hakkında bilgi verildikten sonra yazılımın kullanılmasıyla ortaya çıkan durumlar ekran görüntüleriyle açıklanmaktadır. Üçüncü bölümde elde edilen bulgular paylaşmakta ve tartışılmaktadır. Son bölümde ise elde edilen sonuçlara yer verilerek gelecek çalışmalar için önerilerde bulunmaktadır.

2. Materyal ve Metot

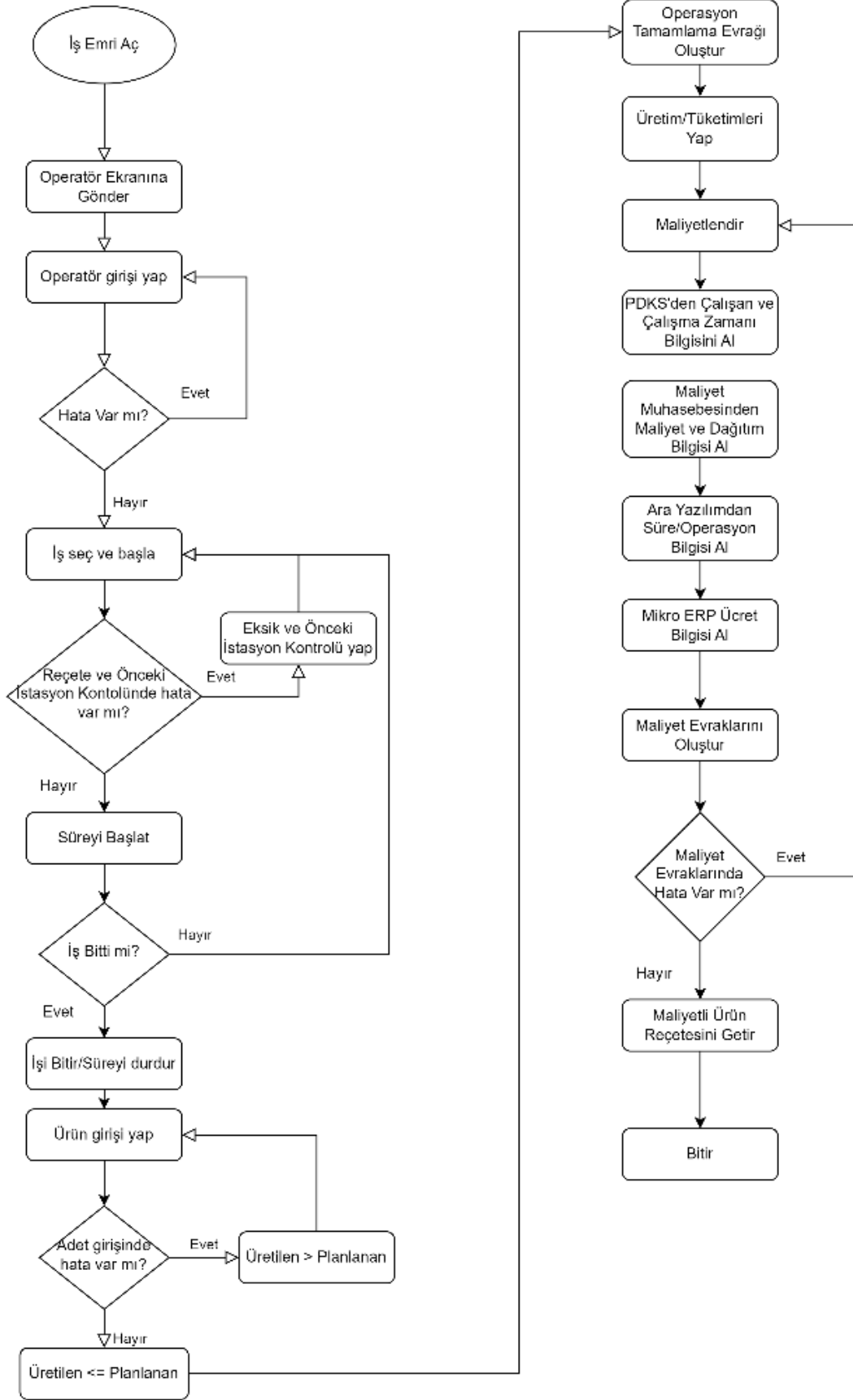
Bu çalışmada, C#, SQL veri tabanı ve Mikro ERP alt yapısı kullanılarak, ERP sistemi ile entegre çalışan bir ara yazılım geliştirilmiştir. Bu ara yazılım sayesinde maliyet muhasebesi için gerekli olan süre/makine/iş istasyonu gibi bilgilerin sahadan alınarak, direkt operatörler tarafından reel halinin veri tabanına işlenmesi sağlanmaktadır. Maliyet muhasebesi için gerekli bağlantı ayarları yapılarak, sahadan alınan reel değerlerin ERP sistemine entegre edilmesi sayesinde, maliyetlendirme için gerekli zemin oluşturulmaktadır.

Aynı zamanda, üretimin anlık takip edilebilmesi ve üretim/tüketim işlemlerinin ERP yazılımına entegre ara yazılım sayesinde kolay ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi sağlanmaktadır. Maliyet muhasebesi için gerekli bilgilerin, ara yazılım sayesinde ERP sistemi altyapısına entegrasyonu sebebiyle, reel üretim bilgilerinin en doğru halinin (süre/makine/iş istasyonu vb.) kullanılabilmesi sağlanmıştır (Şekil 1).

Ara yazılım ile ERP sistemi arasındaki ilişki sayesinde, istenilen periyotlarda, gerçekleşen masrafların maliyetlere (süreye, makineye, iş istasyonuna vb.) en doğru şekilde yüklenmesi ve gerçeğe en yakın bilgiler ile doğru dağıtımlar yapılması sağlanmaktadır. Bununla birlikte ERP sistemi üzerinde uzman personel tarafından yapılması gereken işlemler, küçük birimlere ayrılarak operatörler tarafından yapılacak basit bir yapıya dönüştürülmektedir.



Şekil 1. Mikro ERP, ara yazılım ve maliyet muhasebesi arasındaki ilişki



Şekil 1. Geliştirilen ara yazılım algoritması

Şekil 2’de verilen algoritma C# programlama dili kullanılarak kodlanmış olup, SQL veri tabanı ve Mikro ERP ile entegre çalışmaktadır. Algoritmaya dayalı olarak geliştirilen ara yazılım sahada çalışan operatörlerin yaptıkları işe ait bilgileri sisteme girebilmelerini, maliyet muhasebesi için gerekli olan süre/makine/iş istasyonu gibi bilgilerin reel halinin veri tabanına işlenebilmesini ve Mikro ERP sistemine entegrasyonunu sağlayarak reel maliyetlendirme için gerekli zemini oluşturmaktadır.

Şekil 2’de geliştirilen ara yazılıma ait algoritma gösterilmektedir. İş emrinin açılmasından, maliyetlendirme aşamasına kadar tüm sürecin işleyişi adım adım ortaya konmaktadır. Sistem gereksinimlerinin tümü yerine getirilerek, kolay bir kullanım sunması sebebiyle, karmaşık gibi gözükken ve uygulamada pek çok sorunla karşılaşılan ERP sistemine geçiş sürecinin asgari şartlara indirgenmesi sağlanmaktadır. Özellikle değişime/yeniliğe karşı ortaya konan direncin kırılması noktasında kullanıcı deneyiminin olumlu yönde etkilenmesi oldukça önem arz etmektedir.

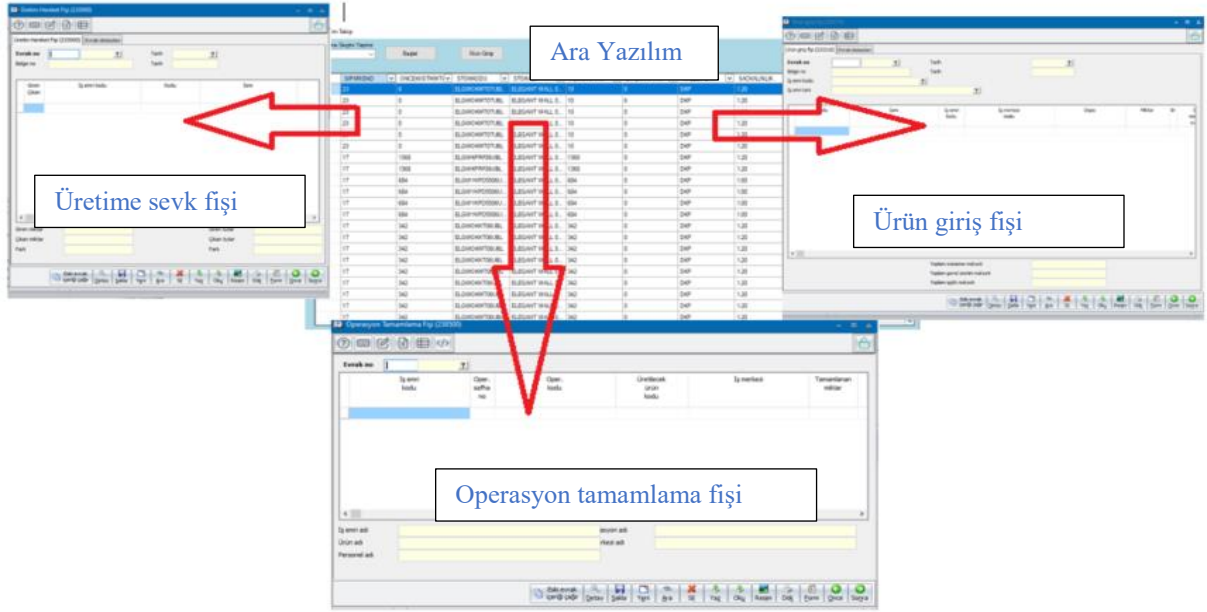
Ürün reçetesinden/ağacından alınan işlem süreleri, makine, iş istasyonu gibi bilgilerin sahada uygulanabilirliğinin az olduğu, üretim sahasında farklı sebeplerden dolayı iş-makine-operatör planlamalarının çok fazla değişkenlik gösterdiği sistemlerde, standart ERP paketlerinin tüm istekleri karşılaması pek mümkün olmamaktadır. Bütün bu işlemlerin standart ERP uygulamaları üzerinden yapılması ise ortaya çıkan kaosu yönetilmesini imkânsız hale getirmektedir.

Geliştirilen ara yazılım ERP sistemi alt yapısını kullanarak üretim takibinin sağlanmasını, standart işlem süreleri, makine ve iş merkezleri gibi reçete kaynaklı bilgilerin dışına çıkılarak planlanan-gerçekleşen düzeyini gerçeğe en yakın haline getirmeyi amaçlamaktadır.

Metal sac şekillendirme proseslerinin olduğu işletmelerde, ürün reçetesi/ağacı hazırlanırken girilen işlem süreleri, makine ve iş merkezleri gibi bilgiler belirli kabuller esas alınarak yapılmaktadır. Operasyona ait bilgilerin değişkenliğinin yönetilebilir olmaması bu durumu ortaya çıkarmaktadır. Aynı işi yapabilen iki aynı makinenin hızlarının farklı olması, makine hızının operatör tarafından artırılabilmesi/azaltılabilmesi, birbirinin aynı iki makinede çalışan iki farklı operatörün el becerilerinin/bilgilerinin farklı olması, standart sürelerin/prosedürlerin kullanılmasını mümkün kılmamaktadır. İşin yapılmasının öngörüldüğü makinenin meşgul veya arızalı olması, makineyi kullanacak operatörün izinli veya hasta olması gibi durumların çokça yaşanması bu durumu daha da güçleştirmektedir.

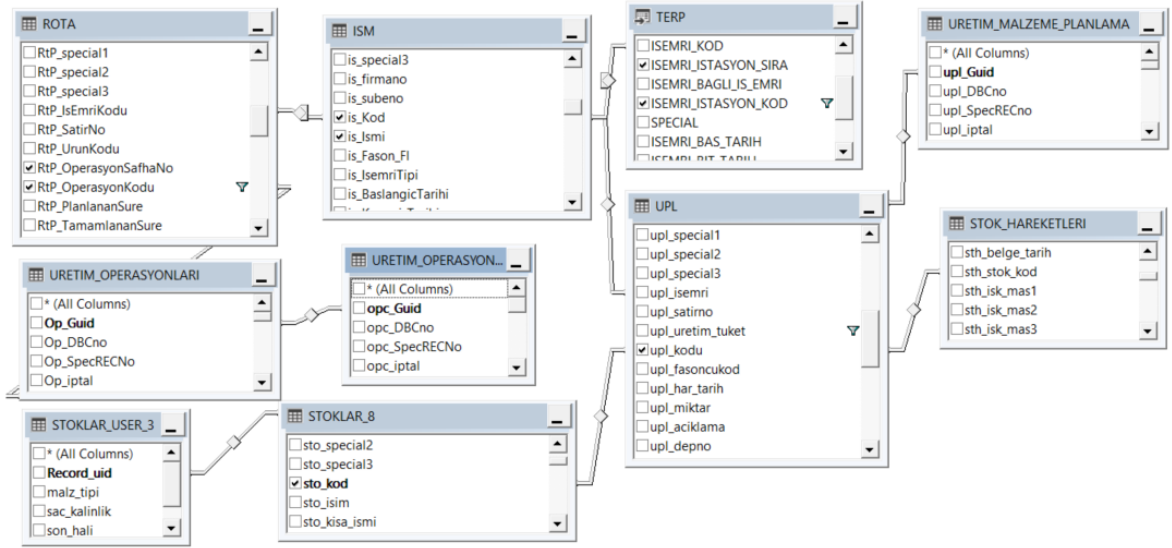
Karşılaşılan tüm bu durumlardan dolayı işlem süresi, makine ve iş istasyonu gibi bilgilerin ERP programından üretim sahasına aktarılmasının yerine, üretim esnasında ortaya çıkan bu bilgilerin, üretim sahasından ERP programına aktarılması önerilmektedir. Bu sayede, üretim sahasında gerçekleşen reel veriler üzerinden işlemler yapılacağı için doğru sonuca ulaşma ihtimali en üst seviyeye çıkacaktır. Alınan bu bilgilerin zamanla işlenerek ürün reçetesinin/ağacının düzeltilmesi sağlanabilecek ve yeni çalışmalarda (daha önce hiç üretilmemiş mamul/yarı mamul reçeteleri hazırlanırken) teorik yaklaşımların gerçeğe en yakın haline getirilmesinde de kullanılabilir olacaktır.

Geliştirilen ara yazılım ile ERP sistemi arasındaki tablo ilişkileri Şekil 3'te gösterilmektedir. İleri seviye ERP sistem bilgisi gerektiren ve program kullanılarak yapılabilen üretime sevk, ürün giriş ve operasyon tamamlama evrakları, ara yazılım sayesinde, direkt operatörler tarafından ürün girişi yapıldığında, eş zamanlı olarak gerçekleştirilmektedir. Operatör başlattığı işe ait ürün girişini gerçekleştirdiğinde, ilgili iş emrine ait üretime sevk, ürün giriş ve operasyon tamamlama evrakları ERP programı kullanılmaksızın ara yazılım tarafından kolay ve hızlı bir şekilde oluşturulmaktadır.



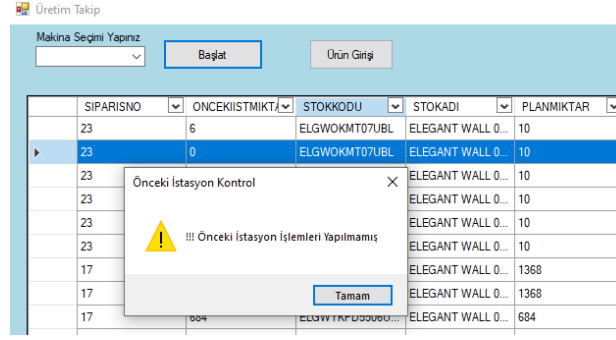
Şekil 3. Geliştirilen ara yazılım ile Mikro ERP arasındaki tablo ilişkileri

Şekil 4'de geliştirilen ara yazılım için gerekli olan veri sorgulama, veri ekleme, veri güncelleme gibi ilişiksel veri tabanı işlemleri için kurulan diyagram gösterilmektedir. Ara yüz üzerinde basitçe yapılan işlemler için SQL, T-SQL ve C# kodları aracılığıyla veri tablolarında gerekli sorgulama, ekleme/güncelleme gibi işlemler bu ilişiksel yapı sayesinde gerçekleştirilmektedir.



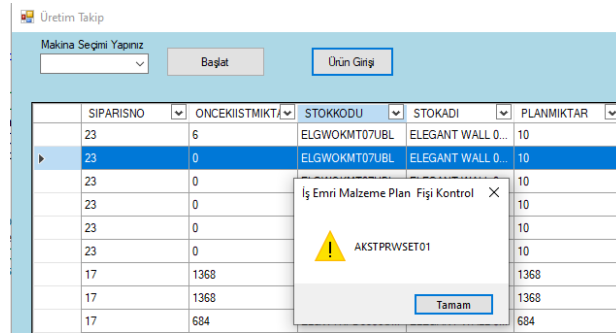
Şekil 4. Veri tabanı tabloları arasında kurulan ilişiksel diyagram

Ara yazılım üzerinde üretimine başlanmak istenen iş emri seçilip, “Başlat” butonuna basıldığında, üretim rota plan fişine göre ilgili prosten önceki istasyonda üretim işlemlerinin kontrol edilmesi sağlanmaktadır. Eğer önceki istasyonda işlemler tamamlanmamış ise Şekil 5’deki gibi uyarı alınmakta ve üretimin başlatılmasına izin verilmemektedir. Bu kontrol ile operasyona/istasyona ait yapılması gereken işlemler tamamlanmadan veya var olan sorunlar giderilmeden işlemlere devam edilmemesi sağlanmakta ve hataların/eksikliklerin biriktirilmeden çözülmesi hedeflenmektedir.



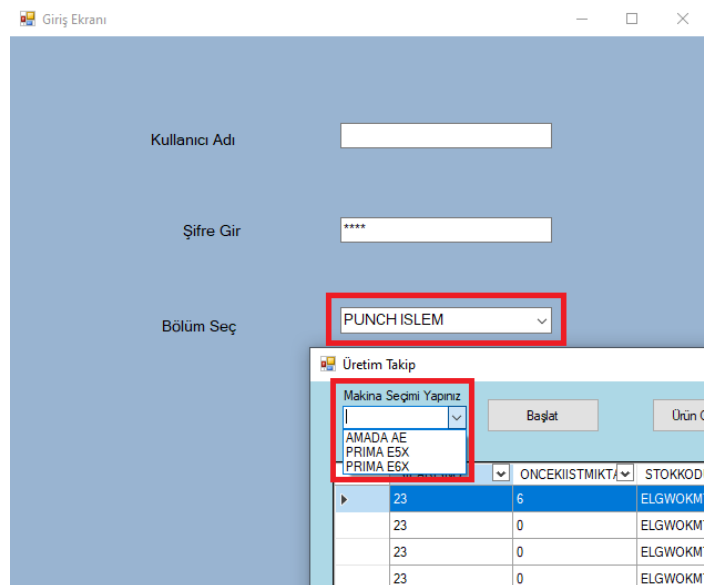
Şekil 5. Önceki istasyona ait işlem kontrolü

Ürün girişi yapılmak istendiğinde, seçili iş emrine ait iş emri malzeme plan fişinde yer alan tüketim kalemlerinin, ilgili depoda yeterince bulunup/bulunmadığı kontrolleri yapılmaktadır. Eğer ilgili depoda yeterince ilk madde malzeme/yarı mamul/mamul yok ise Şekil 6’daki gibi uyarı alınmakta ve sorun çözülmeden ürün girişi yapılmaması sağlanmaktadır. Bu kontrol sayesinde, depo stoklarının eksiye düşmesinin önüne geçilmekte ve reçete/iş emri kaynaklı hataların anlık olarak çözülmesine imkân sağlanmaktadır.



Şekil 6. Ürün girişi esnasında iş emri malzeme plan fişi kontrolü

Giriş ekranında bölüm seçimi yapılarak programa girildiğinden, ilgili bölüme ait iş emirleri filtrelenerek ekrana gelmektedir. Üretim takip ekranında, Şekil 7’de gösterildiği üzere makine seçimi yapılmasına imkân verilmekte, bu sebeple ilgili ürüne ait reçete ve/veya iş emri rota plan fişinde yer alan makine seçiminden ayrı bir istasyonda işlem yapılabilmesi sağlanabilmektedir.



Şekil 7. Bölüm seçimi sonrasında üretim takip ekranında makine seçimi

3. Bulgular ve Tartışma

Ara yazılımın basit arayüzü ve kolay kullanımının yanı sıra ilave eğitim gerekmeksizin adaptasyonu sayesinde ERP programında gerçekleştirilmesi gereken tüm aşamalarda, zaman ve para tasarrufu sağlanmaktadır. Ara yazılımın kullanılmadığı durumda, tüm bu aşamaların ERP programı üzerinde yapılması, bunun için bilgili ve tecrübeli personelin temin edilmesi veya mevcut personelin eğitilmesi maliyetine katlanması gerekmektedir.

Ayrıca artan kullanıcı sayısına göre ilave lisans satın alımı gerçekleştirilmelidir. Temel düzeyde yazılım ve donanım alt yapılarının, ara yazılımın kullanımı için bazı değişiklik ve/veya iyileştirmeler ile yeterli olacağı düşünülmektedir. Çalışanların eski alışkanlıklarını bırakmaları ve ara yazılımın kullanımının önemini kavramaları için eğitim/bilgilendirme toplantıları düzenlenmesi ve üst yönetimin kararlılığının her fırsatta ortaya konması gerekliliği ön plana çıkmaktadır.

Ara yazılımdan alınan değerler ile yapılan maliyetlendirme işlemlerinin doğru sonuçlar üretebilmesi için operatörler yardımıyla sahadan alınan verilerin doğruluğu oldukça önemlidir. Operatörler tarafından yapılacak işe ait iş başlangıcı ve ürün girişi gibi işlemlerin doğru değerler üzerindeki etkisi oldukça yüksektir.

Çalışma sonuçlarının tutarlılığı açısından ürün reçetelerinin/ağaçlarının doğruluğu her aşamada karşımıza çıkmaktadır. Ürün reçetelerinde/ağaçlarındaki mevcut hatalar/eksiklikler, iş emrinin maliyetlendirilmesinden, stok doğruluk oranına kadar pek çok noktayı etkilemektedir. Üretim kayıpları, gereksiz ara stoklar, hatalı stok değerleri gibi istenmeyen durumların ortaya çıkmaması için bu tür hataların minimize edilmesi oldukça önemlidir.

Tüketim sırasında, belirlenmesi zor olan hammadde fire oranları (örneğin sac, toz boya gibi), hesaplanacak maliyet değerleri ve stok doğruluk oranı açısından önemlidir. Standart olarak belirlenemeyen veya her siparişe/iş emrine göre değişebilen tüketim kalemleri ya da miktarları hatalı

olabilmektedir. Bunun sonucu olarak gerçek stok değerleri ile program stok değerleri arasında farklılıklar meydana gelebilmektedir. Ara yazılım kullanılarak hata/eksik tespiti yapılabilmekte/düzeltilenilmekte, bu sayede gerçek stok değerleri ile program stok değerleri arasındaki farklılıklar kabul edilebilir sınırlara çekilebilmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, gerçekleşen işlem süreleri, makine ve istasyon vb. bilgileri ile reel maliyet muhasebe sistemi geliştirilerek üretim takibi sağlanmıştır. Gerçek operasyon süreleri ve ilgili ay yapılan masraf dağıtımları doğrultusunda maliyet muhasebesi modülü çalıştırılarak reel maliyet değerleri hesaplanmıştır. Ara yazılım, SQL ve C# kullanılarak geliştirilmiş ve Mikro ERP ile entegrasyonu sağlanmıştır. Ara yazılım, üretim alanlarında uygun yerlere konan bilgisayarlar üzerinden, operatörler aracılığıyla sahadan verileri toplayıp, ERP sistemine entegre ettiği gerçek değerleri maliyet muhasebe sisteminin kullanmasına imkân vermiştir.

Elde edilen bulgulara bakıldığında, standart süreler yardımıyla hesaplanan maliyet değerlerine göre operatör/makine kabiliyetlerindeki/kapasitelerindeki değişkenliklere uyum sağlayabilen ara yazılım ile gerçeğe daha yakın maliyet değerleri hesaplandığı sonucuna varılmıştır.

Ara yazılım kullanılması sayesinde stok doğruluk oranlarında sağlanan iyileşmeler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Stok Doğruluk ve Değişim Oranları (%)

Cinsi	ERP Kullanımı Öncesi Stok Doğruluk Oranı (%)	ERP Destekli Maliyet Muhasebe Sistemi Stok Doğruluk Oranı (%)	Değişim Yüzdesi (%)
İlk Madde Malzeme	17	64	376,5
Yarı Mamul	7	58	828,6
Mamul	23	89	387,0

Tablo 1’e göre ara yazılım kullanılması sayesinde stok doğruluk oranlarında ilk madde malzemeler için %376,5, yarı mamuller için %828,6 ve mamuller için %387 oranında iyileşme sağlandığı tespit edilmiştir. Yanı sıra basit kullanıcı arayüzü ve esnek yapısı sayesinde durum değişikliklerine hızlı ve kolayca adapte olunabilmektedir. Ayrıca ilk madde malzeme, yarı mamul ve mamul maliyet değişimlerinin tümünün izlenebilmesine imkân sunulmaktadır.

Üretim takibinin gerçek zamanlı yapılabilmesi sağlanarak, ERP sisteminde yapılması gereken üretime sevk, ürün girişi ve operasyon tamamlama evrakları hızlı ve kolay hazırlanabilmektedir. Bu durum, ERP sistemindeki kullanıcı iş yükünü hafifletmektedir. Ayrıca sade ve kolay anlaşılır ekran tasarımı sebebiyle, kullanım kolaylığı sağlanmakta ve ERP sistemi iş yükünün önemli bir kısmı ara yazılım

üzerinden sağlanmaktadır. Böylece, tüm bu karmaşık iş süreci, ERP sistem bilgisine sahip kalifiye çalışanlar yerine üretim operatörleri tarafından yapılabilmektedir.

Çalışmanın başarılı sonuçlar elde edebilmesi için, üst yönetim kararlılığı ve organizasyonda tüm çalışanlar tarafından benimsenmesi oldukça önemlidir. Bunun sağlanması amacıyla gerekli bilgilendirmeler/eğitimler planlanmalı, çalışanların sürece dahil edilmesi sağlanmalıdır. Tüm sürecin sorumluluğunun üst yönetimde olduğu vurgulanmalı ve her fırsatta açıkça ortaya konmalı, bölümler arasındaki ilişkiler üst yönetim ve proje ekibi tarafından iyi analiz edilmelidir.

Verilerin operatörler aracılığıyla sahadan alınmasının önemi hakkında personel bilgilendirilmesine/eğitilmesine önem verilmelidir. Sahadan alınan verilerin doğruluğunun önemi her fırsatta vurgulanmalı, yanlış veriler ile çalışılmasının, tüm süreci sekteye uğratacağı gerçeği unutulmamalıdır.

Tüm departmanlar sürece dahil edilmelidir. Planlanan çalışmaların kapsamı hakkında bilgilendirme yapılmalı, görüşler alınmalı, sistem gerekliliği ve işletme yapısı arasındaki denge göz önünde bulundurulmalıdır. Aksi takdirde çalışma başarısız olacak ve yatırımların karşılığı alınamayacaktır.

Ürün maliyetlendirmesi için maliyet muhasebesinin kullanılmasına karar verilmesi kesinlikle üzerinde düşünülmesi ve iyi analiz edilmesi gereken stratejik karardır. Tüm süreci kesintisiz birbirine bağlamanın avantaj ve dezavantajları ele alınarak karar verilmelidir. Üst yönetim süreci kontrolünde tutmalı, proje liderliği verilecek kişi/birim/departman seçiminin projenin başarıya ulaşmasındaki rolünü göz ardı etmemelidir.

ERP projelerinin uygulanması için danışman seçimi yapılması sürecin başarısında önemli bir yer tutmaktadır. Seçilecek danışmanın maliyet muhasebesi hakkında yeterli bilgi, uygulama ve tecrübe sahibi olmasına dikkat edilmelidir. İlgili sektör deneyimine sahip olunması, sürecin ilerleyişini kolaylaştıracaktır.

Her geçen gün hızla değişen teknoloji sebebiyle, asgari sistem ve alt yapı gereksinimleri sağlanarak web tabanlı projeler geliştirilebilir. Web tabanlı uygulamalarla güncellemeler hızlıca yapılabilmekte ve sistem sekteye uğramamaktadır. Web tabanlı uygulamalar için setup kurulumları gerekmediğinden, üretim sahalarında taşınabilir cihazların kullanımı artırılabilir.

Bu tür entegre yazılımların, işletme içerisindeki sunucular üzerinde çalışmasının yerine, buluta taşınması beraberinde pek çok fırsat getirebilecektir. Özellikle bu durum, veri güvenliğini düşünmeksizin, internet erişiminin olduğu her yerden istenilen tüm bilgilere erişim imkânı sağlayabilecektir. Ayrıca şirketlerin bünyelerinde fiziki sunucuları barındırmak yerine, veri merkezlerinden sunucu kiralama uygulamalarının her geçen gün daha fazla yaygınlaşması sebebiyle, bu tür yazılımların yakın bir gelecekte, bulut sunucularda olmasını kaçınılmaz kılacağı göz ardı edilmemelidir.

Önerilen sistem belirli bir süre kullanıldıktan sonra geçmiş yıllara ait veriler de göz önünde bulundurularak fayda/maliyet analizi, uygulama esnasında karşılaşılan kolaylık/zorluklar, maliyet

hesaplama değerlendirmeleri, performans analizi vb. gibi nicel araştırmaların yapılabilmesi ve sonuçların daha detaylı bir şekilde ortaya konulabilmesi m¼mk¼n olabilecektir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmaçılarının Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Adiloğlu B., Gür A. SAP ERP sistemi üzerinde ürün maliyetlendirme yaklaşımı ve bir uygulama. Muhasebe Enstitüsü Dergisi 2019; 60: 21-35.
- Al-Amin MD., Hossain MDT., Islam MDJ., Biwas SK. History, features, challenges, and critical success factors of enterprise resource planning (ERP) in the era of industry 4.0. European Scientific Journal 2023; 19(6): 31.
- Allen C., Ali M., Xie Y. Critical success factor based allocation in ERP implementation: A nonlinear programming model. Heliyon 2022; 8: 1-15.
- Al-Mashari MA. Implementing ERP through SAP R/3:A process change management (PCM) perspective. Computer & Information Science 2002; 14: 25-38.
- Aydın Ö., Temurtaş H. Perakende satış alanında SAP ERP ile entegre bir yazılım. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2015; 35: 47-64.
- Bawack RE., Kala Kamdjoug JR. Managing client–consultant relationships to derive benefits from ERP projects, Information Technology & People 2023; 36(4): 1669-1702.
- Belfo F., Trigo A. Accounting information systems: Tradition and future directions. Procedia Technology 2013; 9: 536-546.
- Biber A. ERP destekli reel maliyet muhasebe sistemi geliştirme ve bir uygulama. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sayfa no: 69, Erzurum, Türkiye, 2023.
- Bulut Y., Çelebi F. Kurumsal kaynak planlaması (ERP) ve ERP yazılımı kullanan bir işletmenin incelenmesi. Akademik Bakış Dergisi 2016; 57: 166-177
- B¼lb¼l S., Sevim A. Kurumsal kaynak planlaması sistemlerinin muhasebe bilgi sisteminin verimliliğine etkileri. ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi 2016; 3(6): 54–70.
- Cankurt O., Temurtaş F. ERP (kurumsal kaynak planlaması) ve stok mod¼l¼. Electronics Letters on Science & Engineering 2010; 6(2): 1-5.
- Christiansen V., Haddara M., Langseth M. Factors affecting cloud ERP adoption decisions in organizations. Computer Science 2020; 196: 255-262.

- Çağlıyan V. Kurumsal kaynak planlama yazılımı kullanımının işletme performansı üzerine etkisi: örnek olay çalışması. Niğde Üniversitesi İİBF Dergisi 2012; 5(1): 159-178.
- Dalğar H. İşletmelerde maliyet muhasebesi ile entegre üretim takip sisteminin oluşturulması: bir vaka çalışması. Muhasebe ve Finansman Dergisi 2012; 56: 29-50.
- Enaya MF. An experimental performance comparison of NoSQL and RDBMS data storage systems in the ERP system Odoo, University of Magdeburg Master's Thesis, Sayfa no: 69, Magdeburg, Germany, 2016.
- Galani D., Gravas E., Stavropoulos A. The impact of ERP systems on accounting processes. International Journal of Economics and Management Engineering 2010; 4(6): 774-779.
- Keçek G., Yıldırım E. Kurumsal kaynak planlaması (ERP) ve işletme açısından önemi. Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi 2009; 8(29): 240-258.
- Şahbazoğlu C., Temurtaş F. ERP: Enterprise resource planning. Electronics Letters on Science & Engineering 2011; 8(2): 1-5.
- Tekez EK., Kar F., Toklu MC. A new model for continuous evaluation of suppliers with real execution data. Journal of Engineering Research 2019; 7(2): 298-314
- Umble EJ., Haft RR., Umble MM. Enterprise resource planning: Implementation procedures and critical success factors. European Journal of Operational Research 2003; 146(2): 241-257.

Google Earth Engine ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Orman Yangını Şiddetinin Belirlenmesinde Farklı İndekslerin Karşılaştırılması: 2023 Hatay-Belen Yangını Örneği

Celal BIÇAKCI¹, Selim Serhan YILDIZ^{2*}

¹ Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 80000, Osmaniye

² Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 80000, Osmaniye

¹<https://orcid.org/0000-0002-4743-2391>

²<https://orcid.org/0000-0001-6221-7035>

*Sorumlu yazar: serhan@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 15.12.2023

Kabul tarihi: 10.01.2024

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Coğrafi bilgi sistemleri

Google earth engine

Orman yangın haritası

dNBR

dNDVI

ÖZ

Orman yangınları sıkça rastlanan doğal afetlerden biridir ve önemli ekonomik kayıplara ve orman örtüsünün tahrip olmasına neden olmaktadır. Türkiye’de her yıl çeşitli nedenlerle birçok orman yangını meydana gelmektedir. Orman Genel Müdürlüğü’nün ormancılık istatistiklerine göre Türkiye’de sadece 2022 yılında 2160 adet orman yangını meydana gelmiş ve 12799 hektarlık ormanlık alan yanmıştır. Yangın sonucu tahrip olan alanların tespit edilmesi yangın sonrası iyileştirme çalışmalarına katkı sağlamaktadır. Orman yangınları sonucunda yanan alanların belirlenmesinde son yıllarda gelişen uydu teknolojileri ile Uzaktan Algılama (UA) yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada Hatay ili, Belen ilçesinde 16.07.2023 tarihinde çıkan orman yangını Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılarak incelenmiştir. Google Earth Engine Platformunda (GEE) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak yangın şiddeti haritaları üretilmiş ve yanma şiddetlerine göre yanan alanlar hesaplanmıştır. Bu amaçla GEE platformunda yangın öncesi ve yangın sonrası Normalize Edilmiş Bitki İndeksi (NDVI) ve Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (NBR) indeksleri uydu görüntülerine uygulanmıştır. Daha sonra dNBR (Fark Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti) ve dNDVI (Fark Normalize Edilmiş Bitki İndeksi) indeksleri oluşturulmuştur. dNBR ve dNDVI haritaları CBS araçları ile sınıflandırılarak orman yangının gerçekleştiği alana ait yanma şiddeti haritaları oluşturulmuştur. Her bir yanma şiddeti sınıfına ait yanan alanlar hesaplanmıştır. dNDVI ve dNBR indeksleri ile oluşturulan yanma şiddeti haritalarına göre toplam yanan alan sırasıyla 811,04 ha ve 826,02 ha olduğu tespit edilmiştir. dNDVI sonuçlarına göre yanan alanların %44,83’ü düşük şiddetli, %52,07’si orta-düşük şiddetli ve %3,09’u orta-yüksek şiddetlidir. Yüksek şiddetli yanmış alan bulunmamaktadır. dNBR sonuçlarına göre yanma şiddetlerine ait alan değerleri ise %33,45’i düşük şiddetli, %38,61’i orta-düşük şiddetli, %27,67’si orta-yüksek şiddetli ve %0,26’sı yüksek şiddetli yanma olarak hesaplanmıştır.

Comparison of Different Indices in Determination of the Burning Intensity Using Google Earth Engine and Geographic Information Systems: 2023 Hatay-Belen Forest Fire

Research Article

Article History:

Received: 15.12.2023

Accepted: 10.01.2024

Published online: 11.03.2024

ABSTRACT

Forest fires are frequent natural disasters and cause significant economic losses and destruction of forest cover. Every year, many forest fires occur in Turkey for various reasons. According to the forestry statistics of the General Directorate of Forestry, 2160 forest fires occurred in Turkey in

Keywords:

Geographic information systems
Google earth engine
Forest fire map
dNBR
dNDVI

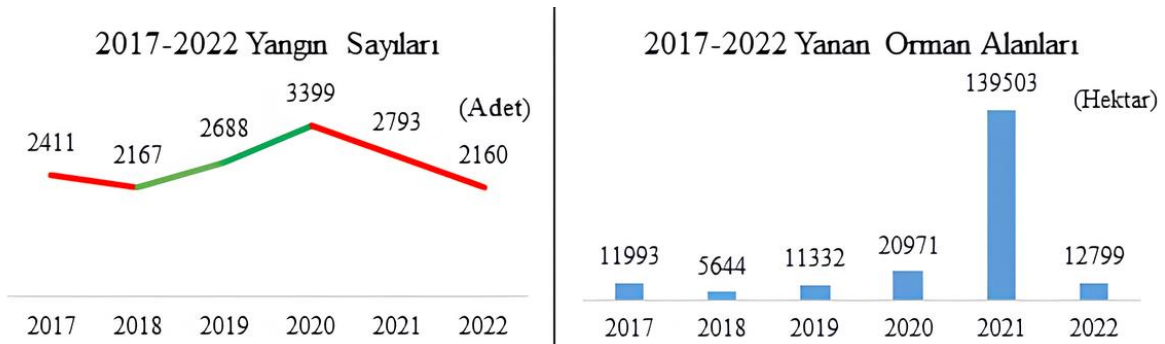
2022 and 12799 hectares of forest area burned. The determination of burned areas by forest fire contributes to post-fire recovery efforts. Remote Sensing (RS) methods and satellite technologies that have developed in recent years are widely used in determination of burned areas. In this study, the forest fire that occurred on July 16, 2023, in Belen district of Hatay province was examined using Sentinel-2 satellite images. Fire intensity maps were produced using the Google Earth Engine Platform (GEE) and Geographic Information Systems (GIS), and the burned areas were calculated by the burning intensity. For this aim, pre-fire and post-fire Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Normalized Burning Ratio (NBR) indices were applied to satellite images on the GEE platform. Then, the dNBR (Difference Normalized Burning Ratio) and dNDVI (Difference Normalized Vegetation Index) indices were created. dNBR and dNDVI maps were classified with GIS tools and burning intensity maps of the forest fire area were created. Burned areas belonging to burning intensity classes were calculated. According to the burning intensity maps created with dNDVI and dNBR indices, the total burned area was determined as 811.04 ha and 826.02 ha, respectively. When the dNDVI results are examined, 44.83% of the burned areas are in the low intensity class, 52.07% in the medium-low intensity class and 3.09% in the medium-high intensity class. There are no high intensity burned areas in dNDVI results. In dNBR results, the distribution of burned areas depending on intensities is 33.45%, 38.61%, 27.67% and 0.26% in the same order as dNDVI.

To Cite: Bıçakçı C., Yıldız SS. Google Earth Engine ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Orman Yangını Şiddetinin Belirlenmesinde Farklı İndekslerin Karşılaştırılması: 2023 Hatay-Belen Yangını Örneği. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(2): 708-719.

1. Giriş

Dünya üzerindeki tüm toprakların üçte birini kapsayan ormanlar, dünyadaki oksijenin yaklaşık üçte ikisini üreten önemli bir çevresel kaynaktır (McKinley ve ark., 2011; Keenan ve ark., 2015). Ormanlar ekosistemde ve iklimde belirleyici bir etkiye sahip olmakla birlikte sağlık, sanayi, turizm, ekonomi gibi farklı birçok alanda ülke ekonomisine katkıda bulunan önemli bir yenilenebilir kaynaktır (Yılmaz ve ark., 2021). Ancak ormanlar iklim değişikliği, orman yangınları, toprak kaymaları ve haşereler gibi çeşitli felaketlere karşı hassastır (Mollicone ve ark., 2006; McKinley ve ark., 2011).

Türkiye’de her yıl binlerce hektarlık orman alanının yok olduğu orman yangınları meydana gelmektedir. Orman Genel Müdürlüğü’nün ormancılık istatistiklerine göre Türkiye’de 2017-2022 yılları arasındaki yangın sayıları ve yanan orman alanları Şekil 1’de gösterilmiştir (URL-1).



Şekil 1. 2017-2022 Türkiye’deki orman yangını sayıları ve yanan orman alanları (URL-1).

Orman Genel Müdürlüğünün 2022 yılı verilerine göre orman yangınlarının bölge müdürlüklerine göre alan olarak dağılımında Muğla, Mersin, İzmir, Çanakkale ve Adana ilk sıralarda yer almaktadır (URL-1). İklim çeşitliliği bakımından zengin olan ülkemizde yazları kurak geçen Akdeniz ve Ege bölgelerinde orman yangın riski oldukça yüksektir (Oğuz ve ark., 2021).

Büyük alanlarda etkili olan ve uzun süren yangınlar, meydana geldiği bölgede bitki örtüsünü tahrip ederken bu alandaki habitatında zarara uğramasına, canlıların yaşam alanlarının zarar görmesine ve ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Bu nedenle yangın sonucunda meydana gelen ekolojik etkilerin ve ekonomik zararların belirlenmesi için orman yangınlarının sebep olduğu tahribatın tespit edilmesi, etkilenen alanların belirlenerek haritalanması büyük önem taşımaktadır (Gürbüz, 2023). UA yöntemlerine yeni teknolojik gelişmelerin eklenmesiyle, yangından etkilenen alanların belirlenmesi, orman yangınları sonucunda yanan yerlerin tespiti ve alanların hesaplanması, yangın sonrası gerçekleştirilecek iyileştirme süreçlerinin planlanmasında UA yöntemleri ile CBS sıkça kullanılan araçlar haline gelmiştir (Cavdaroglu, 2021; Güzel ve ark., 2021; Konkathi ve Shetty, 2021; Yılmaz ve ark., 2021; Gürbüz, 2022).

Gürbüz (2022), çalışmasında orman yangınından sonraki tahribat ve yanan alana ait iyileştirme sürecini GEE platformunda Landsat 8 görüntüleri kullanarak NBR ve NDVI yöntemleri ile tespit etmiştir. Cavdaroglu (2021), GEE platformunda Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanarak yangın öncesi ve sonrasına ait uydu görüntülerine NBR uygulamış ve yanan alanları belirlemiştir. Konkathi ve Shetty (2021), yanan alanları ve yangının şiddetini tespit etmek için GEE kullanarak Sentinel-2 ve Landsat-8 gibi yüksek çözünürlüklü çok spektrumlu görüntülere NBR yöntemi uygulamış ve yanan alanların yanma şiddetinin değerlendirmesini gerçekleştirmiştir. Güzel ve ark. (2021), orman yangınları tarafından tahrip edilen alanların yenilenme sürecinin izlenmesi amacıyla GEE platformunda 2000-2020 yılları arasındaki MODIS uydu görüntülerine NDVI analizi gerçekleştirmiştir. Yılmaz ve ark. (2021), Hatay'ın Belen ilçesinde 2020 yılında gerçekleşen yangın alanındaki yanma derecelerini GEE platformunda Sentinel-2A uydu görüntüleri ile NDVI, NBR ve dNBR yöntemlerini kullanarak belirlemiştir. Bunun yanında yanma şiddeti ile topografik etkenler arasındaki ilişki CBS tabanlı olarak irdelenmiştir.

Son zamanlarda UA çalışmalarında GEE platformunun yaygın kullanımı dikkat çekmektedir (Yılmaz ve ark., 2021). GEE platformu tüm yeryüzü için Landsat, Sentinel-2 ve MODIS gibi uydulara ait farklı çözünürlüklerdeki çeşitli verilere sahip olan ücretsiz bir bulut bilişim platformudur (URL-2). GEE yüksek hesaplama hızına sahiptir ve geniş bir alana kolaylıkla uygulanabilmektedir (Gorelick ve ark., 2017). GEE platformunda kodlar kullanılarak konumsal verilerin analizi ve işlenmesi mümkündür (Liu ve Duan, 2018; Sidhu ve ark., 2018).

Bu çalışmada GEE kullanarak yanan orman alanlarının hızlı bir şekilde belirlenmesi ve yangın şiddetine göre bölgelerin derecelendirilerek haritalanması amaçlanmıştır. Bu amaçla Hatay ili, Belen ilçesinde 16.07.2023 tarihinde çıkan orman yangını Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılarak incelenmiştir. Bu kapsamda GEE içerisinden temin edilen yangın öncesine ve yangın sonrasına ait Sentinel-2 uydu

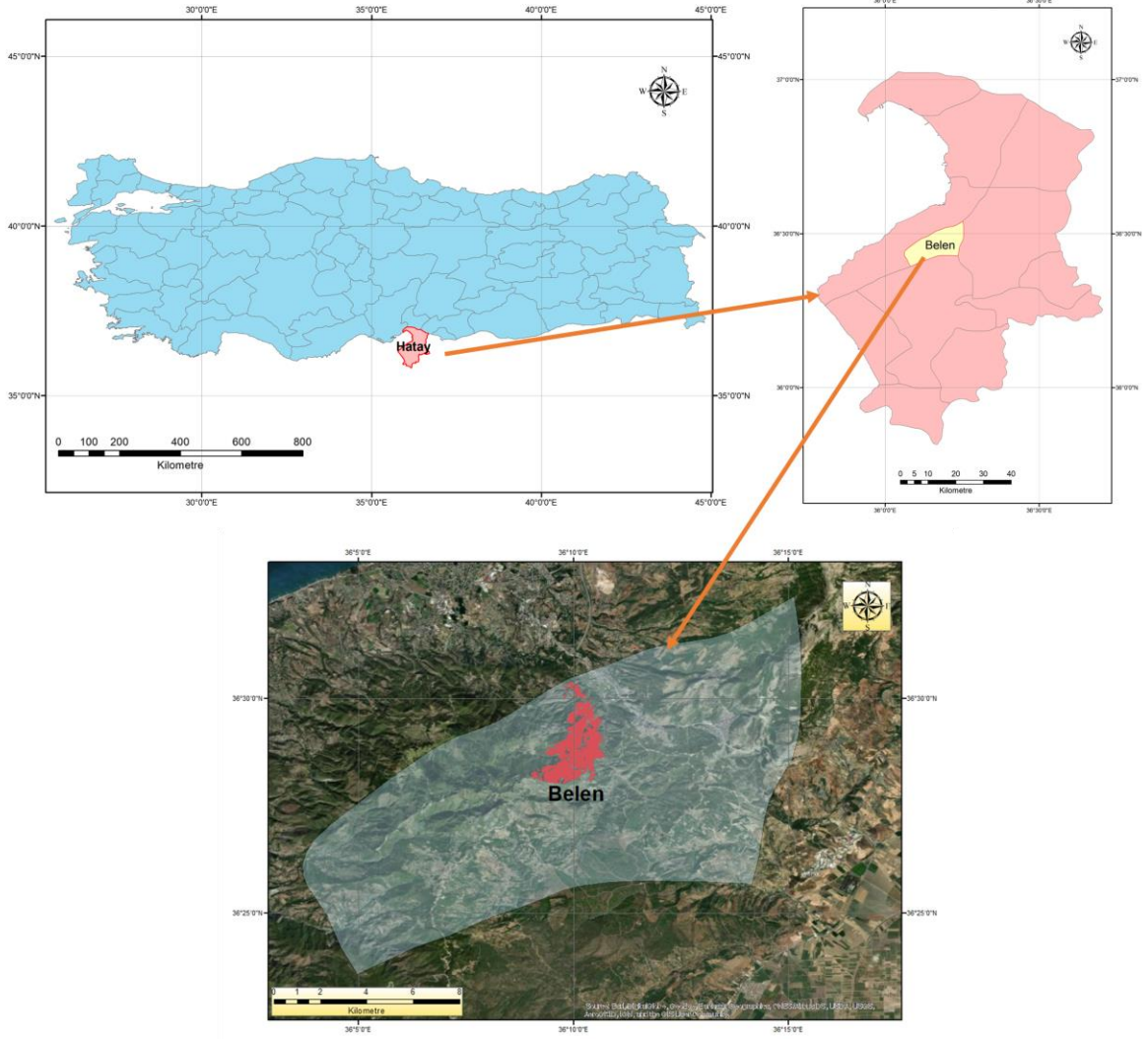
görüntüleri kullanılarak yangın bölgesine ait haritalar oluşturulmuştur. Yangın şiddetini belirlemek için yangın öncesi ve sonrasına ait görüntüler ile dNBR haritası oluşturulmuştur. Daha sonra yangın öncesi ve sonrasına ait görüntülere NDVI uygulanmış ve iki tane NDVI haritası elde edilmiştir. Elde edilen NDVI haritaları kullanılarak farklandırılmış dNDVI haritası oluşturulmuştur. Bölgedeki yanan alanın tespiti için iki farklı indeks uygulanmıştır. GEE platformunda uygulanan kod ile uydu görüntüsü indirilmeden bulut ortamında analizler gerçekleştirilmiştir. İki farklı indeks kullanılarak yanan orman alanları belirlenmiş, yangın derecelendirme haritaları CBS ortamında üretilmiş ve dNBR ile dNDVI sonuçları karşılaştırılmıştır.

2. Çalışma Alanı

Çalışma alanı Hatay ilinin Amanos Dağlarındaki tek ilçesi olan Belen ilçesidir. İlçenin yüzölçümü 184 kilometrekaredir. İlçenin doğusunda Kırıkhan, batısında Arsuz, kuzeyinde İskenderun ve güneyinde Antakya ilçeleri bulunmaktadır (Şekil 2). Topraklarının geneli dağlık alanlarda yer alan ilçede Akdeniz iklimi görülmekte; yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlı geçmektedir. 740 metre rakıma sahip olan Belen ilçesinin bitki örtüsünü makiler ve ormanlar oluşturmaktadır. Amanos Dağları'nın Amik Ovası ve Akdeniz kısmına bakan bölümlerinde 700 metreden 1200 metreye kadar ardıç, sedir, çınar, kızılçam ve karaçam ağaçlarından oluşan ormanlar bulunmaktadır (URL-3).

3. Materyal

Yanmış orman alanlarının belirlenmesinde GEE platformunun en çok kullanılan araçlardan biri olması, yüksek boyutlu depolamaya ihtiyaç duymaması ve hızlı analizlere imkân sağlaması gibi etkenlerden dolayı bu çalışmada GEE platformu kullanılmış ve yanan orman alanların belirlenmesine ve yanma şiddetinin tespitine odaklanılmıştır. Bu çalışmada yangın öncesi ve sonrasına ait uydu görüntüleri kullanılarak yangında tahrip olan alanlar ve yanma şiddetleri incelenmiştir. Yanma şiddetlerinin derecelendirilmesi ve haritalanması CBS ortamında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada GEE platformunda kullanılan Sentinel-2 uydu görüntülerine ait bantlar ve özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 2. Çalışma alanı

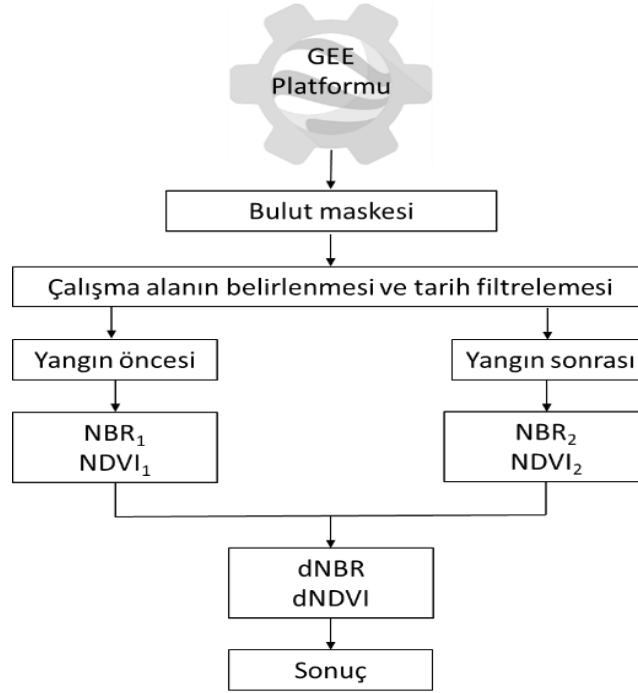
Tablo 1. Sentinel-2 uydusunun bant özellikleri (Kaplan ve Avdan, 2017)

Sentinel-2 Bandı	Merkezi dalga boyu (μm)	Çözünürlük (m)
Bant-1 Kıyı Aerosolü	0,433	60
Bant-2 Mavi	0,490	10
Bant-3 Yeşil	0,560	10
Bant-4 Kırmızı	0,665	10
Bant-5 Vejetasyon kırmızı kenar	0,705	20
Bant-6 Vejetasyon kırmızı kenar	0,740	20
Bant-7 Vejetasyon kırmızı kenar	0,783	20
Bant-8 NIR	0,842	10
Bant-8B Vejetasyon kırmızı kenar	0,865	20
Bant-9 Su buharı	0,945	60
Bant-10 SWIR - Cirrus	1,375	60
Bant-11 SWIR	1,610	20
Bant-12 SWIR	2,190	20

16 Temmuz 2023 tarihinde başlayan ve üç gün sonra kontrol altına alınabilen Belen yangınında tahrip olan alanları ve yanma şiddetlerini belirlemek için yangın öncesi 10-15 Temmuz 2023 ve yangın sonrası 24-29 Temmuz 2023 tarihleri arasında ait Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılmıştır.

4. Metot

Belen ilçesinde 16.07.2023 tarihinde çıkan orman yangının şiddetinin GEE platformunda farklı indeksler kullanılarak belirlenmesi amacıyla öncelikli olarak yangın öncesi ve sonrasına ait uydu görüntüleri için tarih aralıkları belirlenmiştir. Daha sonra Şekil 3'te gösterilen adımlar uygulanarak yangın sonrası yanan alan ve yanma şiddetleri tespit edilmiştir.



Şekil 3. Akış şeması

İlk olarak GEE platformu üzerinden çalışma alanı belirlenmiş ve çalışma alanını kapsayan Sentinel-2 uydu görüntüleri tespit edilmiştir. Belirlenen uydu görüntülerinde bulut filtrelemesi gerçekleştirilerek bulutluluk oranı %5'ten küçük olmasına dikkat edilmiştir. Yangın öncesi için 10-15 Temmuz 2023, yangın sonrası için ise 24-29 Temmuz 2023 tarihlerini kapsayan görüntüler GEE'ye aktarılmıştır. GEE platformunun kullanıcıya sağladığı önemli avantajlardan biri, uydu görüntüleri için radyometrik ve atmosferik düzeltmelerin gerçekleştirilmiş olması ve kullanıcının başka bir ek düzeltme işlemine ihtiyaç duymamasıdır. Bu sayede çalışmada Sentinel-2 verileri herhangi bir ek düzeltme işlemi uygulanmadan doğrudan kullanılmıştır.

UA uygulamalarında yeşil bitki örtüsünün belirlenmesinde, artış ve azalışının izlenmesinde en sık kullanılan indeks NDVI indeksidir (Sabuncu ve Özener, 2019). NDVI bitki indeksi 1974 yılında Rouse Jr ve ark. (1974) tarafından geliştirilmiştir (Rouse ve ark., 1974). Uydu görüntülerine Eşitlik 1 uygulanarak NDVI hesaplaması sonucunda görüntüdeki her bir piksel (-1) ile (+1) arasında değişen bir değer ile sonuçlanır (Arekhi ve ark., 2019). Bitki örtüsünün yoğun olduğu yerlerde NDVI +1'e yaklaşırken, bitki örtüsünün seyrek ve çıplak olduğu alanlarda NDVI değeri sıfıra yaklaşmaktadır. Kar, su ve bulut gibi farklı nesnelere NDVI değerleri ise -1'e yakındır (Hatfield ve ark., 1985). Bu çalışmada NDVI bitki indeksi (Eşitlik 1) yangın öncesi ve yangın sonrası Sentinel-2 görüntüleri için NDVI₁ ve

NDVI₂ olarak hesaplanmıştır. Burada NDVI₁ yangın öncesi, NDVI₂ yangın sonrası durumu ifade etmektedir.

$$NDVI = \frac{Bant\ 8 - Bant\ 4}{Bant\ 8 + Bant\ 4} \quad (1)$$

Orman yangınları sonrasında yanan alanların tespiti ve meydana gelen bitki örtüsü değişikliği için NDVI haricinde, uydu görüntüleri ile oluşturulmuş spektral indeksler kullanılmaktadır. Yanan orman alanlarının belirlenmesinde NBR indeksinin literatürde sıklıkla kullanıldığı görülmektedir (Cavdaroğlu, 2021; Sabuncu ve Özener, 2019; Konkathi ve Shetty, 2021; Gürbüz, 2022; Aksoy ve Çabuk, 2018). NBR indeksi (Eşitlik 2), ormanlık alanlara ait yangın öncesi ve sonrasına ait görüntüler arasındaki değişikliği saptamak için Bant 8 (NIR) ve Bant 12 (SWIR) değerlerini kullanmaktadır (Key ve Benson, 2005). NBR'den elde edilen sonuçlar -1 ve +1 arasında değerler alır.

$$NBR = \frac{Bant\ 8 - Bant\ 12}{Bant\ 8 + Bant\ 12} \quad (2)$$

Belirlenen tarih aralıklarına göre yangın öncesi ve sonrasına ait Sentinel-2 görüntüleri ile NBR1 ve NBR2 hesaplanmıştır. Burada NBR1 yangın öncesi ve NBR2 yangın sonrası durumu ifade etmektedir. Orman yanma şiddeti haritalarının tespitinde yaygın olarak kullanılan dNBR, Miller ve Thode (2007) tarafından geliştirilmiş ve yapılan çalışmada bitki örtüsünde meydana gelen yanma şiddeti sınıflandırılmıştır. dNBR, yangın öncesi ve sonrası NBR indekslerinin çıkarılması sonucunda elde edilmektedir (Miller ve Thode, 2007).

Sentinel uydu görüntülerine farklı indekslerin uygulanması ile elde edilen dNDVI ve dNBR analiz sonuçları CBS ortamına aktarılmıştır. Görüntülerdeki her bir pikselin sahip olduğu değer ve USGS FIREMON (Fire Effects Monitoring And Inventory Protocol) tarafından bir bölgedeki yanma şiddetini tanımlamak üzere belirlenmiş eşik değerler kullanılarak görüntüler sınıflandırılmıştır (Tablo 2). Sınıflandırma sonucunda yanma şiddeti haritaları oluşturulmuştur (Lutes ve ark., 2006).

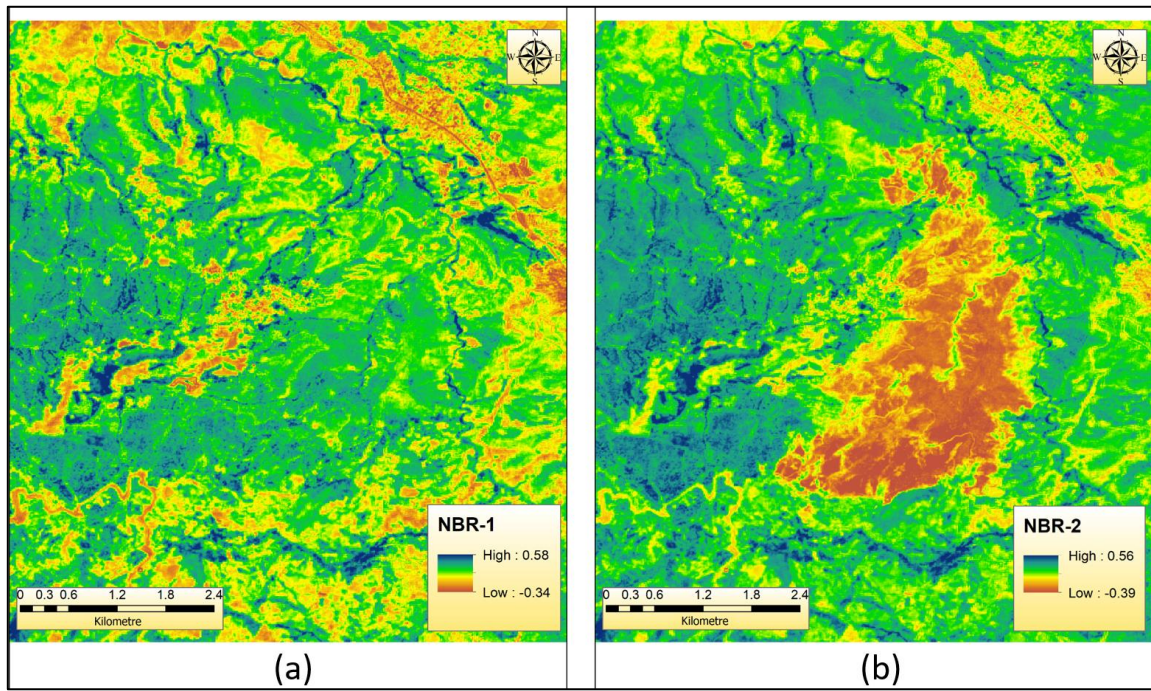
Tablo 2. Yanma şiddeti sınıflarının eşik değer değerleri (Lutes ve ark., 2006)

Sıra No	Eşik Değeri	Yanma Şiddeti Sınıfı
1	-0,50 ile -0,25	Yüksek seviyede yeniden yeşillenme
2	-0,25 ile -0,1	Düşük seviyede yeniden yeşillenme
3	-0,1 ile 0,1	Yanmamış alan
4	0,1 ile 0,27	Düşük şiddetli yanma
5	0,27 ile 0,44	Orta-düşük şiddetli yanma
6	0,44 ile 0,66	Orta-yüksek şiddetli yanma
7	0,66 ile 1,30	Yüksek şiddetli yanma

Elde edilen yanma şiddeti haritalarında her bir sınıfa ait piksel sayısı belirlenmiş. Daha sonra piksel sayıları kullanılarak her bir sınıfa ait alanlar hesaplanarak toplam yanan alan hesaplanmıştır.

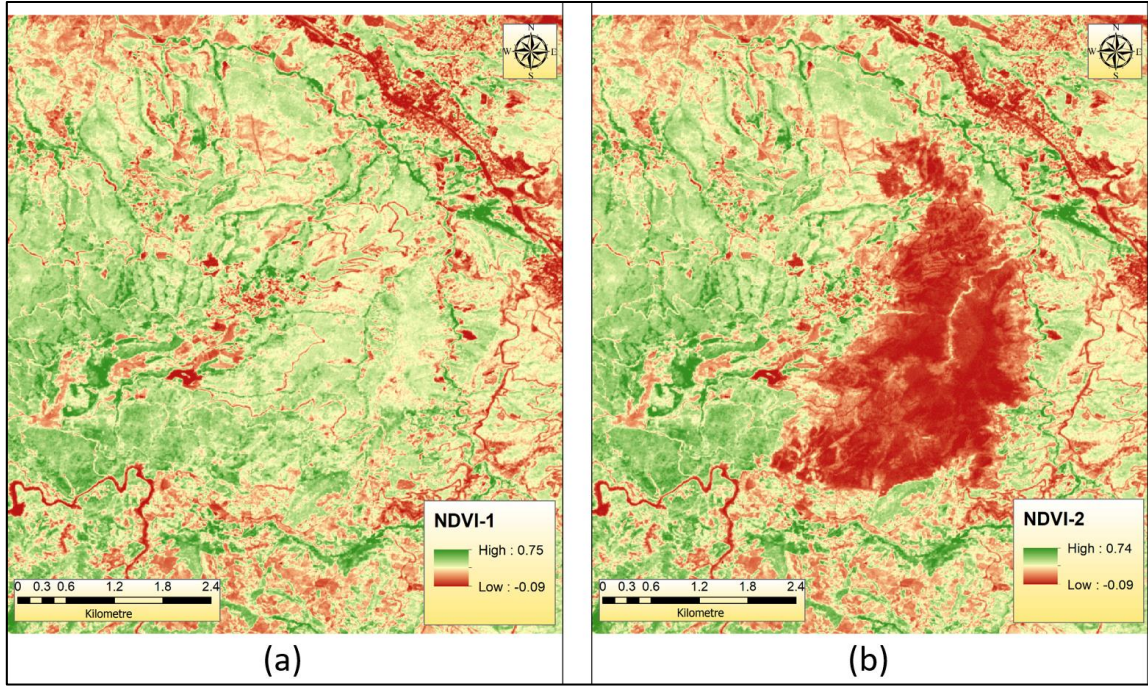
5. Bulgular

Yangından sonra bitkilerde meydana gelen kimyasal değişiklik bitkilerin spektral yansımalarını değiştirmektedir. Sağlıklı bitkilerdeki klorofile duyarlı NIR bandı ile bitki içeriğindeki ve topraktaki su içeriğine, oksitler ve kil gibi minerallere hassas SWIR-2 bandının matematiksel bağıntısı sonucu elde edilen NBR indeksi yanmış alanlarda oluşan kimyasal değişikliğe karşı duyarlıdır (Lutes ve ark., 2006; Yılmaz ve ark., 2021). NBR indeksinin uygulanması sonucunda görüntüdeki her bir piksel -1 ve +1 arasında değer almaktadır. +1 değeri sağlıklı bitki örtüsünü, -1 değeri ise çıplak zemini ve yakın zamanda yanmış alanları temsil etmektedir. Bitki örtüsündeki zararı belirlemek için GEE platformunda uydu görüntülerine NBR indeksi uygulanmış; yangın öncesi ve yangın sonrasına ait sonuçlar elde edilmiştir (şekil 4).



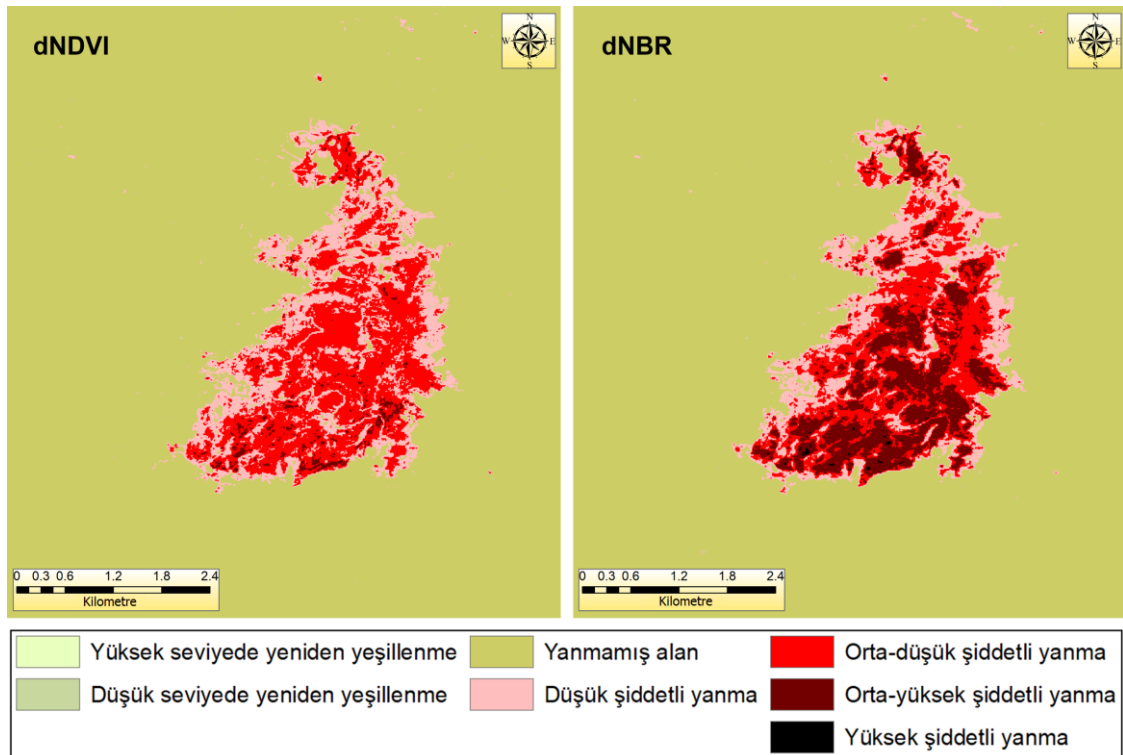
şekil 4. Yangın öncesine (a) ve yangın sonrasına (b) ait NBR indeksi uygulaması

Uydu görüntülerine ait yakın kızıl ötesi ve kırmızı bantların matematiksel bir oranla ifade edilmesi ile elde edilen NDVI, bitki örtüsünün izlenmesinde kullanılmaktadır. NDVI indeksi uygulaması sonucunda elde edilen görüntüde pikseller -1 ile +1 arasında değerler alır. Klorofil açısından zengin bitkilere ait değer +1'e yaklaşırken, klorofil bakımından zayıf ya da l bitkilere ait değer -1'e yaklaşmaktadır. Çalışma alanındaki yanmış alanı belirlemek için GEE platformunda yangın öncesi ve yangın sonrasına ait uydu görüntülerine NDVI indeksi uygulanmış ve sonuçlar elde edilmiştir (şekil 5).



Şekil 5. Yangın öncesi (a) ve yangın sonrasına (b) ait NDVI indeksi uygulaması

Yangın öncesi ve sonrasına ait NBR ve NDVI analiz sonuçları kullanılarak dNBR ve dNDVI görüntüleri GEE platformunda oluşturulmuştur. Oluşturulan görüntüler CBS ortamına aktarılarak her bir pikselin almış olduğu değere göre sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiş ve orman yangınının yanma şiddeti haritaları farklı indeksler kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 6).



Şekil 6. Çalışma alanının farklı indeksler kullanılarak oluşturulan yanma şiddeti haritaları

CBS ortamında oluşturulan sınıflandırılmış görüntüler üzerinden her bir sınıfa ait alan değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan alanlardan yanan alanlara ait veriler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Toplam yanan alanlar

Sınıf	dNDVI(ha)	dNBR(ha)
Düşük şiddetli yanma	363,62	276,32
Orta-düşük şiddetli yanma	422,32	318,96
Orta-yüksek şiddetli yanma	25,10	228,59
Yüksek şiddetli yanma	0,00	2,15

6. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında 2023 yılı Temmuz ayında Hatay'ın Belen ilçesinde meydana gelen orman yangını alanı çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Sentinel 2 uydu görüntüleri ile GEE ve CBS platformları kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Literatürde orman yangını şiddetinin belirlenmesini konu alan çalışmalarda NDVI ve NBR indeksleri sıklıkla kullanıldığı ve başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür (Çavdaroglu, 2021; Konkathi ve Shetty, 2021; Yılmaz ve ark., 2021; Gürbüz, 2022). Bu çalışmada Orman yangını şiddetinin belirlenmesinde bu iki indeks kullanılarak oluşturulan dNDVI ve dNBR yardımıyla orman yanma şiddeti haritalar oluşturulmuştur. Bu indekslerin yanmış alanların belirlenmesindeki karşılaştırılması vurgulanmıştır. Ayrıca, GEE platformunda yazılan kod ile uydu görüntülerini indirme ve görüntülere düzeltme yapıma gereksinimi duymadan platform ortamında çok daha kolay ve hızlı işlenebildiği gösterilmiştir.

Orman yangını sonrası bilgiye ulaşmak için 10 m mekânsal çözünürlüğe sahip Sentinel-2 görüntüleri oldukça kullanışlıdır. Geliştirilen indekslerin kullanımı ile yanmış orman alanlarının tespiti ve yanma şiddetlerinin belirlenmesine dair bulunan sonuçlar hızlı bir şekilde elde edilmektedir. Bu çalışmada gerçekleştirilen NBR indeksi uygulaması sonucunda yangından zarar gören bitki örtüsünün yangın sonrası negatif değer aldığı tespit edilmiştir ve haritada kırmızı olarak renklendirilmiştir. Bitki örtüsündeki zararın şiddetini belirlemek için yangın öncesi ve yangın sonrası NBR indeksi farkı olan dNBR haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan haritadan yangın alanında orta-düşük şiddetli ve orta-yüksek şiddetli yanma meydana gelen alanların ağırlıklı olduğu tespit edilmiştir. NDVI indeksi uygulaması sonucunda sağlıklı bitki örtüsünün yangın sonrasında klorofil bakımından zayıf ya da ölü bitkilere ait değer olan negatif değer aldığı görülmektedir. Yangın sonrası klorofil bakımından zayıf ya da ölü bitkilere ait alanlar haritada kırmızı ile gösterilmiştir. Bitki örtüsündeki zararın şiddetini belirlemek için yangın öncesi ve yangın sonrası NDVI indeksi farkı olan dNDVI haritası oluşturulmuş, oluşturulan haritadan yangın alanının büyük miktarında orta-düşük şiddetli yanma meydana geldiği tespit edilmiştir.

Çalışma alanındaki yangın sonucu, dNDVI ve dNBR indeksleri ile oluşturulan yanma şiddeti haritalarına göre toplam yanan alan sırasıyla 811,04 ha ve 826,02 ha olduğu tespit edilmiştir. Toplam yanan alanlarda, dNDVI sonuçlarına göre yanan alanın %44,83'ü düşük şiddetli, %52,07'si orta-düşük

şiddetli, % 3,09'u orta-yüksek şiddetli yanmış alan, yüksek şiddetli yanmış alan ise sıfır olarak hesaplanmıştır. dNBR sonucuna göre yanma şiddetlerinin toplam yanan alandaki dağılımı ise %33,45'i düşük şiddetli, %38,61'i orta-düşük şiddetli, %27,67'si orta-yüksek şiddetli ve %0,26'sı yüksek şiddetli yanma olarak hesaplanmıştır. dNDVI ve dNBR ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde toplam yanan alan miktarlarının birbirine yakın olmakla birlikte, farklı yanma şiddetlerine ait alanlarda farklılıklar olduğu tespit edilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağladıklarını beyan eder.

Kaynakça

- Aksoy T., Çabuk A. Orman yangını sonrası uzaktan algılama yöntemleri ile yangın şiddetinin tespiti İzmir Menderes orman yangını örnekleme. Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi, 23-25 Kasım 2018, sayfa no:1221-1226, Kocaeli.
- Arekhi M., Goksel C., Balik Sanli F., Senel G. Comparative evaluation of the spectral and spatial consistency of Sentinel-2 and Landsat-8 OLI data for Igneada Longos Forest. ISPRS International Journal of Geo-Information 2019; 8(2): 56-69.
- Cavdaroglu GC. Google Earth Engine based approach for finding fire locations and burned areas in Muğla, Turkey. American Journal of Remote Sensing 2021; 9(2): 72-77.
- Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment 2017; 202: 18-27.
- Gürbüz E. Uzaktan algılama ile yangın şiddeti belirlenmesinde farklı indekslerin karşılaştırılması. Harita Dergisi 2023;170: 8-22.
- Gürbüz E. Google Earth Engine ile yangın tahribatının ve sonrası iyileştirme süreçlerinin izlenmesi. VIII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu, 17-19 Kasım 2022, sayfa no: 335-341, Ankara.
- Güzel A., Bıçaklı K., Bıçaklı F., Kaplan G. Monitoring the regeneration process of areas destroyed by forest fires aided by Google Earth Engine. Kastamonu University Journal of Forestry Faculty 2021; 21(2): 122-130.
- Hatfield JL., Kanemasu ET., Asrar G., Jackson RD., Pinter PJ Jr., Reginato RJ., Id SB. Leaf area estimates from spectral measurements over various planting dates of wheat. International Journal of Remote Sensing 1985; 6(1): 67-75.
- Kaplan G., Avdan U. Object-based water body extraction model using Sentinel-2 satellite imagery. European Journal of Remote Sensing 2017; 50(1): 137-143.

- Keenan RJ., Reams GA., Achard F., de Freitas JV., Grainger A., Lindquist E. Dynamics of global forest area: Results from the FAO global forest resources assessment 2015. *Forest Ecology and Management* 2015; 352: 9-20.
- Key CH., Benson NC. Landscape assessment: remote sensing of severity, the normalized burn ratio and ground measure of severity, the composite burn index. FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system Ogden, Utah: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station; 2005.
- Konkathi P., Shetty A. Inter comparison of post-fire burn severity indices of Landsat-8 and Sentinel-2 imagery using Google Earth Engine. *Earth Science Informatics* 2021; 14: 645-653.
- Liu J., Duan Z. Quantitative assessment of landslide susceptibility comparing statistical index, index of entropy, and weights of evidence in the Shangnan area. China. *Entropy* 2018; 20(11): 868-890.
- Lutes DC., Keane RE., Caratti JF., Key CH., Benson NC., Sutherland S., Gangi LJ. Firemon: Fire effects monitoring and inventory system. technical report RMRS-GTR-164-CD. US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station: Fort Collins, CO, USA, 2006.
- McKinley DC., Ryan MG., Birdsey RA., Giardina CP., Harmon ME., Heath LS., Houghton RA., Jackson RB., Morrison JF., Murray CB., Pataki DE., Skog KE. A synthesis of current knowledge on forests and carbon storage in the United States. *Ecological Applications* 2011; 21(6): 1902-1924.
- Miller JD., Thode AE. Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta normalized burn ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment* 2007; 109(1): 66–80.
- Mollicone D., Eva HD., Achard F. Human role in Russian wild fires. *Nature* 2006; 440(7083) : 436-437.
- Oğuz K., Oğuz E., Çamalan, G. İzmir-Tirazlı orman yangınının uydu ve model verileri ile analizi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi* 2021; 4(1): 1-12.
- Rouse JW., Haas RH., Schell JA., Deering DW. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Technology Satellite-1 Symposium*, 10-14 December 1974, page: 309-351, Washington.
- Sabancı A., Özener H. Uzaktan algılama teknikleri ile yanmış alanların tespiti: İzmir Seferihisar orman yangını örneği. *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi* 2019; 5(2): 317-326.
- Sidhu N., Pebesma E., Câmara G. Using Google Earth Engine to detect land cover change: Singapore as a use case. *European Journal of Remote Sensing* 2018; 51(1): 486-500.
- URL-1 <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane/resmi-istatistikler> (Erişim tarihi: 15.11.2023)
- URL-2 <https://earthengine.google.com/> (Erişim tarihi: 20.11.2023)
- URL-3 <https://tr.wikipedia.org/wiki/Belen> (Erişim tarihi: 11.10.2023)
- Yılmaz OS., Oruç MS., Ateş AM., Gülgen F. Orman yangın şiddetinin Google Earth Engine ve Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanarak analizi: Hatay-Belen örneği. *Journal of the Institute of Science and Technology* 2021; 11(2): 1519-1532.

Environmental Benefits of Extensive Poultry Farming in Serbia

Milena MILOJEVIĆ^{1*}, Goran STANIŠIĆ², Suzana KNEŽEVIĆ³

^{1,2,3}Academy of Applied Studies Šabac, Unit for Agricultural and Business Studies and Tourism, 15000, Šabac, Serbia

¹<https://orcid.org/0000-0002-7983-8169>

²<https://orcid.org/0000-0001-8584-287X>

³<https://orcid.org/0000-0002-7983-8169>

*Corresponding author: milenaminka23@gmail.com

Research Article

Article History:

Received: 09.03.2023

Accepted: 29.10.2023

Published online: 11.03.2024

Keywords:

Ecological benefits

Extensive poultry farming

Serbia

ABSTRACT

Poultry meat and eggs are in constant high demand and highly ranked products on the world food market. This particularly applies to poultry products obtained through extensive farming in accordance with the principles of organic production. In Serbia, despite its great potential, this type of poultry farming is insufficiently applied. The standards for organic food are very strict and their implementation in poultry farming is demanding. The process of obtaining a certificate of organic products is carried out by authorized certification organizations according to valid national and international legislation. The aim of this article is to point out the ecological benefits of extensive poultry farming in Serbia.

Sırbistan'da Kapsamlı Kümes Hayvancılığının Çevresel Faydaları

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 09.03.2023

Kabul tarihi: 29.10.2023

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Ekolojik faydalar

Kapsamlı kümes hayvancılığı

Sırbistan

ÖZ

Kanatlı eti ve yumurta, dünya gıda pazarında aranan ve üst sıralarda yer alan ürünlerdir. Bu, özellikle organik üretim ilkelerine uygun olarak kapsamlı çiftçilik yoluyla elde edilen kümes hayvanı ürünleri için geçerlidir. Sırbistan'da, büyük potansiyeline rağmen, bu tür kümes hayvancılığı yetersiz uygulanmaktadır. Organik gıda standartları çok katıdır ve bunların kümes hayvancılığına uygulanması talepkardır. Organik ürünlerin belgelendirme süreci, geçerli ulusal ve uluslararası mevzuata göre yetkili belgelendirme kuruluşları tarafından yürütülmektedir. Bu makalenin amacı, Sırbistan'daki kapsamlı kümes hayvancılığının ekolojik faydalarına dikkat çekmektir.

To Cite: Milojević M., Stanišić G., Knežević S. Environmental Benefits of Extensive Poultry Farming in Serbia. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(2): 720-728.

1. Introduction

Poultry production is a branch of livestock production, which is of great importance for the economic growth of many countries. Poultry production makes it possible to produce, in a relatively short time, large quantities of high-quality products such as: eggs, meat, then feathers, fertilizer and other products obtained during the slaughtering and processing of carcasses, which increases the profitability of this branch of livestock breeding. Poultry production is very important in order to supply the population with high-quality food items and in this way it solves the population's nutrition

problem to a large extent. The competitiveness and importance of poultry production in our country, and also in some countries around the world, are truly impressive in relation to other branches of livestock production, and in terms of rank, it comes right behind cattle and pig farming. Thanks to the biological characteristics of poultry, it is possible to obtain large quantities of meat and eggs in a very short period of time. Here, we are referring to the high reproductive capacity of poultry, rapid growth, short generation interval, as well as a high degree of food utilization.

To improve growth performance, and the quality of poultry meat and eggs (the production of natural (ecological food, reduction in the costs of the production, and environmental protection), a return to the natural i.e. free (open) production system (free range) is increasingly being advocated. Also, organic plant and livestock production i.e. biopharming is mentioned very often. In this case, all types of poultry would have a significant place, and in the first place, geese, whose production is relatively small in the total number of all types of poultry. In particular, the modern tendencies of the development of self-sustainable agriculture, including self-sustainable poultry farming, especially in the context of the production of natural, ecological-biological food, and the protection of the natural environment, reaffirm the use of different types of poultry, primarily geese and ducks (Mitrović and Đekić, 2013).

This is supported by the fact that chickens are the basis of industrial poultry farming, and in contrast, geese are mostly raised semi-intensively or even extensively. They are not so demanding in terms of growth conditions, especially when it comes to nutrition and housing. Geese are primarily raised for meat, then feathers, fat, quality liver and eggs. Small family farms lead the way in production or they are grown within the homestead. Modern geese farms are rare, not only in our country and surroundings but also in the world (Milošević and Perić, 2011). Geese are mostly raised on private farms, and the keeping system is semi-intensive or semi-extensive, but very rarely intensive.

Many developing countries now recognize the importance of livestock in integrated production systems to provide the sustainable increases in food necessary to feed their rapidly expanding populations. Geese fit well into such systems and are especially well adapted to the humid tropics. They can provide meat and eggs from natural grazing and seem to be more resistant to diseases than other avian species. Yet, even given these advantages, geese have remained a neglected species (Hugo, 1995).

Shi et al. (2008) emphasize that depending on the geographical latitude, there are three groups of geese that are adapted to the given climatic conditions of the respective region, which is why they differ in terms of the duration and time period of the egg production season. For the geese that inhabit temperature zones of higher latitude (400 to 450 latitude) the reproduction season, i.e. the egg-laying period, usually lasts from spring to mid-summer, which is also characteristic of our region. At this period (season), geese reach their maximum reproductive performance. The second group, or type, includes geese that inhabit temperate regions of middle latitude (300 to 400 latitude), whose reproduction season begins in autumn and ends the following spring (or early summer), while the third

type consists of geese that breed in short days, live in subtropical areas (200 to 250 latitude) and breed from late summer to the following spring.

Previous research indicates that climate change is significantly influenced by the breeding of domestic animals. One of the reports of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (Food and Agriculture Organization – FAO) indicates that domestic animals produce as much as 18% of harmful greenhouse gases (GHG), which is greater than the amount created by the transport sector. Figures are made using a methodology that takes into account the entire product chain, starting from the cultivation and production of animal feed to the placement of animal products on the market (Marković, 2020).

Climate change decreases the availability of water as an agricultural resource, causes frequent weather disasters, and increases the number of pests. These harms agricultural yields in plant production, but also on the extensive breeding of poultry - especially geese.

Having in mind that geese, compared to other types of poultry, are raised significantly less, it is justified that the literature related to the raising, reproduction and fattening of geese is relatively scarce. In essence, all types of poultry have quite similar physiological, morphological, reproductive and even production characteristics (Milojević, 2019).

Geese are a modest species in terms of breeding conditions and enter breeding relatively late. These birds are characterized by the lowest production of eggs during the season, lower fertility and lower degree of hatchability than any other species of poultry. The productive and reproductive abilities of geese are dependent on genetic and numerous non-genetic factors (Djermanovic et al., 2021).

Waterfowl are the species most suitable to integrated farming systems since they can be used for weed and pest control in many crops as they relish grasses and shun most broad-leaved plants.

Most geese are grazing herbivores and are adapted to exploiting short, high-quality grass swards with relatively low fibre and high digestibility (Fox et al., 2017). Hence, the revolution in grass sward management that has been manifested in the last 50 years has also brought enormous benefits to geese. Grass biomass and quality (especially protein content, although this generally correlates with high-energy digestibility) are easily enhanced by inorganic fertilizer applications which are now a permanent feature of modern agriculture throughout North America and Europe (Fox and Abraham, 2017).

Geese are particularly well suited to such systems. Mature geese are independent, larger than other poultry species and thus less vulnerable to predators. When kept in small flocks and allowed to roam the farmyard or field, they are adept scavengers, requiring less attention than any other domestic bird. Geese adapt easily to captivity, and if small quantities of supplementary feed are provided in the evening they will even return home by themselves. Thus, requiring little extra work, these animals supply nutritious meat, huge eggs and rich fat for cooking, as well as soft down and feathers for bedding and clothing, which makes them particularly appropriate for providing farmers with a supplementary income.

Geese are among the fastest-growing avian species commonly raised for meat. Goose meat is fatter than other poultry meats, but it is well accepted by many local populations (Smith, 1990).

2. Materials and Methods

50 eggs were incubated during every egg production season (February – July; 50 eggs x 6 months = 300 eggs) on a .mini-farm in the Municipality of Bogatic in the Macva region. There were an appropriate number of housing facilities on the farm, where the geese stayed at night and during bad weather conditions. However, the gees spent most of their time in the free space – pasture, which was in abundance. The geese were fed supplementary meal, mainly composed of grains and green mass (Figure 1). The geese were fed hay, which is usually a mixture of Italian ryegrass and white clover, while the silage is from the whole corn plant with the cob. Each year, seasonally egg-laying geese are rarely left to naturally lay on the eggs, because they are incubated and quality and healthy goslings are hatched from them.



Figure 1. Feeding the geese with grains and green mass (Source: photo – Milojević M.)

A total of 300 eggs was used as initial sample material (50 eggs each month during the laying cycle of geese). The eggs were randomly selected, and they were successively incubated during the laying season from February to June.

3. Results

Fertilization of eggs and viability of goslings obtained from the number of laid eggs, that is, fertilized eggs, are shown in Table 1.

Table 1. Fertility and viability of eggs during the laying season in 2021

Indicators	February	March	April	May	June	July	total
Number of incubated eggs	50	50	50	50	50	50	300
Average values of egg mass	178.90	174.55	172.49	168.72	165.39	161.82	170.31
Number of fertile eggs	44	45	47	44	43	42	265
Percent of fertile eggs [%]	88.00	90.00	94.00	88.00	86.00	84.00	88.33
Number of unfertile eggs	6	5	3	6	7	8	35
Percent of unfertile eggs [%]	12.00	10.00	6.00	12.00	14.00	16.00	11.67
Eggs with dead embryos	5	5	3	4	5	6	28
*PJ1 [%]	10.00	10.00	6.00	8.00	10.00	12.00	9.33
*PJ2 * [%]	11.36	11.11	6.38	9.09	11.63	14.28	10.64
Gosling hatched	40	43	41	39	38	36	237
*PIG1 [%]	80.00	86.00	82.00	78.00	76.00	72.00	79.00
*PIG2[%]	90.91	95.56	87.23	88.64	88.70	85.71	89.40

* Note:

PJ1 -% eggs with dead embryos from incubated eggs

PJ2 - % eggs with dead embryos from fertilized eggs

PIG1- % gosling hatched from incubated eggs

PIG2- % gosling hatched from fertilized eggs

4. Discussion

The data from Table 1 revealed that the eggs from the Italian white goose had solid incubation values, especially in terms of gosling viability, the number of incubated eggs, and the number of fertile eggs.

Egg fertility was lowest at the end of the egg-laying season. Egg fertility was lowest in the warmest month, 84.00% (July), and 90.00% was in April, i.e. 88.33% for the whole season. Information regarding the viability of goslings from the number of eggs laid can be seen in Table 1 i.e. fertility, was the highest in March at 86.00%, and the lowest in June at 72%. While the highest percentage of hatched goslings from the number of fertile eggs was 95.56 in March, the lowest percentage was 85.71% in July. On average, for the whole season of 6 months, the viability was 79.00% of the invested and 89.40% of the fertile eggs.

The data show that the stages of the production cycle influenced the reduction of the average mass of incubated eggs. The largest mass was in the first month (February) of egg production (178.90), and the smallest was at the end of the season, i.e. in the 6th (July) month (161.82). The average weight of all incubated eggs was 170.31.

Out of the total number of eggs incubated, 237 healthy and vital goslings hatched, with the lowest number of goslings hatched in July.

Looking at Table 1, you can see that the eggs incubated in March showed better incubation results, compared to the others, i.e. they had a higher percentage of fertility, also, a higher percentage of goslings laid from the total number of incubated and fertile eggs, and therefore lower embryo mortality during the incubation period.

As support to the above mentioned is the statement of the author Von Luttiz (2000), Shi et al., (2008) who emphasize that the reproductive characteristics of geese, i.e. the productivity and incubation values of eggs, are influenced by the egg-laying season during the year and the geographical latitude where geese exist. All of this is related to the photoperiod as well as the length of the day in the particular region.

Bednarczyk and Rosiński (1999) found that in both strains of Italian white geese (WD1 and WD3), the highest viability of goslings from fertile eggs at the beginning of the egg-laying season was 84.2% (WD1) and 80.00% (WD3), however, gradually decreased until July (60.5% and 56.9% respectively). Shi et al., (2008) stated that all breeds of geese reared in the natural habitat can be classified, into three types (groups) based on based on their geographical latitude. In these three types of geese, different seasons, i.e. annual changes in photoperiod (length of light day) affect the secretion of gonadotropin and prolactin, and therefore egg production.

Boz et al., (2017) stated that natural incubation compared to artificial incubation resulted in heavier goslings with male goslings being heavier than females. The average weight of a day-old gosling after natural incubation was 94.91g for males, 92.30g for females, and an average of 93.42g for both sexes. However, after artificial incubation, it was observed to be 93.22g for males, 86.36g for females, and an average of 89.93g for both sexes.

When feeding geese, one should have in mind that their digestive tract of geese is capable of digesting cellulose from most plants so that they can be fed a mixture of pasture plants with a slight supplement, which is not the case in the winter feeding period (Labatut, 2002).

To improve the environmental sustainability of livestock systems, including poultry production, the first requirement is to have a systematic tool which can quantify holistically the level of environmental impacts arising from the production, and then identify the potential target areas for environmental improvement (Leinonen and Kyriazakis, 2016).

Extensively raised geese fulfill the requirements of organic livestock production – they have room to move around, spend a certain part of their time outside, and eat food that must be of organic origin. The ecological benefits of farming are reflected in nutritionally richer and better quality eggs and meat (benefit for human health), as well as the preservation of autochthonous species (biodiversity preservation).

Other experimental studies, even if not specifically carried out on chickens, can contribute to increasing knowledge on the possible uses of poultry in association with other agricultural productions; in particular, some trials, carried out with laying hens or geese, highlighted the importance of the interaction of the animal and the environment in the well-being and quality of

products. Different studies (Mugnai et al., 2009; Mugnai et al., 2014; Mancinelli et al., 2018; Massaccesi et al., 2019) examined the effect of husbandry systems (control, organic, and organic plus, consisting of the use of local breeds with 10 m² pasture/head) and season on the grass intake and egg quality in laying hens. The results showed that grass intake was largely affected by the husbandry system and highlighted the seasonal effect of grass availability on the nutritional quality of eggs (Dal Bosco et al., 2021).

To encourage producers to extensively breed geese, the government must recognize goose production as a good source of meat and provides subsidies for organic poultry production, especially for the production for geese, since there are no incentives for organic livestock production in the Rulebook. It is necessary to have a certificate issued only by authorized control organizations for easier marketing of products that are treated as organic and ecological. The certificate confirms that the product was produced in accordance with the Law on Organic Production and obtained according to the Rulebook on Control and Certification in Organic Production and Organic Production Methods.

5. Conclusions

Based on findings in this study, it can be concluded that the private (family) farm worked very well, because the incubation rates of the analyzed goose eggs were at a satisfactory level, especially in terms of the viability of goslings out of the number of fertile eggs (about 89.40%). In addition, eggs incubated in February had slightly worse incubation values (fertilization and viability) than eggs incubated in March. This means that incubation values, as well as the characteristics of eggs (especially mass) and hatched goslings, are changeable during the laying season. Because of this, special attention should be given to the extensive system of goose production, to produce as many eggs as possible per goose, i.e. hatched goslings (final product).

Based on the results obtained from this study, it can be concluded that egg weight directly or indirectly affects the quality of hatched goslings. The characteristics of the eggs and hatched goslings are correlated. For this reason, necessary attention should be given to the selected fertile eggs before incubation. This study and other related studies should be a point of reference to produce many eggs per goose as well as to hatch a higher number of high-quality goslings (final product).

The extensive production of geese attracts environmentally conscious consumers, who increasingly use organic products of domestic origin in their nutrition, so extensive production of geese should be given more attention in the poultry industry.

This further underlines the need to strategically manage goose populations around the world to comprehensively take account of the diverse effects of global change, land use, economic, biodiversity and hunting interests as they happen, to safeguard their future well-being.

Statement of Conflict of Interest

The authors have declared no conflict of interest.

Author's Contributions

The contribution of the authors is equal.

Reference

- Bednarczyk M., Rosiński A. Comparison of egg hatchability and in vitro survival of goose embryos of various origins. *Poultry Science* 1999; 78: 579-585.
- Boz A., Sarica M., Yamak U. Production traits of artificially and naturally hatched geese in intensive and free-range systems: I. Growth traits. *British Poultry Science* 2017; 58(2): 132-138.
- Dal Bosco A., Mattioli S., Cartoni Mancinelli A., Cotozzolo E., Castellini C. Extensive rearing systems in poultry production: The right chicken for the right farming system. A review of twenty years of scientific research in Perugia University, Italy. *Animals (Basel)*. 2021; 11(5): 1281.
- Fox AD., Abraham KF. Why geese benefit from the transition from natural vegetation to agriculture. *Ambio* 2017; 46 (Suppl 2): 188–197.
- Fox AD., Elmerberg J., Tombre I., Hessel R. Agriculture and herbivorous waterfowl: A review of the scientific basis for improved management. *Biological Reviews* 2017. doi:10.1111/brv.12258.
- Hugo Susanne. Geese: the underestimated species". Rearing unconventional livestock species: a flourishing activity. *World Animal Review* 1995; 85. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Labatut M. Goose production in Chile and South America, in: Buckland R., Guy G. (Eds) *Goose Production*, FAO Animal Production and Health Paper 2002; 154(2): 93-110 (Rome, Italy Publishing Management Service, FAO)
- Leinonen I., Kyriazakis I. How can we improve the environmental sustainability of poultry production? *Proceedings of the Nutrition Society* 2016; 75(3): 265-273.
- Mancinelli AC., Mattioli S., Dal Bosco A., Piottoli L., Ranucci D., Branciarri R., Cotozzolo E., Castellini C. Rearing Romagnola geese in vineyard: Pasture and antioxidant intake, performance, carcass and meat quality. *Ital. J. Anim. Sci.* 2019; 18: 372–380.
- Marković J. Klimatske Promene - Izazovi Za Poljoprivredu. *Knowledge-International Journal* 2020; 43(3): 489-495. <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=954521>
- Massaccesi L., Mancinelli A.C., Mattioli S., De Feudis M., Castellini C., Dal Bosco A., Marongiu ML., Agnelli A. Geese reared in vineyard: Soil, Grass and Animals Interaction. *Animals*. 2019; 9: 179.
- Milojević M. Uticaj starosti gusaka i faze produktivnog ciklusa na inkubacione osobine jaja i kvalitet izležених гушчица ,2019; Univerzitet u Beogradu - Poljoprivredni fakultet.
- Milošević N., Perić Lidija. Tehnologija živinarske proizvodnje, 2011. Poljoprivredni fakultet Novi Sad, Univerzitet u Novom Sadu.

- Mitrović S., Đekić Vera. *Organska živilarska proizvodnja*. (Monografija) 2013; Poljoprivredni fakultet Beograd, Univerzitet u Beogradu.
- Mugnai C., Dal Bosco A., Castellini C. Effect of rearing system and season on the performance and egg characteristics of Ancona laying hens. *Ital. J. Anim. Sci.* 2009; 8: 175–188.
- Mugnai C., Sossidou E.N., Dal Bosco A., Ruggeri S., Mattioli S., Castellini C. The effects of husbandry system on the grass intake and egg nutritive characteristics of laying hens. *J. Sci. Food Agric.* 2014; 94: 459–468.
- Rulebook on the use of incentives for organic livestock production (“Official Gazette of Republic of Serbia”, no.25/20, 144/22), <https://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SIGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/ministarstva/pravilnik/2020/25/3/reg>.
- Rulebook on control and certification in organic production and organic production methods (“Official Gazette of Republic of Serbia”, br. 95/20, 24/21). <https://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SIGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/ministarstva/pravilnik/2020/95/1/reg/>
- Smith AJ., ed. 1990. Poultry. In *The tropical agriculturalist*. (CTA); The Netherlands, MacMillan Press Ltd.
- Shi Z., Tian Y., Wu W., Wang Z. Controlling reproductive seasonality in the geese. *World’s Poultry Science Journal* 2008; 63(3): 343-355.
- Vladan D., Milena M., Sreten M., Ivana B. Possibilities of productive and reproductive performance improvement in geese: part I - genetic factors, *World's Poultry Science Journal* 2021; 77(4): 1027-1036.
- Von Luttitz H. *Crescătoria de rate și găște*. Editura M.A.S.T. 2003.
- Law on organic production (“Official Gazette of Republic of Serbia”, number 30/10 and 17/2019). <https://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SIGlasnikPortal/reg/viewAct/bb136e63-e9fb-460e-a132-cdbf87506a02>.

Karbon Nano Tüp Katkılı Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemenin Delme Parametrelerinin Taguchi Tabanlı CRITIC-CoCoSo Metoduyla Optimizasyonu

Yusuf FEDAI*

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 80010, Osmaniye

¹<https://orcid.org/0000-0003-4546-8830>

*Sorumlu yazar: yusuffedai@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 19.11.2023

Kabul tarihi: 06.02.2024

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Delme

Nano CETK

Çok kriterli karar verme

CRITIC metodu

CoCoSo metodu

ÖZ

Bu makale, çok duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT) ile takviye edilmiş cam elyaf takviyeli polimer (CETP) kompozitlerin işleme verimliliğini, Taguchi ve Taguchi tabanlı CRITIC ağırlıklandırma metoduyla ağırlıklandırılarak, CoCoSo (Combined Compromise Solution) metoduyla optimizasyonu yapılmıştır. Çalışmada delik delme işlemlerinde, farklı oranlarda çok duvarlı karbon nano tüp katkılı CETP malzemelerin, farklı takım tipiyle, işleme parametrelerinin, yüzey pürüzlülüğü, delaminasyon ve itme kuvveti üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneysel Taguchi L_{27} ortogonal dizilimine göre planlanarak her bir kontrol parametresinin çıktılar üzerindeki etkileri S/N oranı yöntemiyle belirlenmiştir. Yapılan çalışmada, CETP matrix kompozit malzemenin işlenmesinde kullanılan parametrelerin optimum değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen çıktı sayısının birden fazla olması, farklı ve çelişkili cevap değerlerinin birbirleri üzerindeki etkilerinin de dikkate alınmasını gerektirmektedir. Bu sebeple bütün çıktıların tek bir amaç fonksiyonu olarak değerlendirilebilmesi için uygulamada sıklıkla kullanılan çok kriterli karar verme yöntemleri (ÇKKV) kullanılmaktadır. Önce tüm çıktı değerlerinin minimizasyonunu sağlamak için veriler CRITIC metoduyla ağırlıklandırılmış daha sonra, CoCoSo metodu kullanılarak karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. Optimizasyon sonucunda optimum değerler 17 nolu deney koşullarında ($A_2B_3C_2D_1$) gerçekleşmiştir. Bu şartlara göre optimum değerler $R_a=5,786 \mu m$, $D_m=1,128$ ve $F_t=45,01$ N olarak elde edilmiştir.

Optimization of Drilling Parameters of Carbon Nanotube Doped Glass Fiber Reinforced Composite Material Using Taguchi Based CRITIC-CoCoSo Method

Research Article

Article History:

Received: 19.11.2023

Accepted: 06.02.2024

Published online: 11.03.2024

Keyword

Drilling

Nano GFRP composites

Multi criteria decision method

CRITIC method

CoCoSo method

ABSTRACT

This article focuses on optimizing the processing efficiency of multi-walled carbon nanotube (MWCNT) reinforced glass fiber reinforced polymer (GFRP) composites, utilizing the Taguchi method and Taguchi-based CRITIC, weighted with the CoCoSo (the Combined Compromise Solution) method. In the study, the effects of machining parameters on surface roughness, delamination and thrust force of CETP materials doped with different ratios of multi-walled carbon nanotubes in drilling operations with different tool types were investigated. The experiments were planned according to Taguchi L_{27} orthogonal arrangement and the effects of each control parameter on the outputs were determined by the S/N ratio method. The study aimed to determine the optimum values of the parameters used in the processing of GFRP matrix composite material. The fact that the number of outputs obtained is more than one requires that the effects of different and conflicting response values on each other should also be taken into account.

For this reason, multi-criteria decision-making methods (MCDM), which are frequently used in practice, are used to evaluate all outputs as a single objective function. First, the data were weighted with the CRITIC method to ensure the minimization of all output values, and then a comparative analysis was made using CoCoSo method. As a result of the optimization, the optimum values were achieved under experimental conditions numbered 17 (A2B3C2D1). According to these conditions, the optimum values are obtained as $R_a=5.786 \mu\text{m}$, $D_m=1.128$, and $F_t=45.01 \text{ N}$.

To Cite: Fedai Y. Karbon Nano Tüp Katkılı Cam Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemenin Delme Parametrelerinin Taguchi Tabanlı CRITIC-CoCoSo Metoduyla Optimizasyonu. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(2): 729-750.

1. Giriş

Fiber takviyeli polimer (FRP) kompozitler, çeşitli mühendislik uygulamalarında, özellikle havacılık ve otomobil sporları gibi alanlarda yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Bu kompozitler, geleneksel kompozitlere göre daha yüksek korozif dayanıklılık ve darbe direnci gibi özel elyaf özellikleri sunmaktadır (Davim ve ark., 2003). Bu nedenle, cam elyaf takviyeli polimer (CETP) kompozit ürünleri, özellikle otomotiv, havacılık ve inşaat sektörlerinde özel üretim malzemeler olarak giderek daha fazla popülerlik kazanmıştır (Davim ve ark., 2004).

Cam elyaf takviyeli polimer kompozit malzemeler, yapısına nano ölçekte malzemelerin katılmasıyla, mukavemet, dayanıklılık ve hafiflik gibi özellikleri artırılabilir. Bu tür nano malzemeler, CETP kompozitlerin hem mekanik, hem de termal ve elektriksel özelliklerini iyileştirmek için kullanılabilir. Böylece nano malzemelerin cam elyaf destekli polimer kompozitlere katılması, mühendislik uygulamalarında daha yüksek performans ve özellikler elde etme potansiyelini sunar. Çok duvarlı Karbon nanotüpler (ÇDKNT), grafen, silika vb gibi nano malzemeler cam elyaf takviyeli polimer (CETP) kompozitlerde sıkça kullanılan bazı nano malzemelerdir. Çok duvarlı karbon nanotüplerin üstün mekanik özellikleri, onları kompozit malzemelere takviye için tercih edilen dolgu maddesi haline getirmektedir (Ceritbinmez ve ark., 2020). Özellikle takviyeli cam elyaf takviyeli kompozitler içerisine katılan çok katmanlı karbon nanotüp, düşük oranlarda bile kullanıldığında, güçlendirilmiş bileşenlerin aşındırıcı özelliğinden dolayı, kompozitlerde istenen malzeme özelliklerini göstermektedir. Singh ve arkadaşları çok duvarlı karbon nanotüplerin, çok duvarlı karbon nanotüp gömülü epoksi/cam kumaş polimerik nanokompozitlerin delinmesi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Delinmiş deliklerin kalitesini ve özelliğini etkileyen delme kaynaklı delaminasyonu ve yüzey pürüzlülüğünü analiz etmek için çok duvarlı karbon nanotüp içeriğinin ağırlık yüzdesi değişen kompozitler üzerinde deneyler yapmışlardır. Kontrol parametreleri olarak iş mili hızı, ilerleme hızı ve matkap çapını, delaminasyon ve yüzey pürüzlülüğünü dikkate almışlardır (Singh ve ark., 2018).

Kompozit malzemelerin üretimindeki esnekliklerinden dolayı kolay şekillendirilme özelliğine sahiptir. Bu nedenle genellikle son şekline yakın üretilmelerine rağmen çoğu montaj işlemlerinden dolayı talaşlı işlemlere tabi tutulurlar. Talaşlı işlemler içerisinde ise genellikle delme işlemi ön plan çıkmaktadır. Yapılan literatür araştırmasında, birçok araştırmacı, işleme esnasındaki yanlış parametre seçiminden dolayı kompozit üzerinde istenmeyen birçok hata türü ortaya çıktığını belirtmiştir (Pérez-Salinas ve ark., 2023). Bu hataların başlıcalarını, Delaminasyon, Fiber Kopmaları, fiber kırılmaları, mikro çatlamalar,

matris yanması ve delik genişlemesi olarak sayabiliriz (Mahesh ve ark., 2023).

Taguchi'nin yöntemi mühendislik optimizasyon problemlerinin çözümlenmesinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Taguchi yöntemiyle deney tasarımı yapılarak bu deneylerden elde edilen sonuçlar analiz edilebilmektedir. Böylece düşük maliyetle yüksek kaliteli ürünler elde edilmektedir (Palanikumar ve ark., 2012). Shanmugam ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, hibrit yapısal bir kompozitin delme performansını test etmişlerdir. Taguchi L_{27} ortogonal dizisi kullanılarak yaptıkları delme işleminde delik kalitesini artırmak için birçok parametre kullanarak, bu parametrelerin, itme kuvveti, delaminasyon ve çapak oluşumu üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir (Shanmugam ve ark., 2021). Çalışmalarda cam elyaf takviyeli kompozitlerin delinmesinde çok farklı parametreler kullanılmıştır. Ancak genel olarak, çalışmalarda iş mili hızı, ilerleme hızı matkap çapı ve matkap çeşidi gibi parametreleri kullanılmaktadır (Engin ve ark., 2023). Zitoune ve ark., (2010) delik delmede optimum proses parametrelerini seçmek için çeşitli çaplarda düz karbür K20 matkaplar kullanarak Karbon Fiber Takviyeli Plastik (CFRP)/Al üzerinde delme deneyleri yaptı ve itme kuvveti, tork ve yüzey kalitesi üzerindeki etkileri değerlendirdi. Yazarlar deney sonuçlarına göre doğru kesme parametrelerinin seçimi ile delik kalitesinin iyileştirilebileceğini bildirmişlerdir. Rajamurugan ve ark., cam elyaf takviyeli polyster kompozitleri araştırdı. Artan ilerleme hızının parça ayrılmasını artırdığını, ancak artan iş mili hızının delaminasyonu azalttığını buldu (Rajamurugan ve ark., 2013). Fakat Davim ve ark., karbon fiber takviyeli epoksi kompozitleri için hem artan ilerleme hızının, hem de kesme hızının delaminasyonu artırdığını bildirmişlerdir (Davim ve ark., 2003).

Kompozitlerin işlenmesi esnasında kesme bölgesinde oluşan yüksek ısı, kısa takım ömrü ve uzun işleme çevrimi gibi çeşitli problemler ortaya çıkmaktadır. Delme işlemi sırasında ortaya çıkan ısıyla ilgili olarak, bazı çalışmalar ÇDKNT'ler gibi nano katkı maddelerinin geleneksel soğutma yağlayıcılarına uygun bir alternatif olduğunu öne sürülmektedir. Ayrıca, kullanılan nano katkı maddeleri, işleme prosesleri sırasında indüklenen sürtünmeyi azaltmak için iş parçası-takım arayüz alanında ara yağlayıcı görevi yapmaktadır. CETP nanokompozitini delme mekanizması geleneksel malzemelerden farklıdır. Bunun nedeni, delme işlemi sırasında gözlemlenen plastik deformasyon, bükülme kırılması, kesme vb. gibi kompozit malzemelerin benzersiz davranışlarıdır. Dolayısıyla iyi bir sonuç elde etmek için hem işleme sürecini hem de malzeme özelliklerini daha iyi anlamak gerekir (Anand ve ark., 2018).

Yüzey bütünlüğüne ek olarak, ÇDKNT'ler, özellikle katmanlar arası yapısal bütünlüğü sağlamak ve kompozitleri güçlendirmek için mükemmel bir seçimdir. Yapılan bazı çalışmalarda kompozitlerdeki termal artık gerilmelerin ÇDKNT'lerin eklenmesi yoluyla bir dereceye kadar azaldığını göstermiştir (Shokrieh ve ark., 2014; Tabatabaeian ve ark., 2020). Özellikle çok duvarlı karbon nanotüpler eklenmiş cam elyaf takviyeli plastikler, düşük ağırlık yüzdelerinde, takviyeli bileşenlerinin aşındırıcı doğası nedeniyle sanayi kullanımına uygun malzeme özellikleri sergiler (Panchagnula ve ark., 2022).

Mühendislik araştırma ve geliştirme çalışmaları, tasarlanan sistemin ve geliştirilen ürünün en yüksek performansa erişmesini hedeflemektedir. Bu maksimum performansı elde etmek amacıyla öncelikle tanımlanan özellikler belirlenir ve daha sonra bu özellikleri etkileyen faktörler detaylı bir şekilde

incelenir. Belirlenen özelliklerin performans üzerindeki etkilerini saptamak ve en uygun kombinasyonu bulmak için çeşitli deneyler gerçekleştirilir. Deneyler sonucunda elde edilen performans göstergeleri değerlendirilir ve optimum koşullara ulaşmak için bu verilere dayalı kararlar alınır. Taguchi deney tasarımı, optimizasyon problemlerini çözmek için etkili bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Palanikumar ve ark., 2012). Bu yöntem, sadece deney sayısını minimumda tutmakla kalmaz, aynı zamanda yüksek kaliteli süreçlerin ve ürünlerin geliştirilmesine de katkı sağlar. Aynı zamanda, bu yöntem, istatistiksel bir yaklaşım olmanın ötesinde, araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin her aşamasında kullanılabilen, kaliteyi artıran, maliyetleri düşüren ve sonuçların güvenilirliğini artıran bir teknik olarak önemli bir rol oynar.

Üretimde, maliyetin düşürülmesi ve kalitenin iyileştirilmesi için en uygun proses parametrelerinin seçimi büyük önem taşır. Bir deney sürecinde uygun proses parametrelerinin seçimi, optimal veya en iyi deneysel koşulu belirlemede önemli bir katkıya sahiptir. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri çeşitli ve çelişkili faktörlere ilişkin uygun süreç parametrelerinin seçiminde kullanılan etkili bir sıralama tekniklerini içerir. ÇKKV tekniklerinden herhangi birinin uygulanması, temel olarak, çok sayıda çelişen hedefin (kriter) varlığında bir dizi aday çözümden en iyi alternatifin veya hareket tarzının belirlenmesini amaçlar. Bugüne kadar, özellikle imalat sanayinde parametre optimizasyonuna yönelik 20'den fazla farklı ÇKKV tekniği kullanılmıştır (Chakraborty ve ark., 2022).

Bir çalışmada birden fazla çıktı elde ediliyorsa, bu çıktıların tek değişkenli sonuçlarının analizi anlamsızdır. Bu durumda birden fazla yanıtın değerlerinin eş zamanlı olarak eniyilemesinin yapılması gerekmektedir. Girdi değişkenlerinin belirsiz faktörlere bağlı olduğu şartlarda tüm çıktıları kapsayan en ideal tek bir çözümün bulunması gerekir (Lin ve ark., 2002). Bu amaçla genel olarak çok kriterli karar verme teknikleriyle birlikte taguchi yöntemi birleşik olarak uygulanabilir.

Bir çok kriterli karar verme yöntemi sınırlı sayıda bilinen alternatiflere çözüm bulmaktadır çok sayıda araştırmacı ve bilim adamı sezgiselden karmaşık Analitik yöntemlere kadar birçok çok kriterli karar verme yöntemi geliştirmiştir Bu yöntemler tek bir en uygun alternatifi belirlemek alternatifleri sıralamak sınırlı sayıda alternatif seçmek veya basitçe kabul edilebilir alternatifleri kabul edilemez alternatiflerden ayırmak için kullanılmaktadır (Panchagnula ve ark., 2022). Bu sebeple birçok çalışmada çok kriterli karar verme yöntemi uygulanarak Optimum delme koşullarının optimizasyonu araştırılmıştır (Lukic ve ark., 2020).

ÇKKV problemlerinde optimumum parametrelerin bulunmasını ağırlıkların seçilmesi oldukça önemlidir. Literatürde kriter ağırlıklandırma metotları olarak subjektif, objektif veya bu iki yöntemin kombinasyonu şeklinde yapılmaktadır (Paramasivam ve ark., 2020). Bu tekniklerden, Entropi metodu, CRITIC metodu AHP metodu, Bulanık AHP metodu En Küçük Kareler Yöntemi SWARA metodu vb. birçok metot önceki yapılan çalışmalarda kullanılmıştır (Kumar ve ark., 2021).

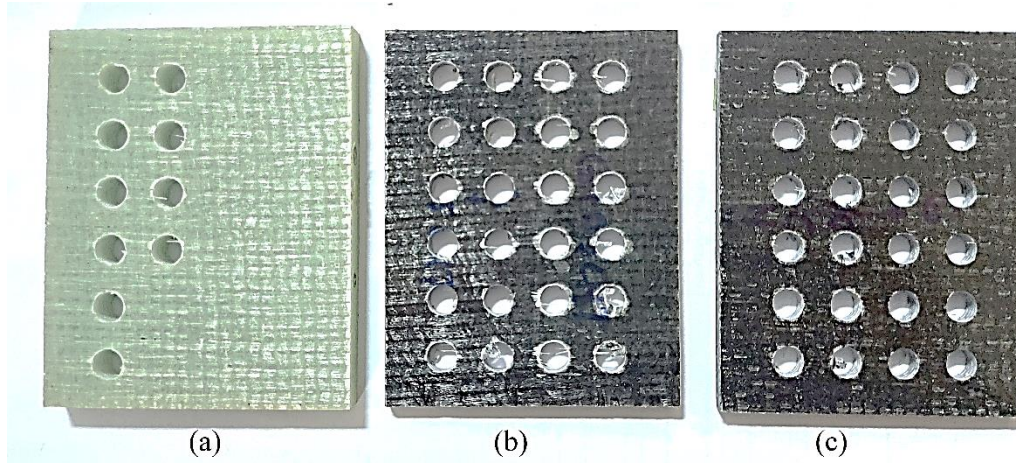
Talaşlı işleme operasyonlarının çıktılarının çoğu, tek bir performans ölçüsü ile nitelenemez (Barua ve ark., 2019). Delaminasyon, yüzey pürüzlülüğü ve itme kuvveti, bu çalışmanın çoklu değerlendirme kriterleridir.

Bu makalede, ÇDKNT içeren CETP/epoksi nanokompozitin delinmesi işlemlerinin çok yanıtlı optimizasyonu önerilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü (R_a) ve itme kuvveti (F_t), ve delaminasyon çıktıları, ağırlıkça karbon nanotüp takviye dolgu içeriği, kesme hızı ilerleme ve üç farklı matkaptan oluşan takım tipi gibi değişken faktörler dikkate alınarak Taguchi yaklaşımıyla birleştirilmiş bir uzlaşma çözümü CoCoSo aracılığıyla optimize edilmiştir. Bu araştırma, yüzey pürüzlülüğü, delaminasyon ve itme kuvvetini azaltmak için işlem parametrelerinin optimum seviyesini tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Nano-polimer kompozitlerin delinmesinde etkili olan en önemli parametreleri incelemek için ANOVA kullanılmıştır. Bu nedenle, Taguchi S/N oranı ve CoCoSo metoduyla optimize edilerek, ÇDKNT içeren CETP/epoksi nanokompozitin delme işlemi için uygun işlem parametrelerini belirlemek için kullanılmıştır.

2. Malzeme ve Metot

2.1. İş parçası, Kesici Takım ve deneysel çıktıların Ölçümü

Yapılan çalışmada, CETK kompozit malzemelerin delinmesi işleminde delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü delaminasyon ve itme kuvveti üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan malzeme ticari bir firmaya özel olarak imal ettirilmiştir. CETK Kompozit, ağırlık olarak ÇDKNT oranı katkısız, %0,5 ve %1 katkısına sahip olacak şekilde üretilmiştir. (Şekil 1).



Şekil 1. Kompozit malzeme, (a) saf CETK, (b) %0,5 ÇDKNT+ CETK, (c) %1 ÇDKNT+ CETK

Kompozit malzemeler özel bir firmaya üretilmiştir. Kompozitin üretilmesinde vakum infzyon yöntemi kullanılmıştır. Kompozitler 0-90 açıyla yönlendirilmiştir. Üretilen kompozitler hacimce % 55 cam elyaftan oluşmaktadır. Kompozit 8 katmandan meydana gelmektedir. Kompozit ebatları 7 mm kalınlığında ve 80x100 boyutlarındadır (Fedai ve ark., 2022).

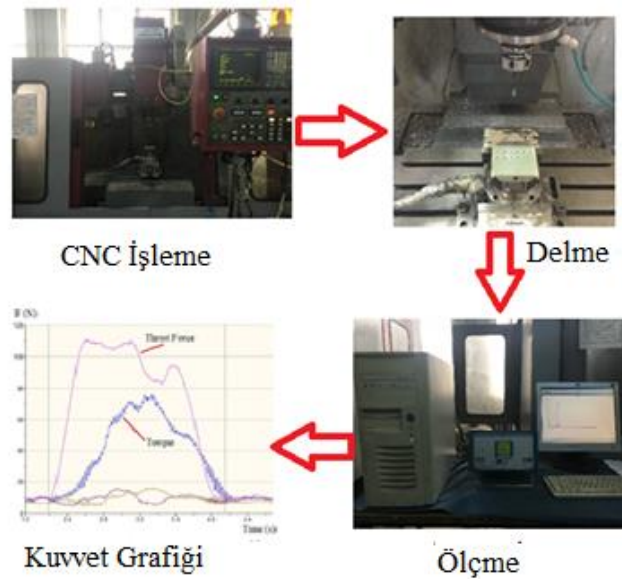
Kompozitlerin delme deneyleri Johnford VMC 850 marka CNC dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. Delme işlemi kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde Ø8 mm çapında kaplamasız HSS, karbür ve TiAlN kaplamalı olmak üzere üç farklı tipte kesici takım kullanılmıştır (Şekil 2). Deneylerde kullanılan takımların çapları ve deney parametreleri üretici firmanın tavsiyeleri, deneyler öncesinde yapılan kontrol deneyleri ve literatürde yapılan benzer çalışmalardan

faздalanılarak belirlenmiştir. Takım ucu aşınmalarının deneylere etkisini her deneyde önlemek amacıyla yeni bir kesici takım kullanılmıştır.



Şekil 2. Delme takım çeşitleri, (a) HSS, (b) Karbür, (c) TialN

İtme kuvveti, nanokompozitlerin işlenebilirliğini belirleyen delme işleminde önemli bir rol oynamaktadır. Deneylerde itme kuvveti, CNC dik işleme merkezinin tablasına bağlanmış olan kistler 9257B tipi bir dinamometre yardımıyla ölçülmüştür. Dinamometreden alınan datalar DynoWare yazılımı sayesinde bilgisayarda kayıt altına alınmıştır. Kuvvet değerlerinin elde edilme döngüsü Şekil 3'te görülmektedir. Delik delme aşamalarına göre, elde edilen itme kuvveti sinyalleri Şekil 3'te sunulmaktadır. Şekilde delme işleminin üç aşamada gerçekleştiği görülmektedir. İlk aşamada delme işleminin başlangıcını gösterir. Matkap ucunun açılı kısmının malzeme içerisinde ilk girişinden tam delik çağına ulaşınca kadar olduğu kısımdır ve kuvvet ve torkta dik bir artış gözlemlenir. İkinci aşamada kompozitin malzeme kalınlığı boyunca delinmesidir. Kuvvet değerleri belirli bir çizgide kararlı değişim gösterir ve üçüncü aşama ise yine açılı kısmın malzemeyi terk edişine kadar olan bölümdür. Takımla malzeme arasındaki temas giderek azalacağı için kuvvet değeri de dikey bir azalmayla başlangıç seviyesine geri dönmektedir.

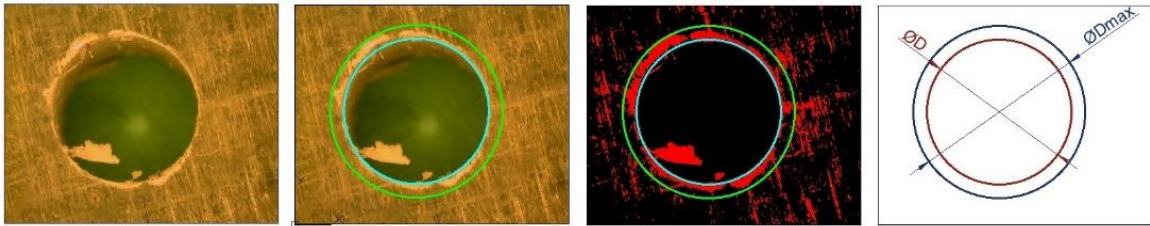


Şekil 3. İtme kuvveti ölçümü akış şeması

Delaminasyon, tabakalı üretilen kompozitlerin delinmesi esnasında meydana gelen en önemli hasar çeşididir. Kompozitlerin delinmesi esnasında iş parçası üzerindeki delik giriş ve çıkışlarında sıkça görülmektedir. Delik etrafında oluşan delaminasyon faktörünü belirlemek için, delaminasyon bölgesindeki maksimum çapın (D_{max}) bulunması gerekmektedir. Delaminasyon faktörü (D_m) Şekil 4'ten de görüleceği üzere, delme esnasında hasar bölgesinde oluşan maksimum hasar çapının (D_{max}) matkap çapına (D) oranlanmasıyla hesaplanan sayısal bir değerdir. Delaminasyon faktörü aşağıdaki formülle belirlenmektedir (Kavad ve ark., 2014; Ceritbinmez ve ark., 2020).

$$D_m = \frac{D_{max}}{D} \quad (1)$$

Bu faktör, kompozit malzemelerin delik delme işlemlerinde oluşan yüzey hasarlarının değerlendirilmesi için önemli bir parametredir (Osmond ve ark., 2021). Kompozit malzemelerde yapılan talaşlı imalat işlemlerinde oluşan yüzey hasarları iş parçası işleme kalitesinin değerlendirilmesi için önemli bir etkidir (Ceritbinmez ve ark., 2020; Zitoun ve ark., 2010). Daha büyük delaminasyon faktörü, nominal matkap çapına göre daha fazla hasarı gösterir (Bilge ve ark., 2017). Numunelerin delaminasyon hasarı, iki delaminasyon faktörü (her yüzey için bir tane) hesaplanarak ölçülmüş ve ortalaması alınmıştır (Osmond ve ark., 2021).



Şekil 4. Delaminasyon hasarının ölçülme aşamaları

Delinmiş kompozitlerin delaminasyon ve delik yüzey pürüzlülük ölçümü görülmektedir. Delik yüzey pürüzlülüğü delik içerisinde dört noktadan ölçüm yapılarak ortalaması alınmıştır.



(a)

(b)

Şekil 5. (a) Delaminasyon ölçümü, (b) Delik yüzey pürüzlülük ölçümü

2.2. Deneysel Tasarım

Delme deneyleri, Taguchi L_{27} Ortogonal dizi kullanılarak farklı matkap takım tipleri ve ağırlıkça ÇDKNT yüzdesi ile CETPK üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada üç seviyeli olarak seçilen giriş parametrelerinin diğer ikisi; kesme hızı ve ilerlemedir. Bu parametreler ve seviyeleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

Girdi parametrelerinin ve sürecin performanslarının matematiksel ilişkilerinin karmaşıklığı ve doğrusal olmadığı varsayılarak, her bir parametre için üç varyasyon seviyesi seçilmiştir. Parametrelerin değerleri seçilirken, literatür önerileri, makine ve aletlerin teknik ve teknolojik sınırlamaları, iş parçası malzemesinin özellikleri ve önceki deneysel araştırmalar dikkate alınmıştır.

Tablo 1. Faktörler ve seviyeleri

Faktörler	Sembol	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Takım tipi	TT	HSS	Karbür	TialN
Ağırlıkça % ÇDKNT	W%	0	0,5	1
Kesme hızı	V	25	50	75
İlerleme	f	0,1	0,15	0,2

Yapılan çalışmada faktörlerin sayısı ve seviyeleri göz önüne alınarak, deneyleri gerçekleştirmek için Taguchi'nin L_{27} ortogonal dizisi Tablo 2'de gösterildiği gibi dizayn edilmiştir.

Tablo 2. Taguchi L_{27} Deney tasarımı ve kodlanmış değerler

Deney. No	TT	W%	V	f	Deney No	TT	W%	V	f
1	1	1	1	1	15	2	2	3	1
2	1	1	2	2	16	2	3	1	3
3	1	1	3	3	17	2	3	2	1
4	1	2	1	2	18	2	3	3	2
5	1	2	2	3	19	3	1	1	1
6	1	2	3	1	20	3	1	2	2
7	1	3	1	3	21	3	1	3	3
8	1	3	2	1	22	3	2	1	2
9	1	3	3	2	23	3	2	2	3
10	2	1	1	1	24	3	2	3	1
11	2	1	2	2	25	3	3	1	3
12	2	1	3	3	26	3	3	2	1
13	2	2	1	2	27	3	3	3	2
14	2	2	2	3					

Çalışmada süreç değişkenlerinin delme performansı üzerindeki etkilerini incelemek için Taguchi tekniği kullanılmıştır. Taguchi yöntemi, uygulandığı ürünlerin ve operasyonların kalite optimizasyonu için basit ve etkili bir tekniktir. Yöntem ile daha az sayıda deneysel çalışma imkânı olduğu için çalışmalarda çok

fazla sayıda tercih edilen bir yöntemdir. Taguchi yöntemi kalite özelliklerini belirlemek için sinyal-gürültü oranı adı verilen istatistiksel bir performans ölçüsü kullanır. S/N oranı sayesinde hem parametrelerin ortalaması, hem de parametreler arasında meydana gelen değişkenler ortaya çıkar. S/N oranı, ortalamanın (Sinyal) standart sapmaya (Gürültü) oranıdır. Optimizasyonu yapılacak parametrenin özelliklerine göre S/N oranı, “daha küçük daha iyi”, “daha büyük daha iyi” ve “nominal (Ortalama) değer en iyidir” şeklinde üç farklı özellikte kullanılır. Bu çalışmada tüm çıktılarının minimum değerleri en iyiyi verdiği için denklem 2 de verilen daha küçük daha iyidir prensibi kullanılmıştır.

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (2)$$

Burada amaç S/N oranını maksimize etmektir. Dolayısıyla değerlendirmelerde, her bir parametre için hesaplanan ortalama S/N oranları içinde en büyük S/N oranına sahip seviye, en iyi sonucu belirlemede kullanılmaktadır

2.3. CRITIC Metodu Kullanarak Ağırlıkların Belirlenmesi

Çok amaçlı karar verme problemi, çelişen amaçlara dayalı en iyi alternatifin seçimi ile ilgilidir. Bazı ÇKKV yöntemlerinin sonuçlarının tutarlılığı hala sorgulanabilmektedir (Akçakanat ve ark., 2017). Yapılan çalışmada, kontrol parametrelerini optimize edebilmek için çok kriterli karar verme yöntemlerinden CoCoSo metodu kullanılmıştır. Yönteminin ihtiyaç duyduğu kriter ağırlıklandırması için CRITIC metoduna başvurularak bir sıralama elde edilmiştir.

Objektif ağırlıklandırma yöntemlerinden birisi olan CRITIC metodu, sıralaması yapılacak kriterlerin kendi aralarındaki önemlerinin objektif olarak hesapladığı bir ağırlıklandırma yöntemidir. Yöntem 1995 yılında Diakoulaki ve arkadaşları tarafından önerilen bir tekniktir. Genel olarak karşıtlık ve uyumsuzlığa yoğunlaştığı için korelasyon analizi ve standart sapma kullanılır. Öncelikli olarak normalizasyon parametrelerin maksimumu ya da minimum kriterine göre belirlenir. Minimum yapmak için maliyet yönlü kriter alınır, maksimum yapmak için Fayda yönlü kriter alınır (Denklem 3 ve 4).

$$x_j^* = \max_i \{x_{ij}\}, \quad r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^-}{x_j^* - x_j^-} \quad \text{Fayda kriterleri} \quad (3)$$

$$x_j^- = \min_i \{x_{ij}\}, \quad r_{ij} = \frac{x_j^* - x_{ij}}{x_j^* - x_j^-} \quad \text{Maliyet Kriterleri} \quad (4)$$

Korelasyon katsayısı ile kriterler arasındaki ilişki katsayısının hesaplanması.

Bu aşamada kriterler arasında normallik testi uygulanır. Test sonucunda dağılım normal ise Pearson korelasyon katsayısı formülü (Denklem 5), veriler non-linear dağılım gösteriyorsa Spearman korelasyon katsayısı formülü (Denklem 6) uygulanır.

$$p_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij}^* - \bar{x}_j) (x_{ik} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij}^* - \bar{x}_j)^2 \sum_{i=1}^m (x_{ik} - \bar{x}_k)^2}} \quad (5)$$

$$p_{jk} = 1 - \frac{6 \cdot \sum d_r^2}{n(n^2 - 1)} \quad (6)$$

Bu aşamada her bir kriter için zıtlık yoğunluğu (contrast intensity) ve çelişkilerden (conflicts) oluşan bilgi miktarını temsil eden c_j değeri hesaplanır (Denklem 7). C_j bilgi miktarı, normalize edilmiş karar matrisinin sütun değerlerinin standart sapması (σ_j) da kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^n 1 - p_{jk} \quad (7)$$

Son aşamada kriterlere ait ağırlıklar aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^n c_k} \quad (8)$$

2.4. CoCoSo Metodu

CoCoSo yöntemi (Yazdani ve ark., 2019) tarafından geliştirilen CoCoSo metodu Simple Additive Weighting (SAW) ve Exponically Weighted Product (EWP) metotlarının birleşiminden meydana gelmiştir ve 5 aşamadan oluşmaktadır:

1. Aşama: Deney sayısını satırların oluşturduğu, parametrelerin ise satırların oluşturduğu bir karar matrisi oluşturulur.
2. Aşama: Fayda kriterler için denklem (3)'i kullanarak, maliyet kriterleri için ise eşitlik (4) kullanarak normalize karar matrisi oluşturulur.
3. Aşama: Ağırlıklı karşılaştırılabilirlik dizisi toplamı S_i , denklem (9) kullanılarak bulunur. Her bir alternatif için karşılaştırılabilirlik dizilerinin güç ağırlığının toplamı P_i ise denklem (10) kullanılarak bulunur.

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij} \quad (9)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n (r_{ij})^{w_j} \quad (10)$$

3. Aşama: Alternatiflerinin değerlendirme stratejileri denklem (11, 12 ve 13)'ye göre bulunur.

$$k_{ia} = \frac{S_i + P_i}{\sum_{i=1}^m (S_i + P_i)} \quad (11)$$

$$k_{ib} = \frac{S_i}{\min S_i} + \frac{P_i}{\min P_i} \quad (12)$$

$$k_{ic} = \frac{\lambda S_i + (1 - \lambda)(P_i)}{(\lambda \max S_i + (1 - \lambda) \max P_i)} \quad (13)$$

4. Aşama: Tüm alternatiflerin sıralaması değerlere göre yüksekten düşüğe doğru belirlenir (Denk. 14)

$$k_i = (k_{ia} k_{ib} k_{ic})^{\frac{1}{3}} + \frac{1}{3} (k_{ia} + k_{ib} + k_{ic}) \quad (14)$$

3. Sonuçlar ve Tartışma

Gerçekleştirilen deneyler sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük, ortalama delaminasyon ve itme kuvvetiyle bu bulgulara ait Minitab programıyla hesaplanan sinyal gürültü değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. R_a , D_m , F_t deney sonuçları ve S/N oranları

Ex. No	R_a	S/N R_a	D_m	S/N D_m	Kuvvet	S/N F_t
1	6,850	-16,71	1,167	-1,34	66,53	-36,46
2	6,593	-16,38	1,185	-1,48	79,14	-37,97
3	6,479	-16,23	1,256	-1,98	86,87	-38,78
4	5,672	-15,07	1,206	-1,62	79,78	-38,04
5	5,273	-14,44	1,208	-1,64	80,73	-38,14
6	6,584	-16,37	1,160	-1,29	59,93	-35,55
7	4,950	-13,89	1,257	-1,98	88,14	-38,90
8	5,463	-14,75	1,157	-1,26	59,34	-35,47
9	5,672	-15,07	1,179	-1,43	68,86	-36,76
10	7,287	-17,25	1,135	-1,10	50,66	-34,09
11	7,097	-17,02	1,161	-1,29	61,94	-35,84
12	6,622	-16,42	1,180	-1,44	71,86	-37,13
13	6,004	-15,57	1,162	-1,30	62,95	-35,98
14	6,156	-15,79	1,172	-1,38	67,2	-36,55
15	6,612	-16,41	1,099	-0,82	44,24	-32,92
16	5,235	-14,38	1,181	-1,45	75,01	-37,50
17	5,786	-15,25	1,128	-1,04	45,01	-33,07
18	5,139	-14,22	1,131	-1,07	44,5	-32,97
19	7,315	-17,28	1,246	-1,91	84,77	-38,56
20	7,040	-16,95	1,287	-2,19	97,24	-39,76
21	7,287	-17,25	1,312	-2,36	101,46	-40,13
22	6,508	-16,27	1,270	-2,07	93,42	-39,41
23	6,422	-16,15	1,277	-2,13	95,13	-39,57
24	7,239	-17,19	1,185	-1,48	78,91	-37,94
25	5,947	-15,49	1,332	-2,49	105,69	-40,48
26	6,584	-16,37	1,204	-1,61	79,43	-38,00
27	6,669	-16,48	1,239	-1,86	81,86	-38,26

Tablo 2’de verilen Taguchi L_{27} ortogonal deney tasarımına göre deneyler yapılmış ve Kontrol faktörlerinin seviyeleri aşağıda Tablo 6 de verilen yüzey pürüzlülük, ortalama delaminasyon değeri ve kuvvet değerleri elde edilmiştir. Çıktıların tamamı için en küçük sonuçlar en iyi değerleri temsil etmektedir. Deneylerden elde edilen ölçümlere göre her bir deney sonucu birbirinden bağımsız olarak, en düşük yüzey pürüzlülük değeri $R_a = 4,950 \mu m$ ve $-13,89$ S/N oranı ile $A_1B_3C_1D_3$ şartlarını sağlayan 7 numaralı deneyde, en düşük delaminasyon değeri $D_m = 1,099$ ve $-0,82$ S/N oranı ile $A_2B_2C_3D_1$ şartlarını sağlayan 15 numaralı deneyde ve en düşük itme kuvveti $F_t = 44,24$ N ve $-32,92$ S/N oranı ile $A_2B_2C_3D_1$ şartlarını sağlayan 15 no’lu deneyde elde edilmiştir.

3.3. ANOVA Analizi

ANOVA, genellikle girdi parametrelerinin yanıtlar üzerindeki etkisini analiz etmek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Modelin geçerliliğini doğrulamak için ANOVA yapılmıştır. Tahmin modellerinin istatistiksel önemi, "P" olasılık değeri ve "F" Fisher değeri ile değerlendirilir. P değeri 0,05'ten büyükse ($P > 0,05$), çalışılan parametre anlamsız, diğer tarafta ($P < 0,05$) ise anlamlı kabul edilir (Haoues ve ark). Tablo 4’de tek değişkenli varyans analizi (ANOVA) sonuçları bütün yanıtlar için toplu halde gösterilmektedir. TT, W%, V ve F_t 'nin, çıkış parametreleri olan R_a , D_m ve F_t için ANOVA sonuçları %95'lik bir güven düzeyiyle tahmin edilmiştir. Her çıkış parametresi için serbestlik derecesi değeri (FD) toplam kareler (SS), ortalama kareler (MS), olasılık değeri (P) ve Fisher değeri (F) Tablo'da verilmiştir.

ANOVA sonuçlarından en çok etkilenen parametrenin takım tipi (TT) ve %ÇDKNT olduğu ilerleme ve hız değerinin ise bu deneyde çıktılar üzerinde daha az etkisi olduğu tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametre % 51,62 oranıyla kompozit içerisine katılan nano malzeme oranı, delaminasyon ve itme kuvvetine ise sırasıyla olmak üzere %60,95 ve % 62,00 oranıyla Takım çeşidi olduğu görülmektedir. Bütün çıktı ANOVA tablosunda Yüzey pürüzlülüğündeki kesme hızı haricinde bütün P değerlerinin < 0.05 anlamlı çıktığı görülmüştür. ANOVA'ya dayanarak, uygun seçilen takım tipi ve kompozit içine katılacak %ÇDKNT oranının kontrol edilmesi kalite ve üretkenlik değerlerini artırarak iyileştirebileceği görülmektedir (Fedai ve ark., 2022).

Tablo 4. R_a , D_m ve F_t için Varyans Analizi (ANOVA)

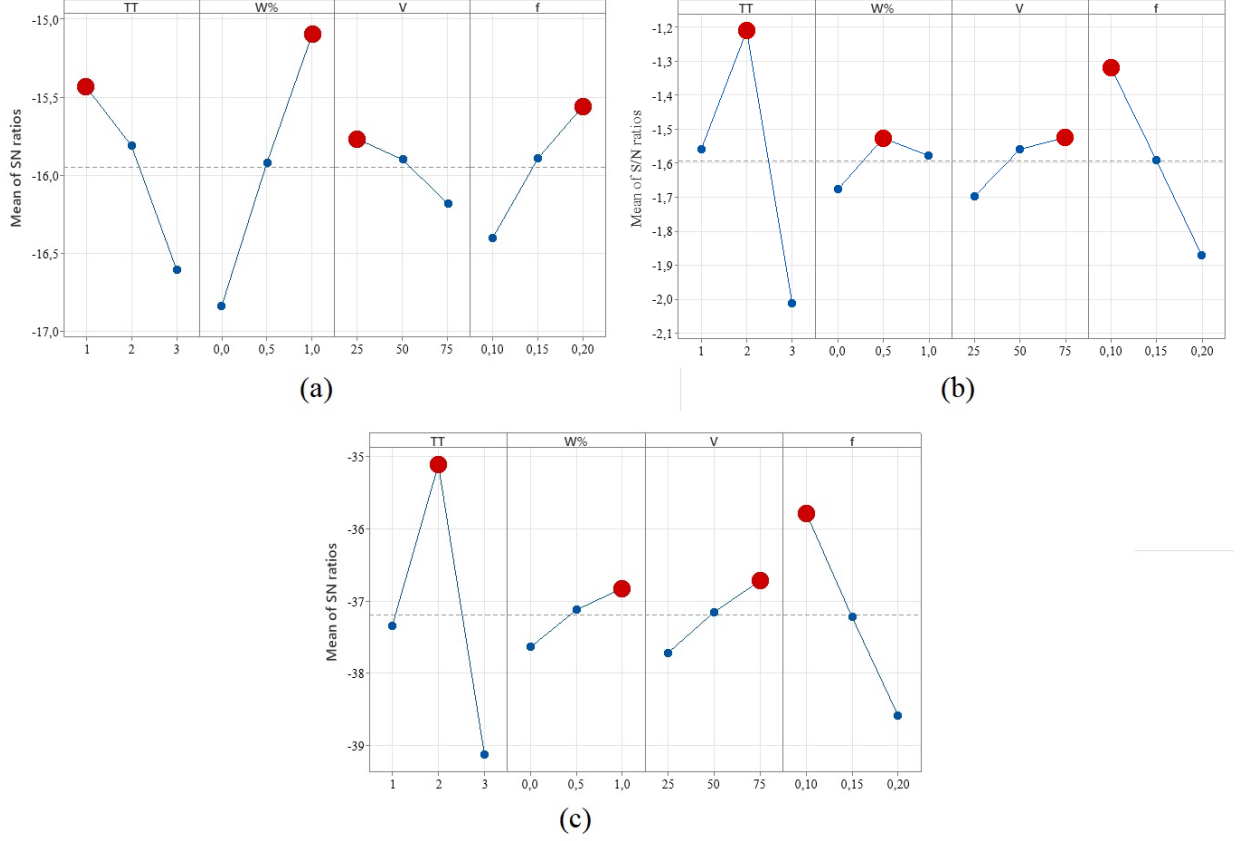
	Source	DF	Contr.	SeqSS	F-Value	P-Value
Yüzey Pürüzlülüğü	TT	2	24,23%	3,2376	23,87	0,00
	W%	2	51,62%	6,8978	50,85	0,00
	V	2	2,89%	0,3858	2,84	0,084
	f	2	12,13%	1,6207	11,95	0,00
	Error	18	9,14%	1,2209		
	Total	26	100,00%			
		S=0,260	R ² =90,86%		R ² (adj)=86,80%	
Delaminasyon	TT	2	0,056451	60,95%	113,57	0,00
	W%	2	0,002068	2,23%	4,16	0,033
	V	2	0,002934	3,17%	5,9	0,011
	f	2	0,026699	28,82%	53,72	0,00
	Error	18	0,004473	4,83%		
	Total	26	0,092625	100,00%		
		S=0,0158	R ² =95,17%		R ² (adj)=93,02%	
İtme Kuvveti	TT	2	4819,8	62,00%	188,98	0,00
	W%	2	164,3	2,11%	6,44	0,008
	V	2	264,6	3,40%	10,38	0,001
	f	2	2295,5	29,53%	90,01	0,00
	Error	18	229,5	2,95%		
	Total	26	7773,8	100,00%		
		S=3,571	R ² =97,05%		R ² (adj)=95,73%	

3.4. S/N Oranı Analizi

Kontrol faktörlerine ve seviyelerine göre tüm çıktılar için hesaplanan S/N grafikleri Şekil 6'da görülmektedir. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar tüm çıktılar için en küçük en iyidir prensibine göre değerlendirilmiştir. Buna göre optimum kesme koşulları, yüzey pürüzlülüğü için Şekil 7a'ya göre $A_1B_3C_1D_3$ (TT: HSS takım, %W: %1, V:25 m/dk, f:0,2 mm/dev) şartlarında, delaminasyon için Şekil 7b'ye göre $A_2B_2C_3D_1$ (TT: Karbür takım, %W: %0,5, V:75 m/dk, f:0, mm/dev) şartlarında, Şekil 7c'ye göre $A_2B_3C_3D_1$ (TT: Karbür takım, %W: %1, V:75 m/dk, f:0,1 mm/dev) şartlarında meydana geldiği görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğü için HSS, delaminasyon ve itme kuvveti için Karbür, takım en iyi sonuçları vermiştir. % ÇDKNT değerlerinin artması R_a , F_t ve kısmen D_m değerlerinde iyileşmeye neden olmuştur. Tablolardan hız değerindeki düşüş R_a değerinde bir kötüleşmeye sebep olurken hızdaki artış F_t kuvvetinin de artmasına sebep olmaktadır. İlerleme azalması D_m ve F_t değerlerini olumsuz yönde etkilerken artışı R_a 'da iyileşmeye neden olmaktadır. Birçok makalede, proses parametrelerinin, ilerleme hızının ve kesme hızının kesme kuvvetleri ve ilişkili hasar üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Hemen hemen tüm çalışmalar, hem itme kuvvetinin hem de delaminasyonun ilerleme hızıyla arttığını ortaya koydu (Biruk-Urban ve ark., 2022; Ünüvar ve ark., 2022). bazı çalışmalarda ise aksine kesme hızı değiştikçe farklı davranışlar gözlemlenmiştir (Kilickap, 2010). Ancak, bazı araştırmacılar yüksek hızlı

delme sırasında azalma olduğunu fark etmişlerdir (Karnik ve ark., 2008; Rubio ve ark., 2008).

Şekilden elde edilen sonuca göre, karbür takımının delaminasyonu azalttığı görülmektedir. Bu durum kaplamalı takımların benzer özellikler gösterdiği şeklinde açılarak literatürle paralellik göstermektedir (Kilickap, 2010).



Şekil 6. R_a , D_m ve F_t değerleri için Taguchi S/N oranı grafiği

Tablo 5'te yüzey pürüzlülüğü, delaminasyon ve itme kuvvet değerleri için S/N yanıt sonuçları tablosu görülmektedir. Tabloda seviyeler arasındaki değerlerin farkları alınarak Delta değerleri bulunmuştur. Elde edilen delta değerleri büyüklüklerine göre sıralaması yapılarak rank oranları bulunur. Bu sıralamada kontrol parametrelerinin çıktı üzerlerindeki etki değerini göstermektedir. Tablo 5'teki rank sıralamasına göre yüzey pürüzlülüğü için en etkili parametrenin 1,73 değeriyle yüzde karbon nanotüp katkı oranı olurken en etkisiz parametre ise 0,41 değeriyle kesme hızı olmuştur. Delaminasyon ve itme kuvvetleri içinde benzer oranlarla takım çeşidi en etkisiz parametrenin ise yüzde karbon nanotüp katkı oranı olduğu görülmektedir.

Tablo 5. R_a , D_m ve F_t değerleri için S/N yanıt sonuçları tablosu

Yüzey Pürüzlülüğü					Delaminasyon				İtme Kuvveti			
Level	TT	W%	V	f	TT	W%	V	f	TT	W%	V	f
1	-15,4	-16,8	-15,8	-16,4	-1,56	-1,68	-1,7	-1,32	-37,34	-37,64	-37,71	-35,78
2	-15,8	-15,9	-15,9	-15,9	-1,21	-1,53	-1,56	-1,59	-35,12	-37,12	-37,15	-37,22
3	-16,6	-15,1	-16,2	-15,6	-2,01	-1,58	-1,52	-1,87	-39,12	-36,82	-36,71	-38,57
Delta	1,17	1,73	0,41	0,84	0,801	0,151	0,174	0,553	4,01	0,81	1	2,79
Rank	2	1	4	3	1	4	3	2	1	4	3	2

3.3. CRITIC Ağırlıklandırılmış Taguchi S/N CoCoSo Metoduyla Parametrelerin Optimizasyonun

Verilerin değerlendirme kriterlerinin ağırlıkları CRITIC Metodu ile hesaplanacaktır. Tüm kriterler minimizasyon yönlü olduğundan CRITIC metodunun ilk adımında karar matrisi Denklem (4)'ten yararlanılarak normalize edilir. Tablo 6'da verilen normalize karar matrisi, seçilen kriterlerinin fayda ve maliyet özellikleri dikkate alınarak sırasıyla denklem (2) ve (3)'ün yardımıyla hesaplanmıştır.

Tablo 6. Verilerin normalize edilmesi.

Ex. No	R_a	D_m	F_t	Ex. No	R_a	D_m	F_t
1	0,197	0,708	0,637	15	0,297	1	1
2	0,305	0,63	0,432	16	0,88	0,647	0,499
3	0,353	0,328	0,306	17	0,647	0,878	0,987
4	0,695	0,543	0,422	18	0,751	0,864	0,939
5	0,863	0,534	0,406	19	0	0,368	0,34
6	0,309	0,739	0,745	20	0,116	0,194	0,138
7	1	0,325	0,286	21	0,012	0,088	0,069
8	0,783	0,754	0,754	22	0,341	0,269	0,2
9	0,695	0,659	0,599	23	0,378	0,236	0,172
10	0,012	0,847	0,896	24	0,032	0,63	0,436
11	0,092	0,736	0,712	25	0,578	0	0
12	0,293	0,655	0,551	26	0,309	0,551	0,427
13	0,554	0,733	0,696	27	0,273	0,402	0,388
14	0,49	0,687	0,626				

Elde edilen dağılımdan Korelasyon katsayıları hesaplanır. Kriterlere ait standart sapmalar hesaplanıp adım 4'te yer alan Denklem 7 kullanılarak C_j değerleri hesaplanmıştır. Buna göre 27 farklı kriterin verdikleri bilgilerle ortaya koydukları ağırlıklarıyla, her bir değerlendirme kriterine ait bilgi miktarını temsil eden C_j değerleri, Eşitlik (5) ve Eşitlik (6) doğrultusunda, standart sapma ve korelasyon katsayı değerleri de dikkate alınarak hesaplanmış ve elde edilen bulgular Tablo 7'de sunulmuştur. Tablo 7'de gösterildiği üzere, CRITIC metoduyla hesaplanan kriter ağırlıklarına göre en önemli kriter 0,515 değeri ile yüzey pürüzlülük değeri ve bu değeri sırasıyla 0,253 değeri ile delme kuvveti ve 0,233 değeri ile delaminasyon izlemektedir.

Tablo 7. σ_j , C_j , w_j değerleri tablosu

	R_a	D_m	Kuvvet
σ_j	0,294	0,256	0,278
C_j	0,519	0,234	0,255
w_j	0,515	0,233	0,253

3.4. CRITIC Ağırlıklandırılmış Taguchi S/N CoCoSo Metoduyla Parametrelerin Optimizasyonun

CoCoSo metoduna göre parametrelerin sıralanması için maliyet kriterlerine göre denklem 8 kullanılarak normalize karar matrisi oluşturulmuştur. Bu matris kullanılarak denklem 9 ve 10 yardımıyla S_i ve P_i değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen S_i ve P_i değerleriyle, alternatiflerin değerlendirme stratejileri (k_{ia} , k_{ib} , k_{ic}) Denklem 11, 12 ve 13'e göre hesaplanır. Bulunan bu üç değerlendirme puanı, denklem 14 kullanılarak türetilen diğer seçeneklerin karşılaştırmalı ağırlıklarının (k_i) oluşturulması için kullanılır. Tablo 8'de alternatiflerin değerlendirme stratejileri (k_{ia} , k_{ib} , k_{ic}) ile CoCoSo endeksi (k_i) verilmiştir. Tablodaki endeksine göre en büyük en iyidir prensibine göre sıralama yapılarak S/N oranları da gösterilmektedir. Sıralamaya göre 18 numaralı deney en iyi sonuçları verirken 21 nolu deneyde de 27. Sıra ile en kötü sonucu vermektedir.

Tablo 9, Tablo 8'deki alternatiflerin k_i değerleri kullanarak hesaplanan yüzey pürüzlülüğü, delaminasyon ve itme kuvveti için ANOVA sonuçlarını vermektedir. Tablo 9'a göre, yüzey pürüzlülüğü, delaminasyon ve itme kuvvetinin maksimizasyonu aynı anda dikkate alındığında, TT faktörü, %61,66 ile en önemli katkıyı sağlarken %W 30,72'lik katkı sağlamaktadır. Diğer kontrol parametrelerinin katkısı önemsiz düzeydedir. Takım tipi ve ÇDKNT katkı oranında P değerlerinin <0.05 anlamlı çıktığı görülmüştür. Diğer parametrelerde istatistiki bakımdan anlamlı sonuçlar vermektedir. $S=0.676$, $R^2=95,54\%$, $R^2(\text{adj})=92,51\%$

Tablo 8. CoCoSo metoduna göre performans sıralaması ve Taguchi S/N oranı

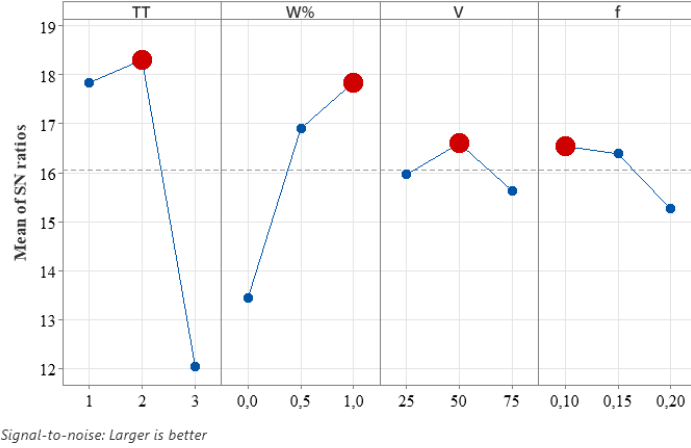
Deney No	S _i	P _i	k _{ia}	k _{ib}	k _{ic}	k _i	S/N	Sıralama
1	0,427	2,248	0,037	12,65	3,35	6,51	16,27	14
2	0,413	2,25	0,037	12,33	3,33	6,38	16,1	15
3	0,336	2,098	0,034	10,38	3,05	5,51	14,82	19
4	0,59	2,501	0,043	16,69	3,87	8,27	18,35	10
5	0,671	2,588	0,045	18,63	4,08	9,09	19,17	5
6	0,519	2,407	0,04	14,95	3,66	7,52	17,53	12
7	0,662	2,498	0,044	18,31	3,96	8,91	18,99	7
8	0,769	2,749	0,049	21,06	4,41	10,16	20,14	3
9	0,662	2,615	0,045	18,47	4,1	9,05	19,13	6
10	0,43	2,037	0,034	12,43	3,09	6,28	15,96	16
11	0,399	2,142	0,035	11,87	3,18	6,13	15,75	18
12	0,442	2,298	0,038	13,06	3,43	6,7	16,53	13
13	0,631	2,581	0,044	17,72	4,02	8,73	18,82	9
14	0,57	2,498	0,042	16,23	3,84	8,09	18,16	11
15	0,638	2,536	0,044	17,82	3,97	8,74	18,83	8
16	0,729	2,679	0,047	20,07	4,27	9,72	19,75	4
17	0,787	2,766	0,049	21,48	4,45	10,33	20,29	2
18	0,825	2,814	0,05	22,41	4,56	10,73	20,61	1
19	0,172	1,554	0,024	5,95	2,16	3,39	10,6	25
20	0,14	1,619	0,024	5,31	2,2	3,17	10,02	26
21	0,044	1,18	0,017	2,56	1,53	1,78	4,99	27
22	0,289	1,977	0,031	9,16	2,84	4,94	13,88	22
23	0,293	1,961	0,031	9,23	2,82	4,96	13,91	21
24	0,273	1,879	0,03	8,68	2,7	4,69	13,42	23
25	0,298	0,754	0,015	7,74	1,32	3,55	11,01	24
26	0,395	2,224	0,036	11,9	3,28	6,19	15,84	17
27	0,332	2,109	0,034	10,31	3,06	5,49	14,79	20

Tablo 9. CoCoSo için ANOVA analizi

Source	DF	Contr.	SeqSS	F-Value	P-Value
TT	2	61,66%	93,049	101,62	0,000
W%	2	30,72%	46,354	50,62	0,000
V	2	0,89%	1,34	1,46	0,258
f	2	1,28%	1,928	2,11	0,151
Error	18	5,46%	8,241		
Total	26	100,00%	100,00%		
S=0,676		R ² =95,54%		R ² (adj)=92,51%	

CoCoSo metoduna göre elde edilen Taguchi S/N oranı grafiğinden, yüzey pürüzlülüğü, delaminasyon ve itme kuvveti için aynı anda optimum değerleri sağlayan deney parametrelerinin Şekil 7'ye göre A₂B₃C₂D₁ şeklinde gerçekleştiği görülmektedir. Bu parametreler deney sıralamasındaki 17 no'lu deney karşılık gelmektedir. Buna göre Karbür takımla delinen, %1 ÇDKNT katkı oranıyla üretilen polimerin 50 m/dakika kesme hızıyla kesilmesi ve 0,1 mm/dev ile ilerlemesi ile yapılan deney şartları üç çıktı için

elde edilen optimum parametreler olarak karşımıza çıkmaktadır. 17. No'lu deney sonuçları ise $R_a=5,786$ μm , $D_m=1,128$ ve $F_t= 45,01$ N değerleridir.



Şekil 7. CoCoSo için için Taguchi S/N oranı grafiği

Tablo 10'da, S/N Oranları için Taguchi COCOSO Yanıt Tablosu verilmiştir. Tablodan kontrol parametrelerinin çıktılara etkisi görülmektedir. Tabloya göre takım tipi 2. Seviyedeki 18,3 ve 6,25 delta değeriyle en etkili parametredir. Takım tipini 4,39 değeriyle % ÇDKNT oranı takip etmekte diğer parametrelerin etkisi çok daha düşük düzeyler olduğu görülmektedir.

Table 10. S/N Oranları için Taguchi COCOSO Yanıt Tablosu

Level	TT	Wt%	V	f
1	17,83	13,45	15,96	16,54
2	18,3	16,9	16,6	16,38
3	12,05	17,84	15,63	15,26
Delta	6,25	4,39	0,97	1,28
Rank	1	2	4	3

4. Sonuçlar

Günümüz nanokompozitleri, genellikle işlenmesini gerektiren çeşitli mühendislik sektörlerinde yaygın uygulamalar bulmuştur. Bu çalışmada, çok duvarlı karbon nanotüpler takviyeli kompozitler, kuru delme koşulları altında farklı matkap türleri ile delme işlemine tabi tutulmuştur. ÇDKNT oranı, Matkap tipi, ilerleme ve kesme hızı gibi farklı delme parametrelerinin, delik hasarında meydana gelen delaminasyon faktörü, yüzey pürüzlülüğü ve itme kuvveti üzerindeki etkilerini araştırmak için 27 deneyden oluşan üç seviyeli Taguchi L_{27} ortogonal deneysel bir çalışma yapılmıştır. Delme parametrelerinin optimal kombinasyonunu belirlemek için, yakın zamanda geliştirilmiş birçok kriterli karar verme araçları arasından CoCoSo metodu kullanılmıştır. Bu çalışmada, karar verme sürecinde özneliği önlemek için çok kriterli karar verme yöntemlerinin ağırlıklandırılmasında CRITIC metodu kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Yapılan L_{27} deney sonuçlarına göre en düşük $R_a=4,95$ μm değeri ile 7 numaralı deneyde, en düşük Delaminasyon $D_m=1,099$ değeriyle 15 no'lu deneyde ve en düşük itme kuvveti $F_t=44,24$ N değeri ile yine 15 no'lu deneyden elde edilmiştir.
- ANOVA analizinde Yüzey pürüzlülüğü için en önemli katkı oranı %51,62 ile %ÇDKNT oranı etki ederken Delaminasyon için %60,95 ve itme kuvveti içinde % 62,00 ile Takım tipi etkin olmuştur.
- S/N oranlarına göre optimum deney şartları yüzey pürüzlülüğü için $A_1B_3C_1D_3$ (TT: HSS takım, %W: %1, V:25 m/dk, f:0,2 mm/dev) şartlarında, delaminasyon için $A_2B_2C_3D_1$ (TT: Karbür takım, %W: %0,5, V:75 m/dk, f:0, mm/dev) şartlarında, $A_2B_3C_3D_1$ (TT: Karbür takım, %W: %1, V:75 m/dk, f:0,1 mm/dev) şartlarında meydana geldiği görülmüştür.
- CRITIC metoduyla hesaplanan kriter ağırlıklarına göre en önemli kriter 0,515 değeri ile yüzey pürüzlülük değeri ve bu değeri sırasıyla 0,253 değeri ile delme kuvveti ve 0,233 değeri ile delaminasyondur.
- CoCoSo metoduna göre yapılan sıralamaya göre 18 numaralı deney en iyi sonuçları verirken 21 no'lu deneyde de 27. sıra ile en kötü sonucu vermektedir.
- CRITIC Ağırlıklandırılmalı Taguchi S/N tabanlı CoCoSo metodunda optimum değerleri sağlayan deney parametrelerinin $A_2B_3C_2D_1$ şeklinde gerçekleştiği görülmektedir.

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

- Akçakanat Ö., Eren H., Aksoy E., Ömürbek V. Performance evaluation by entropy and WASPAS methods at banking sector. SDU the Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences 2017; 22(2): 285-300.
- Anand G., Alagumurthi N., Elansezhian R., Palanikumar K., Venkateshwaran N. Investigation of drilling parameters on hybrid polymer composites using grey relational analysis, regression, fuzzy logic, and ANN models. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering 2018; 40: 1-20.
- Barua A., Jeet S., Bagal DK., Satapathy P., Agrawal PK. Evaluation of mechanical behavior of hybrid natural fiber reinforced nano sic particles composite using hybrid Taguchi-CoCoSo method. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering 2019; 8(10): 3341-3345.

- Bilge T., Motorcu R., Ivanov A. Kompakt laminat kompozit malzemenin tungsten karbür takımlarla delinmesinde delaminasyon faktörünün değerlendirilmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2017; 23(4): 427-436.
- Biruk-Urban K., Bere P., Józwiak J., Lelęć M. Experimental Study and Artificial Neural Network Simulation of Cutting Forces and Delamination Analysis in GFRP Drilling. Materials 2022; 15(23): 8597.
- Ceritbinmez F., Yapıcı A. The effect of drill point angle And MWCNTs doped In drilling of composite materials. academic Perspective Procedia 2020; 3(1): 180-188.
- Chakraborty S., Chakraborty S. A scoping review on the applications of MCDM techniques for parametric optimization of machining processes. Archives of Computational Methods in Engineering 2022;29: 1-22.
- Davim JP., Reis P. Drilling carbon fiber reinforced plastics manufactured by autoclave—experimental and statistical study. Materials design 2003; 24(5): 315-324.
- Davim JP., Reis P., Antonio CC. Experimental study of drilling glass fiber reinforced plastics (GFRP) manufactured by hand lay-up. Composites Science and Technology 2004; 64(2): 289-297.
- Engin KE., Harun Y. Effect of drilling parameters on hole quality in drilling of pultruded GFRP composite material: Surface roughness, thrust force and delamination factor. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2023; 12(4): 1573-1580.
- Fedai Y., Basar G., Kirli Akin H. Multi-response optimization in drilling of MWCNTs reinforced GFRP using grey relational analysis. Tehnički Vjesnik 2022; 29(3): 742-751.
- Karnik S., Gaitonde V., Rubio JC., Correia AE., Abrão A., Davim JP. Delamination analysis in high speed drilling of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using artificial neural network model. Materials Design 2008; 29(9): 1768-1776.
- Haoues S., Yallese MA. Belhadi S., Chihaoui S., Uysal A. Modeling and optimization in turning of PA66- GF30% and PA66 using multi-criteria decision-making (PSI, MABAC, and MAIRCA) methods: A comparative study, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2022; 1-21.
- Kavad B., Pandey, A., Tadavi, M., Jakharia H. A review paper on effects of drilling on glass fiber reinforced plastic. Procedia Technology 2014; 14: 457-464.
- Kilickap E. Optimization of cutting parameters on delamination based on Taguchi method during drilling of GFRP composite. Expert Systems with Applications 2010; 37(8): 6116-6122.
- Kumar R., Singh S., Bilga PS., Singh J., Singh S., Scutaru ML., Pruncu CI. Revealing the benefits of entropy weights method for multi-objective optimization in machining operations: A critical review. Journal of Materials Research and Technology 2021; 10: 1471-1492.
- Lin J., Lin C. The use of the orthogonal array with grey relational analysis to optimize the electrical discharge machining process with multiple performance characteristics. International Journal of Machine Tools and Manufacture 2002; 42(2): 237-244.

- Lukic D., Cep R., Vukman J., Antic A., Djurdjev M., Milosevic M. Multi-criteria selection of the optimal parameters for high-speed machining of aluminum alloy Al7075 thin-walled parts. *Metals* 2020; 10(12): 1570.
- Mahesh GG., Kandasamy J. Experimental investigations on the drilling parameters to minimize delamination and taperness of hybrid GFRP/Al₂O₃ composites by using ANOVA approach. *World Journal of Engineering* 2023; 20(2): 376-386.
- Osmond R., Mollahoseini Z., Singh J., Gautam A., Seethaler R., Golovin K., Milani AS. A group multicriteria decision making with ANOVA to select optimum parameters of drilling flax fibre composites: a case study. *Composites Part C: Open Access* 2021; 5: 100156.
- Palanikumar K., Latha B., Senthilkumar V., Davim JP. Analysis on drilling of glass fiber–reinforced polymer (GFRP) composites using grey relational analysis. *Materials and manufacturing Processes* 2012; 27(3): 297-305.
- Panchagnula KK., Sharma JP., Kalita K., Chakraborty S. CoCoSo method-based optimization of cryogenic drilling on multi-walled carbon nanotubes reinforced composites. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)* 2022; 1-19.
- Paramasivam SSS., Kumaran D., Natarajan H. Taguchi additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision making: a case study for treated drill tools performance. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies* 2020; 2067-3604.
- Pérez-Salinas C., Castro-Miniguano C., Moya-Moya E., Goyos L. Analysis of surface roughness and delamination factor applied to the drilling of hybrid polymeric composite materials by the Taguchi method. *Materials Today: Proceedings*, online press 2023;
- Rajamurugan T., Shanmugam K., Palanikumar K. Analysis of delamination in drilling glass fiber reinforced polyester composites. *Materials Design* 2013. 45, 80-87.
- Rubio JC., Abrao A., Faria P., Correia AE., Davim JP. Effects of high speed in the drilling of glass fibre reinforced plastic: evaluation of the delamination factor. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 2008; 48(6): 715-720.
- Shanmugam V., Marimuthu U., Rajendran S., Veerasimman A., Basha AM., Majid MSBA., Esmaeely Neisiany R., Försth M., Sas G., Razavi N. Experimental investigation of thrust force, delamination and surface roughness in drilling hybrid structural composites. *Materials* 2021; 14(16): 4468.
- Shokrieh M., Daneshvar A., Akbari S. Reduction of thermal residual stresses of laminated polymer composites by addition of carbon nanotubes. *Materials Design* 2014; 53: 209-216.
- Singh KK., Kumar D. Experimental investigation and modelling of drilling on multi-wall carbon nanotube–embedded epoxy/glass fabric polymeric nanocomposites. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* 2018; 232(11): 1943-1959.

- Tabatabaeian A., Ghasemi AR. The impact of MWCNT modification on the structural performance of polymeric composite profiles. *Polymer Bulletin* 2020; 77(12): 6563-6576.
- Ünüvar A., Koyunbakan M., Bağci M. Optimization and effects of machining parameters on delamination in drilling of pure and Al₂O₃/SiO₂-added GFRP composites. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2022; 119(1): 657-675.
- Yazdani M., Zarate P., Kazimieras Zavadskas E., Turskis Z. A combined compromise solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems. *Management Decision* 2019; 57(9): 2501-2519.
- Zitoune R., Krishnaraj V., Collombet F. Study of drilling of composite material and aluminium stack. *Composite Structures* 2010; 92(5): 1246-1255.

Investigation of the Use of Hybrid Composite Materials Formed Using Two Different Resins in Vehicle Bumpers

Fethiye YALÇIN¹, Mustafa ÖZCANLI², Berkay KARAÇOR^{3*}

^{1,2,3}Çukurova University, Engineering Faculty, Automotive Engineering Department, 01330, Adana

¹<https://orcid.org/0000-0001-7697-5654>

²<https://orcid.org/0000-0001-6088-2912>

³<https://orcid.org/0000-0001-5208-366X>

*Corresponding author: bkaracor@cu.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 21.07.2023

Accepted: 03.01.2024

Published online: 11.03.2024

Keywords:

Vinyl ester

Polyester

Glass fiber

Carbon fiber

Mechanical properties

Finite element method

ABSTRACT

As efforts to reduce vehicle weight in today's vehicles accelerate, efforts to find new types of materials that can replace traditional materials have accelerated. In this study, carbon fiber was used as a reinforcement element together with glass fiber for lightening in vehicle bumpers. While vinyl ester and polyester were chosen as the matrix material for the piece to be produced, production was made by the hand lay-up method. The produced samples were first subjected to tensile test and their mechanical values were determined. The mechanical test results were introduced to the ANSYS program, and separate analyzes were made for the materials produced on the same bumper design and the results were compared. According to the results of the analysis, there was 2.13 times decrease in total deformations in glass fiber/carbon fiber/vinyl ester hybrid composites compared to glass fiber/vinyl ester homogeneous composites. In terms of equivalent stresses, 8% reduction was achieved in the carbon fiber /glass fiber/vinyl ester hybrid composite compared to the carbon/vinyl ester homogeneous composite. It was concluded that the choice of reinforcement and matrix is important for creating bumper material and improving the mechanical values of the bumper.

İki Farklı Reçine Kullanılarak Oluşturulan Hibrit Kompozit Malzemelerin Araç Tamponlarında Kullanımının Araştırılması

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 21.07.2023

Kabul tarihi: 03.01.2024

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Vinilester

Poliester

Cam fiber

Karbon fiber

Mekanik özellikler

Sonlu elemanlar metodu

ÖZ

Günümüz araçlarında araç ağırlığını düşürme çabaları hızlanırken, geleneksel malzemelerin yerini alabilecek yeni malzeme türleri bulma çabaları da hızlanmıştır. Bu çalışmada araç tamponlarında aydınlatma için cam elyaf ile birlikte takviye elemanı olarak karbon elyaf kullanılmıştır. Üretilen parça için matris malzemesi olarak vinil ester ve polyester seçilirken, el yatırması yöntemiyle üretim yapıldı. Üretilen numuneler önce çekme testine tabi tutulmuş ve mekanik değerleri belirlenmiştir. Mekanik test sonuçları ANSYS programına tanıtılmış, aynı tampon tasarımı üzerinde üretilen malzemeler için ayrı ayrı analizler yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre cam elyaf/vinil ester homojen kompozitlere göre cam elyaf/karbon elyaf/vinil ester hibrit kompozitlerde toplam deformasyonlarda 2,13 kat azalma olmuştur. Eşdeğer gerilmeler açısından, karbon/vinil ester homojen bileşiğe kıyasla karbon elyaf / cam elyaf / vinilester hibrit kompozitte %8 azalma sağlanmıştır. Tampon malzemesinin oluşturulmasında ve tamponun mekanik değerlerinin iyileştirilmesinde takviye ve matris seçiminin önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

1. Introduction

In order to save fuel in automobiles, the first thing to focus on is to lighten the parts of automobiles. With the developing technology, the change in the efforts to lighten the vehicle is accelerating and the orientation to alternative materials begins (Durgun et al., 2013; Basith et al., 2021). Composite materials are also at the forefront of this trend. Composite materials are typically made up of two elements, the matrix and the reinforcement. The materials used for the reinforcement bear the load on the composite substance. The reinforcement part determines the toughness of the composite material, as well as mechanical characteristics like strength and impact resistance. The matrix material holds the composite together and is also responsible for stopping the development and progression of deformation in the composite material. The matrix material joins the reinforcing materials under pressure and distributes the force evenly throughout the component, preventing the composite from rupturing or fracturing. Despite having a low initial viscosity from the matrix material, it is desirable to have the ability to solidify easily. Appropriate matrix material selection is taken into account in order to obtain the desired results from the reinforcement element. The characteristics of the composite substance are determined by the properties of the chosen matrix and reinforcement element (Turkmen and Koksall, 2013; Karacor, 2020; Yıldızhan et al., 2022). Matrix materials utilized in the manufacture of composite materials include epoxy, polyester, vinyl ester, and phenolic resins. In this investigation, polyester and vinyl ester are employed. Polyester is the most basic and cost-effective resin and is widely employed in the composite sector. Polyester is quickly manufactured and is very resistant to environmental factors also has a low viscosity. Polyester resin has the drawback of having a brittle structure and limited chemical resistance. The bond formation is hampered by the exothermic process. Vinyl ester has handling properties comparable to polyester and performance properties similar to epoxy. It also has high corrosion resistance and is more resistant to abrasion and fracturing than polyester. Although vinyl esters offer better physical qualities than epoxy resins, they do not need sophisticated procedures or specialized handling abilities (Associates, 1999; Genç, 2006; Türkmen and Durmuş, 2013; Şen, 2020).

The fibers, which are the reinforcing components employed in conjunction with the matrix material, are the fundamental element of composite construction. The strength and characteristics of the fibers utilized are critical to the composite material's strength (Bağcı, 2010). From synthetic fibers, glass fibers and carbon fibers were used in this study.

Glass fibers are chemically resistant and simple to produce and are the most often used fiber reinforcement in polymer composites. Even though their tensile strength is outstanding, they can degenerate if overloaded over an extended period of time. Depending on the type of stone used in manufacture, several varieties of glass fiber can be generated E-glass, S-glass, R-glass, C-glass, and D-glass are the most regularly used glass fibers. E-glass is the most common form of glass used in the automobile industry (Genç, 2006; Serin et al., 2022). Carbon fibers are a type of fiber that evolved after

glass fibers and are commonly utilized. Although they are more durable than glass fiber, they are more expensive to produce. Carbon fibers have a strong and rigid structure as well as excellent corrosion resistance. Their most basic properties are their low density, high strength, and toughness. Carbon fibers, which have very high wear and fatigue resistance, are not affected by moisture and have high friction resistance. The strength and stiffness qualities in carbon fibers are enhanced when combined with the resin (Bağcı, 2010; Türkmen and Durmuş, 2013). Hybrid composites not only provide an appropriate balance between the advantages and disadvantages of the components that make up the composite, but are also structures in which the advantageous side of one of the components that make up the composite can compensate for the deficit of the other. In this way, cost-effective performance data is achieved with a hybrid composite design (Jani et al., 2016; Karacor and Özcanlı, 2023). In today's car sector, efficiency is increasingly important. As a result, the use of lightweight, high-strength materials is becoming more common in the car industry. Composite materials are among these materials that are appropriate for the specified properties and are presently used in many fields. Many components of today's cars, including fenders, front and rear bumpers, spoilers, headlamp masks, front and rear masks, trunk lids, door panels, and dashboards, are made of composite materials (Belingardi et al., 2015; Ramachandra, 2017; Ahmad et al., 2020).

When the literature is examined, it is seen that composite materials were used in vehicle bumpers, but it has been determined that static analysis studies have not been carried out on this design according to our examinations. Wang and Li examined the mechanical characteristics of aramid and glass fiber reinforced woven textiles and epoxy resin under tension, compression, bending, and shear circumstances. The non-linear tension test revealed that aramid fiber reinforced composites exhibited distortions when compared to glass fiber reinforced composites and had significantly reduced strength in compression, bending, and shear tests (Wang and Li, 2015). Hu et al. investigated the weight and impact strength of car bumpers. The carbon fiber reinforced plastic bumper beam is expected to take the position of the conventional high-strength steel bumper beam. The carbon fiber reinforced plastic bumper beam's energy absorption capabilities and dynamic reaction traits were examined and compared to those of the steel bumper beam. The results show that the carbon fiber reinforced plastic bumper beam has better energy absorption capacities and dynamic response characteristics than the steel bumper beam; weight is also reduced by approximately 50% by using carbon fiber reinforcement (Hu et al., 2015).

The bumper, which is one of the automotive elements, is the first part of the car that is exposed to the impact. Especially when it comes to pedestrian safety, the importance of the front bumper increases even more. If the bumper is too hard, most of the kinetic energy will not be absorbed, causing serious injury to the person hit (Reddy Mudem and Jani, 2019). In our literature review, it is limited to defining composite materials on vehicle bumpers by means of finite element analysis as in our current study. Instead of the traditional material utilized in the vehicle's rear bumper, the optimization of alternative composite materials was investigated in this study. 2 diverse reinforcing materials and 2 different matrix

materials using the hand lay-up process, and 6 distinct composite materials were created. Tensile tests were conducted on 6 dissimilar composite materials made under identical conditions, and their mechanical properties were compared. The mechanical results received from the test were fed into the ANSYS analysis software. For six different materials, the force was applied to the intended rear bumper. It is aimed to determine whether these 6 different materials can be used in vehicle bumpers by presenting the total deformation, equivalent stress, and safety factor values obtained in the ANSYS program.

2. Material and Method

2.1. Material

For this study, two different resins were preferred both in terms of cost and in order to examine the mechanical properties of two different matrices with artificial fibers. Table 1 displays the parameters of polyester and Vinyl ester, which were employed in this work to create a composite material. The mixing ratio for polyester and vinyl ester resin is resin: cobalt: perox ratio of 1: 0.0002: 0.02 weight.

Table 1. Mechanical properties of resins (Boytek, 2023a, 2023b)

Material	Tensile Strength (MPa)	Bending Strength (MPa)
Polyester Boytek 452	72	130
Vinyl ester Boytek bve 780	85	145

The usage of E-glass was determined to be suitable in this investigation. Table 2 indicates the properties of fibers. Figure 1 demonstrates the carbon and glass fiber used in the study.

Table 2. Properties of fibers (Kompozitshop, 2023a,2023b)

Fabric	Weave	Weight (g/m ²)	Thickness (mm)	Density(g/cm ³)	Elongation (%)	Tensile Modulus (GPa)
Glass fiber	Twill	500	0.12	2.6	3.5-4	73
Carbon fiber	Twill	250	0.1	1.79	1.6	240

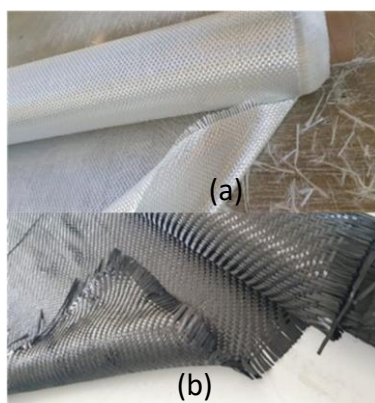


Figure 1. (a): Woven glass fiber (500 g/m²) and (b): Woven carbon fiber (250 g/m²)

2.2. Method

2.2.1. Hand Lay Up Method

The hand lay-up process is the most conventional process of the production methods. In order for the production surface to be smooth, the mold to be produced must be clean and smooth. Applying the resin to the mold is the first step in this manufacturing process. Then, the reinforcing element is placed on top of the resin and the resin is saturated with the reinforcing material. Production ends after the resin is distributed evenly throughout the mold and appropriate thickness measurements are obtained. The product is allowed to cure at room temperature before being removed from the mold, and after a certain period of time, it is removed from the mold and the product is ready (Prabhakaran et al., 2012).

In this work, for preparing the production, the surface was waxed and left to dry. Another layer of wax was added when it had dried. This procedure was carried out three times in all. To readily extract the created plate from the glass surface, wax is added to the surface. Figure 2 depicts the application of hand lay-up production steps. A3-sized fiber textiles were cut. Because the resins include cobalt, cobalt was not added again. The resin contained 0.7% MEK (methyl ethyl ketone). The prepared resin mixture was applied to the dry clean surface using a brush. The initial layer of fiber was applied to the resin, and the resin on the surface was brushed into the fiber. Layers of fibers were used. The fibers were piled, and then the resin was put between the fiber layers using a brush. A roller was used to create homogeneous plates and evenly dispersed resin, as well as to remove excess resin. Trapped air between the layers of plates was removed using a roller, resulting in a more homogenous structure for the manufacture and testing of specimens. With the help of a roller, the excess resin was removed from the system.



Figure 2. (a) Surface application of wax (b) Resin application (c) Resin application between fiber layers (d) Using a roller to remove excess resin

Each plate was made to be 4 mm thick in order to have similar plates. A glass plate was added on the upper surface to smooth it out and even out the pressure distribution on the plate. In this way, both surfaces of each plate were smooth and equal in thickness. Following the completion of the drying

process, the plates were detached from the glass plates and post-cured. The post-curing procedure took two hours at 90 degrees Celsius.

There were six plates made: glass fiber/polyester, glass fiber/vinyl ester, carbon fiber/polyester, carbon fiber/vinyl ester, hybrid of glass fiber and carbon fiber/polyester, and hybrid of glass fiber and carbon fiber/vinyl ester. These six plates were manufactured under identical circumstances. Table 3 depicts the specimens' abbreviations. In hybrid composites, the fiber layer order is glass fiber-carbon fiber-glass fiber-carbon fiber, starting from the first row, and 19 layers of glass fiber and 18 layers of glass fiber are used.

Table 3. Codes of specimen

Specimens	Abbreviations
Glass fiber and polyester resin	GP
Glass fiber and vinyl ester resin	GV
Carbon fiber and polyester resin	CP
Carbon fiber and vinyl ester resin	CV
Glass fiber and carbon fiber and polyester resin	GCP
Glass fiber and carbon fiber and vinyl ester resin	GCV

Despite their advantages, composites also present some challenges and limitations in terms of engineering design. One of the main challenges is the complexity and cost of composite manufacturing and processing, which often requires specialized equipment, techniques, and labor. Another challenge is the characterization and modeling of composite behavior and performance, which requires advanced analytical and numerical tools and experimental methods. There are also challenges such as the reliability and durability of composite structures and components, which depend on the quality of materials, design, manufacturing and maintenance, as well as the environmental impact and sustainability of composite materials, which include issues such as energy consumption, waste generation, recycling or disposal.

2.3. Abrasive Water Jet

During the abrasive water jet (AWJ) cutting process, a pump mechanism raises the water pressure to roughly 4000 bar, and the high-pressure water is supplied to the cutting head. Because the AWJ process does not include burning, there is no heat-affected zone in the material, and the mechanical and chemical characteristics of the material do not change in the cutting zones of the cut material. The cutting speed is fast. The cutting surface is smooth and devoid of burrs. The cutting force used throughout the procedure is quite low (Akkurt, 2004; Armağan and Arici, 2017). The plates created are made of composite materials. Because it has a fibrous structure, wrong cutting action results in erroneous mechanical test results. Furthermore, because the resins are combustible materials, even after the post-curing process is done, they may burn when cut in a machine such as a CNC Laser cutting machine. For all of these reasons, the abrasive water jet approach was chosen. A cutting plan was developed in accordance with the TS EN ISO 527-2 standard tensile test specimen dimensions type 1B. An abrasive water jet was used to cut five specimens from each plate. Figure 3 depicts specimen dimensions.

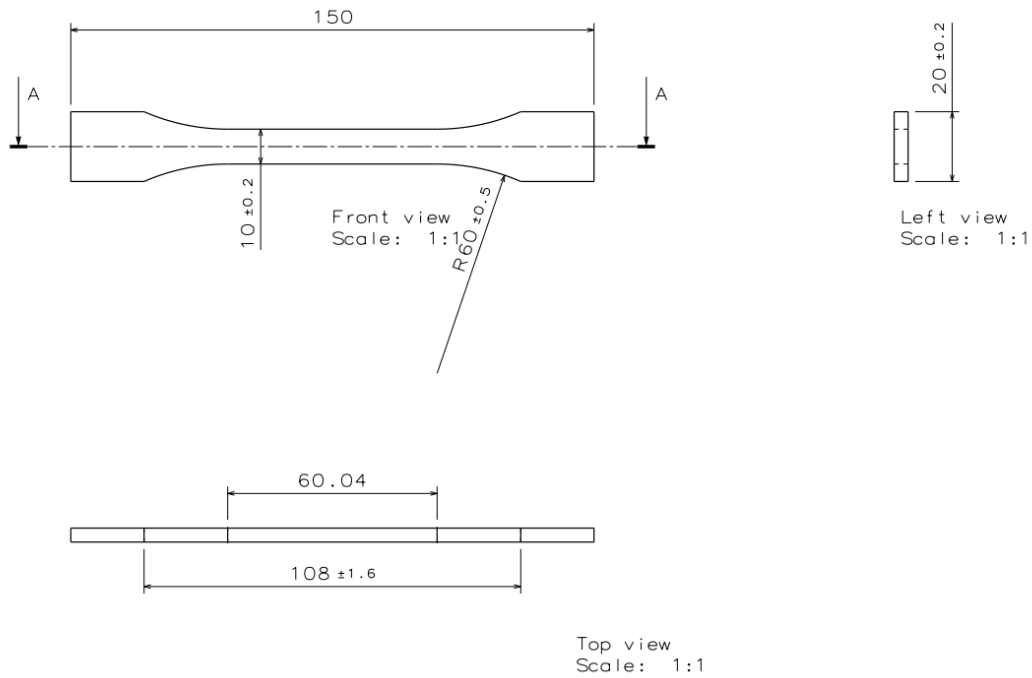


Figure 3. ISO 527-2 Type 1B tensile test specimen dimensions (mm)(British Standard Institution, 2012)

2.4. Tensile Test

The tensile test determines a material's resistance to a static or slowly applied force. The standard diameter and length samples are placed in the testing machine. When tensile and compression tests must be done often, a universal testing machine is utilized. When force is applied to a specimen, a strain gauge or extensometer measures how far it extends between the gage markings. As a result, the variation in sample length is measured relative to the original length. The tensile test can provide information on a material's strength, young modulus, and ductility (Askeland et al., 2011).

The ratio of expansion along one axis to contraction along the opposite axis in a material subjected to tensile or compression forces is defined as the Poisson ratio. When tensile stress is applied to a rubber band, the band lengthens axially and contracts in the transverse direction, causing it to also become thinner as it lengthens. At the same time, when compressive forces are applied to a rubber ball, the material shrinks longitudinally and expands laterally in the transverse axis, which is also described as Poisson's ratio. The equation for calculating Poisson's ratio is given as $\nu = (-\epsilon_{\text{trans}}) / \epsilon_{\text{axis}}$. ϵ_{trans} (transverse strain) is measured in the direction perpendicular to the applied force, while ϵ_{axis} (axial strain) is measured in the direction of the applied force. The poisson ratios in the article results were also obtained through the measuring devices on the testing machine (Instron,2023).

The poisson ratio compares the longitudinal elastic deformation caused by simple stretching or compression to the lateral deformation that occurs concurrently. The surface of the specimens is painted to identify them from one another and to reduce light reflection off the surface, as an extensometer is a light-sensitive equipment that may result in false measurement. As a result, the specimens' surfaces were coated with matte black spray paint. To perform the tensile test, the applied paints were allowed to dry.

Different dye colors were employed to differentiate the specimens from one another. Each hue represents a different substance from which the specimen was created.

Bars in the shape of a dog bone with a thickness of 4 mm, a width of 20 mm, and a length of 150 mm were prepared, taking into account the ISO 527-2 Type 1B standard. Tensile testing was carried out using a SCHIMADZU tensile test machine having a capacity of 100 kN according to ISO 527-2 Type 1B standard. The testing speed was chosen to be 2 mm/min. The percent extension in gauge length and percent decrease in the breadth of the test specimen were determined using an extensometer. The tensile test was performed on all of the specimens under identical conditions. Figure 4 depicts specimens cut in accordance with the standard.



Figure 4. Tensile test specimens

2.5. Finite Element Method

The FEM is a numerical computation method used to identify flaws in a structure when forces are applied. The FEM's practical application is Finite Element Analysis (FEA). ANSYS is an FEA application that may be used for a variety of purposes. ANSYS can tackle static and dynamic structural analysis, transient heat transfer issues, static or time-varying magnetic analysis, and other fields and coupled-field applications (Prabhakaran et al., 2012; Akhil et al., 2016; Özarlan, 2016).

The static analysis is used to determine the structure's deformation and stress distribution. To choose the optimal material for the bumper, many analyses such as static analysis are necessary. ANSYS 17.0 was utilized as a tool in this project to attain the project goal. The materials employed in the creation of the catalysts, as well as their characteristics, were identified in this chapter. The phases of the catalyst synthesis process were then thoroughly discussed. The next part provided technical information on the instruments used to create the catalyst and study its chemical and structural characteristics. The mechanical characteristics of the generated composite materials are not available in Engineering Data Sources for this project. This information must be combined with engineering data in order to perform static studies in ANSYS. Density, poisson ratio, yield strength, ultimate tensile strength, and young modulus are some of the mechanical characteristics used in static analysis in ANSYS.

The bumper was developed considering the rates of commercial buses produced in Turkey. The bumper measurements are indicated in Figure 5, and the thickness was set at 3 mm. As given in Figure 5, the width of the bumper is 233.72 mm and the length is 3095.84 mm. Design dimensions were taken from a specific type of bus produced by TEMSA company.

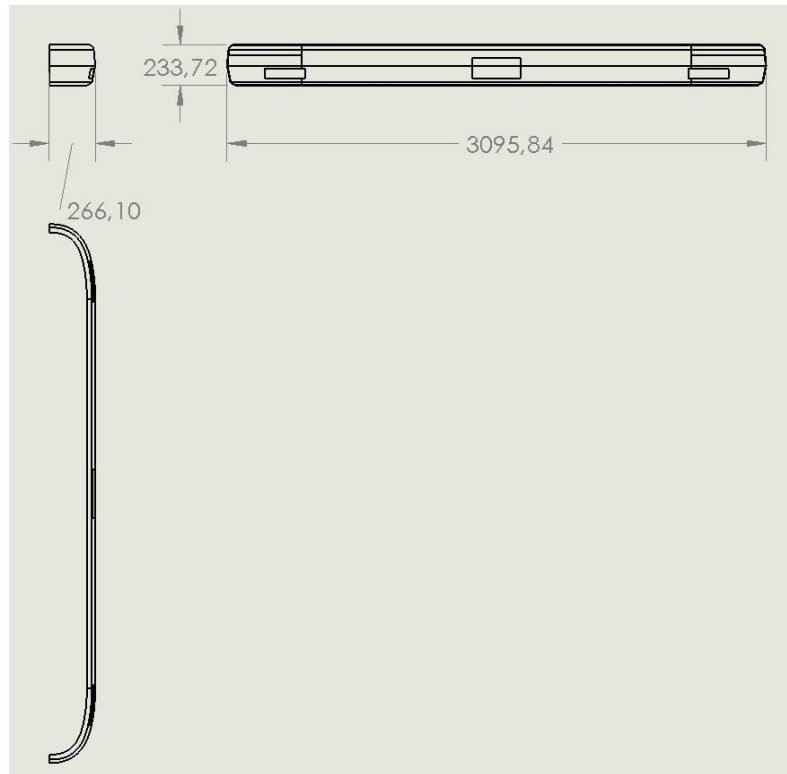
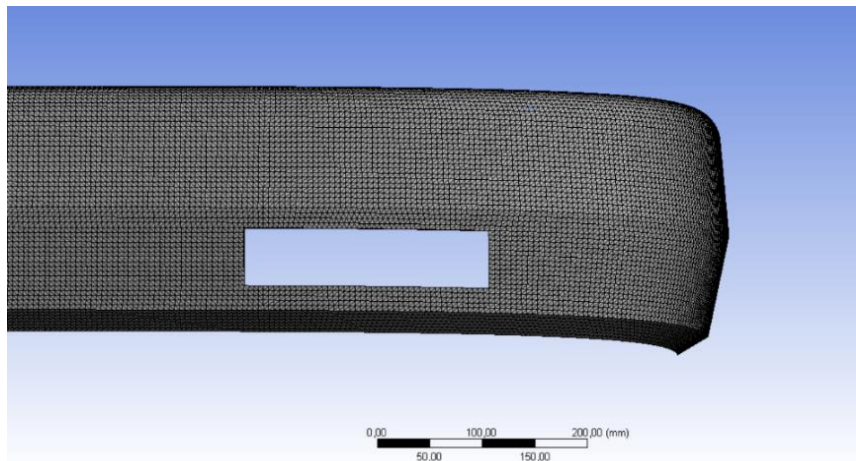
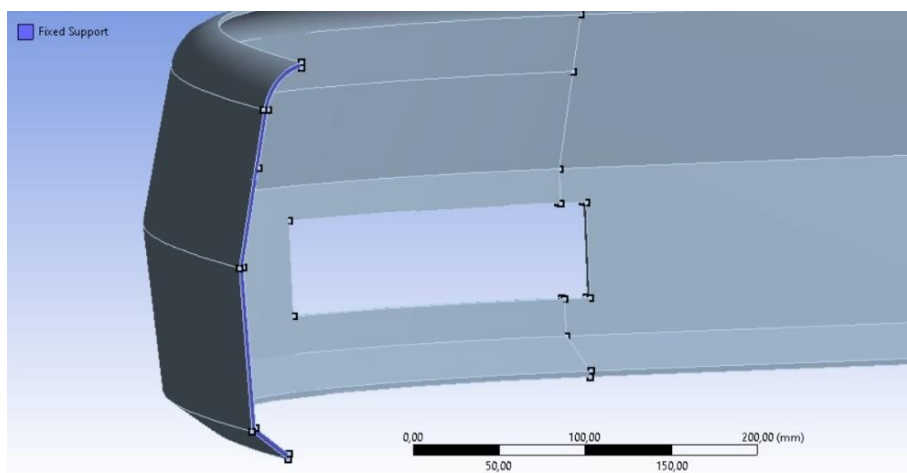


Figure 5. Bumper dimensions

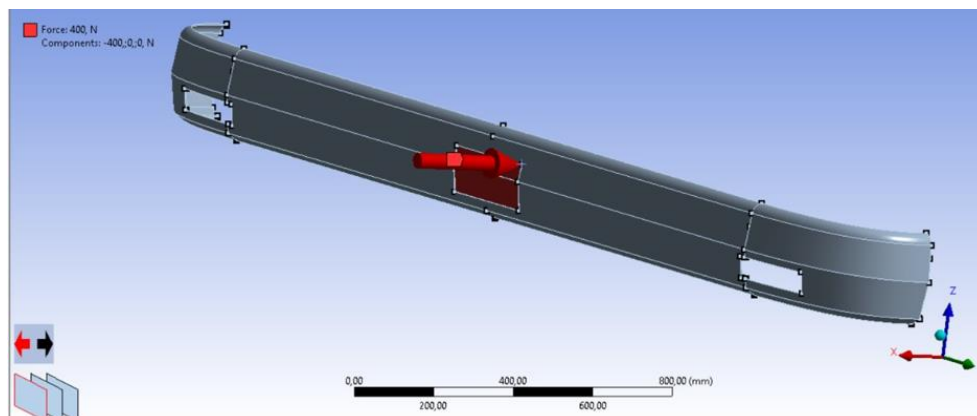
Special sizing and face meshing were applied to the object. Total number of nodes is 4584214 and the number of elements is 2776908. As method tetrahedron- patch confirming was selected. Figure 6a depicts the bumper model's full meshing. Mesh optimization was performed on the design. While the average element quality value was 0.81 mm, the average skew value was 0.26. The bumper model was fitted on both sides when the meshing procedure was done. Figure 6b depicts fixed support faces. The aim of the study is to compare 6 different materials with respect to each other. Several values were tried while determining the force value to be applied to the bumper. A force of 400 N was applied to the bumper to compare the von mises stresses and safety factors of the materials. It was evident that several of the materials could not withstand such stress, hence the safety factors were less than one. Figure 6c depicts the surface of the bumper model to which the force is applied as well as the force direction.



(a)



(b)



(c)

Figure 6. (a) Bumper mesh model (b) Fixed support zones (c) The force's application surface

3. Results and Discussion

Table 4 displays the mechanical characteristics of the composite structures based on the results of tensile tests. Table 5 displays static analysis results based on the ANSYS analysis.

Table 4. Mechanical characteristics of specimens

Specimen	Density(kg/m ³)	Poisson ratio	Yield stress (MPa)	Ultimate tensile stress (MPa)	Young modulus (GPa)
GP	1879	0.4	90	274	18.0
GV	1759	0.266	94	341	20.5
CP	1373	0.251	151	378	41.8
CV	1397	0.215	160	510	57.8
GCP	1662	0.34	129	380	38.4
GCV	1457	0.1	110	370	31.1

The findings of six different materials were compared in terms of their safety factor and von mises stresses and total deformation, as calculated by ANSYS.

Table 5. Comparison of static analysis results of materials

Materials	Safety factor	Von mises stresses (MPa)	Total deformation (mm)
GP	0.907	99.218	83.028
GV	0.849	110.67	72.698
CP	1.35	111.85	35.518
CV	1.399	114.37	25.659
GCP	1.245	103.56	38.867
GCV	0.915	120.23	47.224

When safety factor values are compared, GV material has the lowest value, while CV material has the highest value with 1.64 times that of GV material. Considering the von mises stress value, GCV material has the highest value, while GP has the lowest value. Von mises stress value of GCV material is 1.21 times that of GP material. In the total deformation comparison, the CV material has the lowest value, while the GP material has the highest value, 3.24 times that of the CV material. Ozarslan developed and evaluated carbon fiber and resin composite materials. The effect created by the use of composite materials in vehicle parts is emphasized in this study. He used the test findings of the experimental results to create the vehicle chassis in 3D in Solidworks drawing software. While the total deformation is 2.734 mm in aluminum material, it is 14.142 mm in carbon fiber - epoxy composite material. The von mises stress value is 5.6% better in carbon fiber-epoxy composite material than in aluminum material (Özarslan, 2016).

Şen aimed to optimize glass fiber, glass and carbon hybrid fiber reinforced composite and carbon fiber, glass and aramid hybrid fiber reinforced composite materials instead of polymer polypropylene material in the front fender of the vehicle. As a result of the study, the impact resistance value of the glass fiber reinforced material is five times higher than that of the polypropylene material. It has been understood from this study how the effect of using carbon and glass fiber has significant results on the front fender part (Şen, 2020). Sujon et al. examined how conventional metallic and alloy materials are being displaced in industrial uses by fiber-based composite materials. The findings obtained from the finite element analysis (FEM) program were compared with the experimental results. The highest UTS (Ultimate Tensile Strength) was obtained for sample C₂J₃C₂J₃ (571 MPa), while the lowest UTS was found for sample J₃C₄J₃ (496 MPa), which is 13% lower than C₂J₃C₂J₃. The C₂J₆C₂ sample has the second

highest UTS (548 MPa), which is just 4% lower than the greatest UTS. (C₂J₃C₂J₃). The representation as C₂J₃C₂J₃ is explained as 3 layers of jute on 2 layers of carbon, 2 layers of carbon, and 3 layers of jute (Sujon et al., 2020).

When the overall deformation data were reviewed, the material with the best value was found to be the material composed of carbon and vinyl ester. Compared to the other materials, the deformation value of the composite composed of glass fiber and polyester was quite high. When the entire table is studied, it is clear that the deformation value varies according to the kind of fiber. The study found that the density of CP and CV composite materials made using carbon fiber was lower than that of the other four materials. The yield stress value was 77.78% and the ultimate tensile stress value was 86.13% higher in the tensile test results of the composite material generated with carbon fiber and vinyl ester than in the composite material made with glass fiber and polyester. When the young modulus values of GP and GV composite materials were compared, they were close to each other and the lowest. The GP composite material had a young modulus value that was roughly double that of the GP and GV composite materials. Tensile test findings of GCP and GCV materials, which were hybrid composite materials, indicated that the mechanical properties were average when compared to the other four materials.

In similar studies conducted in the literature, attention was drawn to parameters such as creating the bumper material from hybrid composite materials and increasing the energy absorbing ability of the material. Neelima et al. focused on bumper beam selection under various factors such as shape and substance. In their research, they used steel, aluminum, carbon fiber epoxy, and S2 glass epoxy. These materials' stress, deformation, and weight were examined. Carbon fiber epoxy values from the research were compared to the 6 materials used in our investigation. The findings of density, poisson ratio, and young modulus of tested materials using ANSYS software are presented in Table 6. Comparing the mechanical values of carbon fiber epoxy with the materials used in this research, the density value is found to be similar to the substance composed of glass fiber, carbon fiber, and polyester. Carbon fiber epoxy substance, on the other hand, has a much greater young modulus value than other materials (Neelima et al., 2016).

Table 6. Mechanical properties of specimens and carbon fiber epoxy from Neelima et al. research

Specimen	Density (kg /m ³)	Poisson ratio	Young modulus (GPa)
GP	1879	0.4	18.0
GV	1759	0.266	20.5
CP	1373	0.251	41.8
CV	1397	0.215	57.8
GCP	1662	0.34	38.4
GCV	1457	0.1	31.1
Carbon fiber epoxy	1600	0.15	85.0

4. Conclusion

The purpose of this research is to identify a composite material for the manufacture of a lightweight bumper with improved mechanical qualities. In the scope of the study, six distinct composite materials

were identified and manufactured. Tensile tests were done on the manufactured composite materials, and the mechanical data of the materials were compared. An ANSYS bumper model was created, and the mechanical properties of six different composite materials were entered. Static analysis results from ANSYS materials were compared by applying the same force in the same region with the same direction. The composite material comprised of carbon fiber and polyester had the lowest density of the six different composite materials tested. The results of the tensile tests indicate that the composite of carbon fiber and vinyl ester exhibited better mechanical characteristics in terms of yield strength, ultimate tensile strength, and modulus of elasticity. According to ANSYS static study results, the GCV hybrid composite has the highest maximum von mises stress, while the CV composite has the highest safety factor value. When the safety factor, von mises stress, total deformation, and cost criteria are considered, it is obvious that the GCV hybrid composite has the most optimal values. The choice of fiber to lighten the bumper and the choice of resin to increase the mechanical qualities of the bumper were found to be relevant in this investigation. It is acceptable to conduct an optimization study, considering the mechanical values derived from the composites based on the cost criteria, utilization area, and the required mechanical attributes. The results of the study indicate that the bumpers to be used in vehicles will be both lighter and more durable if they are manufactured from composite materials, and shed light on the use of natural fibers as reinforcement elements in future bumper designs of this type.

Acknowledgment

This study was supported by the Scientific Research Projects Unit of Cukurova University (FYL-2021-13886)

Statement of Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare.

Author's Contributions

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

References

- Ahmad H., Markina AA., Porotnikov MV., Ahmad F. A review of carbon fiber materials in automotive industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2020; 971(3): 032011.
- Akhil AB., Shaik Usman Shaa G., Senthil Kumar. Experimental and numerical analysis of polymer matrix composite material for using in automobile bumper. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 2016; 5(06): 501–506.
- Akkurt A. Waterjet cutting systems and assesment of their industrial applications. *Journal of Polytechnic* 2004; 7(2): 129–139.

- Armağan M., Arici AA. Cutting performance of glass-vinyl ester composite by abrasive water jet. *Materials and Manufacturing Processes* 2017; 32(15): 1715–1722.
- Askeland DR., Fulay PP., Wright WJ. *The science and engineering of materials*, 6th ed. Stamford: Cengage Learning; 2011.
- Associates EG. *Marine composites* 2nd ed. Maryland: Eric Greene Associates; 1999.
- Basith MA., Chandrashekar Reddy N., Uppalapati S., Jani SP. Crash analysis of a passenger car bumper assembly to improve design for impact test. *Materials Today: Proceedings*, 2021; 45: 1684–1690.
- Bağcı M. Investigation of erosion wear behaviour of glass fibre reinforced composite materials. The Graduate School of Natural and Applied Science of Selçuk University. PhD Thesis page number:38-50 Konya, Turkey, 2010.
- Belingardi G., Beyene AT., Koricho EG., Martorana B. Alternative lightweight materials and component manufacturing technologies for vehicle frontal bumper beam. *Composite Structures* 2015; 120: 483–495.
- Boytek. Polyester 452 Properties. Retrieved from <https://www.boytek.com.tr/subpage/polyester-recineleri/genel-amacli>. 2023.a; Accessed:23.01.2023
- Boytek, Vinyl ester Bve 780 Properties. Retrieved from <https://www.boytek.com.tr/subpage/vinil-ester/vinil-ester-resins>. 2023.b; Accessed:23.01.2023
- British Standard Institution EN ISO 527-2. *Plastics — Determination of tensile properties — Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics*. Brussels. 2012.
- Durgun İ., Vatansever O., Ertan R., Yavuz N. Experimental comparison of composite part manufacturing processes used in automotive industry. In II. Ulusal Ege Kompozit Malzemeler Sempozyumu. 7-9 November 2013, İzmir.
- Genç Ç. Experimental comparison of production methods regarding fiberglass reinforced plastic. The Graduate School of Natural and Applied Science of Kocaeli University. MSc Thesis, page number: 2-8 Kocaeli, Turkey, 2006.
- Hu Y., Liu C., Zhang J., Ding G., Wu Q. Research on carbon fiber–reinforced plastic bumper beam subjected to low-velocity frontal impact. *Advances in Mechanical Engineering*, 2015; 7(6): 1-15.
- Instron, Poisson ratio properties. Retrieved from <https://www.instron.com/en/resources/glossary/poissons-ratio>. 2023; Accessed:22.11.2023
- Jani SP., Senthil Kumar A., Adam Khan M., Uthaya Kumar M. Machinability of hybrid natural fiber composite with and without filler as reinforcement. *Materials and Manufacturing Processes* 2016; 31: 1393-1399.
- Karacor B. The usage of natural fiber reinforced hybrid composite materials as an alternative to automobile interior plastics. The Graduate School of Natural and Applied Science of Cukurova University. MSc Thesis page number:1-14 Adana, Turkey, 2020.

- Karacor B., Özcanlı M. Analysis of mechanical properties of flax/carbon fiber reinforced hybrid composites produced using two different production methods. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* 2023;11(2): 459–473.
- Kompozitshop, Glass fiber Properties. Retrieved from <https://www.kompozitshop.com/cam-elyaf-dokuma-kumas>. 2023.a; Accessed:22.06.2023
- Kompozitshop, Carbon fiber Properties. Retrieved from <https://www.kompozitshop.com/karbon-fiber-kumas-245-grm2-3k-twill-en150-cm>. 2023.b; Accessed:22.06.2023
- Neelima V., Rao BBJ., Viswatej K., Tech M. Design and analysis of bumper beam with composite materials. *International Journal & Magazine of Engineering, Technology, Management and Research*, 2016; 3(6): 253–259.
- Özarslan H. Design and development of a light weight composite chassis for electric vehicle applications. The Graduate School of Natural and Applied Science of Cukurova University. MSc Thesis page number:37-81 Adana, Turkey, 2016.
- Prabhakaran S., Chinnarasu K., Kumar MS., Design and fabrication of composite bumper for light passenger vehicles. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)* 2012; 2(4): 2552–2556.
- Ramachandra R. Modeling and static analysis of car bumper. *International Journal of Engineering Development and Research*, 2017; 5(4): 421–436.
- Reddy Mudem S., Jani SP. Modelling and simulating the effect of sunlight heat on front bumper. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 2019; 9(2): 548–554.
- Şen T. The usage of fiber reinforced composite materials in automotive industry. The Graduate School of Natural and Applied Science of Süleyman Demirel University. MSc Thesis page number: 5-75 Isparta, Turkey,2020.
- Serin H., Güzel G., Kumlu U., Akar MA. Potential of using agricultural waste composites as thermal insulation material. *Macromolecular Symposia* 2022; 404(1): 2100409.
- Shaid Sujon A., Mehruz N., Ahsan Habib M. Experimental and numerical investigation on the tensile and water absorption behavior of jute/carbon reinforced epoxy composite. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 2020; 11(2): 130–140.
- Türkmen İ., Durmuş H. Deniz taşıtlarının üretiminde kullanılan kompozit malzemeler. In Ergin A., Kızılay E., Aydın M., Kolay O., Bostancı S., Ergin S., Erdoğan S., Bal Ş. (ed.), İstanbul: Naval Architecture & Marine Technology: The Chamber of Turkish Naval Architects & Marine Engineers 2013; 10–27.
- Turkmen I., Koksall, SN. Investigation of mechanical properties and impact strength depending on the number of fibre layers in glass fibre. *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi* 2013 ;2(2): 17–30.
- Wang T., Li Y. Design and analysis of automotive carbon fiber composite bumper beam based on finite element analysis. *Advances in Mechanical Engineering* 2015; 7(6): 1-12.

Yıldızhan Ş., Yel F., Akar MA., Kumlu U. Tensile and morphological properties of waste tire rubber granule/polyester polymer matrix composite. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi 2022; 37(3): 773–780.

Batman İli için Sis ve Görüş Mesafesi Analizi

Bayram DENİZ¹, Veli YAVUZ^{2*}

^{1,2}Samsun Üniversitesi, Özdemir Bayraktar Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 55500, Samsun

¹<https://orcid.org/0009-0005-7072-3823>

²<https://orcid.org/0000-0002-8873-3756>

*Sorumlu yazar: veli.yavuz@samsun.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 02.07.2023

Kabul tarihi: 18.12.2023

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Sis hadisesi

Görüş mesafesi

FOGSI

Batman

Kritik başarı indeksi

ÖZ

Sis, canlıların yaşamını etkileyen ve olumsuz sonuçlara neden olabilen meteorolojik hadiselerden biridir. Görüş mesafesini azaltması sebebiyle başta havacılık sektörü olmak üzere kara ve deniz ulaşımlarında da kaza ve kırımlara yol açmaktadır. Bu çalışmada, Batman ilinde sis hadisesinin 2013-2022 yılları arası için detaylı analizi gerçekleştirilmiştir. Sisli zamanların tespit edilmesi ve yer seviyesi meteorolojik parametrelerin temini için Batman Havalimanı tarafından yayınlanan havacılık rasatları kullanılmıştır. Periyot kapsamında toplamda 625 gün sisli olarak tespit edilmiş, yıllık ortalama sisli gün sayısı ise 56,8 gün olmuştur. Batman Havalimanı tarafından yayınlanan Meydan Rutin Hava Raporu (METAR) analizlerinde en çok parçalı sis (BCFG) hadisesinin meydana geldiği tespit edilmiştir. Sisli zamanlarda sıcaklık (T) ve çiy noktası sıcaklık (Td) değerleri birbirine yakın seyretmiş ve bağıl nem değerleri sisli zamanlarda oldukça yüksek değerler almıştır. Fog Stability Index (FOGSI) analiz sonuçlarına göre sis tahmini için Batman ilinde en iyi eşik değer aralığı literatürde yer alan eşik değerden farklı olarak “25” olarak hesaplanmıştır. FOGSI için en uygun eşik değeri belirlenmesi için istatistiksel başarı testi olan Critical Success Index (CSI) kullanılarak bu değer tespit edilmiştir. Sonuç olarak, sis hadisesinin ve görüş mesafesinin FOGSI ile tahmin edilebilirliğini ortaya koymak için Batman ili dahilinde eşik değeri modifikasyonu gerçekleştirilerek bu hadisenin tahmini için yeni bir eşik değeri tespit edilmiştir.

Fog and Visibility Analysis for Batman Province

Research Article

Article History:

Received: 02.07.2023

Accepted: 18.12.2023

Published online: 11.03.2024

Keywords:

Fog events

Visibility

FOGSI

Batman

Critical success index

ABSTRACT

Fog is one of the meteorological phenomena that affects the lives of living beings and can lead to adverse consequences. Due to its ability to reduce visibility, it causes accidents and disruptions in land and sea transportation, especially in the aviation sector. In this study, a detailed analysis of the fog phenomenon in the Batman province was conducted for the years 2013-2022. Aviation observations published by Batman Airport were used to identify foggy periods and obtain ground-level meteorological parameters. Within the study period, a total of 625 days were identified as foggy, with an average of 56.8 foggy days per year. The analysis of Routine Meteorological Reports (METAR) published by Batman Airport revealed that the most common type of fog event was patchy fog (BCFG). During foggy periods, temperature (T) and dew point temperature (Td) values were close to each other, and relative humidity values were quite high. According to the Fog Stability Index (FOGSI) analysis results, the optimal threshold range for fog prediction in Batman

was calculated as "25," which differs from the threshold value found in the literature. The Critical Success Index (CSI), a statistical performance test, was used to determine the most suitable threshold value for FOGSI. As a result, a threshold value modification was performed within the Batman province to demonstrate the predictability of the fog event and visibility using FOGSI. A new threshold value was identified for the prediction of this phenomenon.

To Cite: Deniz B., Yavuz V. Batman İli için Sis ve Görüş Mesafesi Analizi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(2): 767-781.

1. Giriş

Sis, atmosferdeki su buharının soğuyarak küçük su damlacıklarına ya da buz kristallerine dönüşmesi sonucu oluşan bir meteorolojik fenomendir (Özdemir ve ark., 2016). Başta sis hadisesi olmak üzere, yağmur, kar, toz ve kum fırtınaları gibi meteorolojik olaylar özellikle yatay görüş mesafesinin düşmesine sebep olduğu için önem arz etmektedir. Başta havacılık sektörü olmak üzere, kara ulaşımında ve deniz ulaşımında görüş mesafesinin azalması sonucu kaza ve kırımlar meydana gelebilmektedir. Bunların yanı sıra, tarım (Baguskas ve ark., 2018), turizm (Gaceu, 2009) ve sağlık sektörleri de (Li ve ark., 2017) bu hadiseden etkilenebilmektedir.

Türkiye’de sis hadisesinin oluşum mekanizması, meydana geldiği atmosferik şartlar, klimatolojisi ve etkileri ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır (Özdemir ve ark., 2016; Özdemir ve ark., 2018; Baltacı ve ark., 2022). Akbayır ve ark. (2018), Türkiye’de bulunan askeri, sivil ve eğitim amaçlı olarak kullanılan 67 havalimanında meydana gelen sis hadiselerinin zamansal dağılımını incelemiştir. Çalışmada, farklı havalimanlarına ait veriler kullanılarak en çok sisin Ocak ayında görüldüğü ve bu ayı Şubat ayının takip ettiği belirlenmiştir. Sis olaylarının genellikle yer yüzeyinin soğumaya başladığı saatlerden güneşin doğuşuna kadar olan süre içinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. En az sis olaylarının ise güneşin doğuşu ile başlayıp batması ile son bulan saat diliminde gerçekleştiği görülmüştür. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında ise sis hadiselerinin nadiren gözlemlendiği saptanmıştır.

Aktaş ve Erkuş (2009), Eskişehir ili için sis hadisesinin yoğun olarak görüldüğü aylar ve belirli saat aralıklarındaki verileri kullanarak lojistik regresyon analizi yapmıştır. Analiz sonucunda, sis oluşumunu etkileyen değişkenlerin sıcaklık, nem, basınç, havanın kapalılık durumu ve rüzgar şiddeti olduğu belirlenmiştir. Elde edilen lojistik regresyon denklemi doğru sınıflandırma oranı %93 olan bir model oluşturmuştur. Sis oluşumunda havanın kapalılık durumu, nem ve basınç faktörlerinin en etkili olduğu, rüzgar hızı ve sıcaklığın ise sisin dağılmasında etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu tahminlerin özellikle hava alanlarında uçuş planlaması ve emniyetli uçuşlar için önemli bir rol oynayabileceği vurgulanmıştır.

Avşar (2015) İzmir Adnan Menderes Havalimanı’nda 2004-2014 dönemini kapsayan 10 yıllık periyotta pist görüşünün 1500 metre altında olduğu sisli rasatları Meydan Rutin Hava Raporu (Meteorological Aerodrome Report - METAR) ve Meydan Özel Hava Raporu (Special Aerodrome Report - SPECI) kullanarak incelemiştir. Araştırmada, adveksiyon sisleri ve radyasyon sisleri olmak üzere iki tür sisin görüldüğü belirlenmiştir. Toplamda 84 sisli gün tespit edilmiş olup, en yoğun sisli gün sayısı 2014 yılında 15 gün (%18) olarak kaydedilmiştir. Sıcaklık, 1 °C'nin altında olduğunda sis meydana geldiği, en yüksek sıcaklıkta ise 18 °C'de sisin gözlemlendiği saptanmıştır. Ayrıca, sisli günlerin çoğunlukla Aralık

ayında gerçekleştiği ve sisin genellikle tek başına (herhangi başka bir hadise olmadan) meydana geldiği tespit edilmiştir.

Yavuz ve ark. (2018), Fog Stability Index (FOGSI) kullanarak Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) sağlanan atmosferik veri ile Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı için sis analizi yapılmıştır. 2008-2014 yılları arasında radyozonde ve yüzey ölçüm verileri kullanılarak FOGSI değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, sis olasılığının yüksek olduğu değerlerin 32 gün olduğunu göstermiştir. Ayrıca, indeks değerinin 31 ila 55 arasında olduğu, yani “orta şiddette sis” olma durumunu yansıtan zamanların 215 gün olduğu belirtilmiştir. İndeks değerinin 55'ten büyük olduğu zaman dilimlerinde ise sis olmadığı tespit edilmiştir.

FOGSI kullanılarak dünya genelinde de birçok havalimanı için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Arun ve ark. (2018), sis ve alçak seviye bulutlarının tespiti için kış mevsimi boyunca FOGSI kullanarak analizler yapmıştır. Sayad ve ark. (2021), Mısır'da yer alan Borg El-Arab Havalimanı için FOGSI eşik değer aralıklarını geliştirerek sis tahmini yapmaya çalışmıştır. Elde edilen referans aralıkları kullanarak sayısal hava tahmin modeli entegrasyonu ile çevrimiçi bir sis tahmin modeli oluşturmuşlardır.

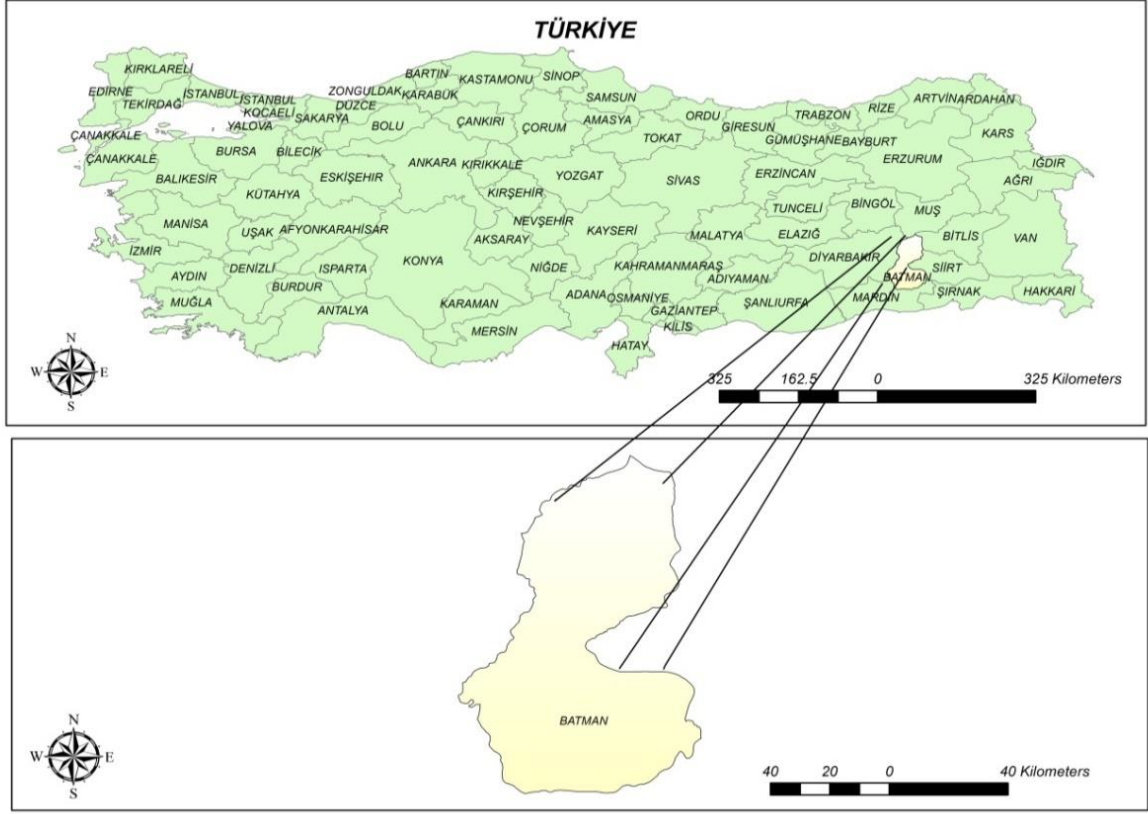
Sis hadisesinin ve görüş mesafesinin tahmin edilebilirliği ile ilgili yapılan çalışmalar ülkemizde oldukça kısıtlıdır. Yapılan çalışmalarda da, özellikle çeşitli indekslerin literatürde yer alan eşik değerleri direkt olarak kullanılıp analiz yapıldığı için tahminlerde tutarlılıklar oldukça düşük kalmaktadır. Her bir indeksin bulan kişi ya da kişiler tarafından çalıştığı bölge nezdinde yapıldığı gerçeği çok fazla hesaba katılmamaktadır. Bu sebeple, başta topografik etkiler ve bölge klimatolojisi gibi önemli değişkenler hatalı sonuçların çıkmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada, Batman ili için sis hadisesi ve görüş mesafesi ile ilgili hem uzun dönem analizler gerçekleştirilmiş, hem de bu hadisenin tahmin edilebilirliği ile ilgili çeşitli analizler yapılmıştır. Çalışma bölgesi olarak Batman ilinin seçilmesindeki temel sebep, ülkemizde sis hadisesinin ve olumsuz etkilerinin en çok yaşandığı yerlerden birisi olmasıdır. 2013-2022 yılları arasında sis hadisesinin meydana geldiği günlerin tespiti yapılarak aylık ve yıllık bazda istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, çeşitli meteorolojik parametrelerin sis hadisesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. FOGSI indeksi kullanılarak ortaya konulan tahminler ile (öncelikle literatürdeki eşik değer dikkate alınmıştır), gerçek gözlemler karşılaştırılmıştır. Başarım gücünü ortaya koymak için istatistiksel başarımlı testi olan Critical Success Index (CSI) tercih edilmiştir. Daha sonrasında, literatürdeki FOGSI eşik değerinde çeşitli modifikasyonlar yapılarak CSI değerinin optimum olduğu eşik değeri tespit edilmiştir. Böylelikle, Batman ili için FOGSI eşik değerinin literatürden farklı olarak daha yüksek başarımlı sonuçlar elde etmek için modifiye edilmiş hali literatüre kazandırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma bölgesi

Batman, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan ve tarihi zenginlikleri ile ünlü bir ilimizdir. Coğrafi konumu itibariyle, Diyarbakır'ın güneybatısında, Şırnak'ın doğusunda ve Siirt'in kuzeyinde yer almaktadır. İlin batısında Munzur Dağları, doğusunda ise Cudi Dağı ve Bestler Dereler Milli Parkı bulunmaktadır. Batman'ın yüzölçümü yaklaşık olarak 4649 kilometrekarelik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1).

Batman, sıcak ve kurak bir iklimin etkisi altındadır. Yaz aylarında sıcaklık değerleri genellikle yüksek seviyelerde seyrederken, kış aylarında ise soğuk ve yağışlı bir hava hakimdir. Şehrin 1959 – 2022 yılları arası yıllık ortalama sıcaklığı 15,9 °C, ortalama en yüksek yıllık sıcaklığı 23,8 °C ve ortalama en düşük yıllık sıcaklığı ise 8,9 °C olmuştur. Ortalama yağışlı gün sayısının yıllık bazda 80,8 gün olduğu şehirde, aylık toplam yağış miktarı ortalaması ise yaz aylarında yıllık toplamda 490,7 mm olarak hesaplanmıştır (MGM, 2023). Şehirde yağışlar genellikle yağmur şeklinde olmaktadır. Yüksek kesimlerde (Sason Dağları, Kuşaklı Dağı, Kortepe, Raman Dağı) zaman zaman kar yağışları da görülebilmektedir. Batman Çayı, Dicle Nehri, Garzan Çayı ve irili ufaklı birçok gölet, şehirde sıklıkla yaşanan sis hadisesi için önemli nem kaynaklarıdır. Özellikle Batman Çayı, Batman ve Diyarbakır arasında 115 km'lik bir sınıra sahip olmakla beraber Batman il sınırı içinde akmaktadır (TCCŞİDB, 2023). Batman ili, Köppen-Trewartha İklim Sınıflandırması'na göre Subtropikal kuru yaz iklimi, Akdeniz iklimi'de sahiptir (Kategori ismi: "Cs"). Ayrıca, Köppen-Trewartha İklim Sınıflandırmasında evrensel sıcaklık ölçeği eklendiğinde (yaz ve kış aylarına ilişkin bilgiler gelmektedir), yazları çok sıcak, kışları serin, Subtropikal kuru yaz iklimi, Akdeniz iklimi (Kategori ismi: "Cshk") gözlenmektedir (MGM, 2018).



Şekil 1. Çalışma bölgesi.

2.2. Materyal

Çalışmada ilk olarak Batman iline ait METAR verileri temin edilmiştir (Iowa State University, 2023). Bu veriler, hava sıcaklığı (T), çiy noktası sıcaklığı (Td), rüzgar şiddeti (Ws), rüzgar yönü (Wd) ve bağıl nem (RH) parametrelerinden oluşmaktadır.

Daha sonra, FOGSI için gerekli olan 850 hPa rüzgar şiddeti (W850) ve 850 hPa hava sıcaklığı (T850) verilerini elde etmek için sondaj verilerinden yararlanılmıştır. Bu doğrultuda Diyarbakır Radyozonde İstasyonu'na ait veriler periyot dahilinde temin edilmiştir (University of Wyoming, 2023).

2.2. Metot

Bu çalışmada, FOGSI kullanılarak sis oluşumlarının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu indeks literatürde sis tahmini ve görüş mesafesinin hesaplanması için birçok çalışmada kullanılmıştır. FOGSI, yüzey sıcaklığı, yüzey çiy noktası sıcaklığı, 850 hPa sıcaklığı, 850 hPa rüzgar şiddeti kullanılarak hesaplanmaktadır. Çeşitli eşik değer aralıkları için sis oluşma ihtimalinin olup olmadığını, orta ya da yüksek ihtimal olma olasılığını ifade etmektedir.

$$\mathbf{FOGSI} = 2 I (T_{sfc} - T_{850}) I + 2 I (T_{sfc} - T_{d_{sfc}}) I + W_{850} \quad (1)$$

FOGSI'de yer alan parametrelerin açıklamaları şu şekildedir; Tsfc: Yüzey Sıcaklığı; TDsfc: Yüzey Çiy Noktası Sıcaklığı; T850: 850 hPa Sıcaklığı; W850: 850 hPa Rüzgar Şiddeti.

FOGSI indeks aralıklarına göre sis oluşum ihtimalleri aşağıdaki gibidir;

- FOGSI < 31, olması durumu sis oluşma ihtimalinin yüksek olduğunu göstermektedir,
- 31 < FOGSI < 55, olması durumu sis ihtimalinin orta seviyede olduğunu belirtmektedir,
- FOGSI > 55, olması durumu ise sis ihtimalinin düşük olduğunu ifade etmektedir (Freeman ve Perkins, 1998).

Görüş mesafesi, başta havacılık sektörü olmak üzere kara ve deniz ulaştırma sektöründe de önemli bir parametredir. FOGSI görüş mesafesi ile en iyi korelasyona sahip indekstir. Görüş mesafesi değeri kullanılarak hesaplanmaktadır. Görüş mesafesi sonuçları bahsi geçen sektörler açısından karar alıcı mercilere önemli ipuçları verecektir.

$$\text{Görüş Mesafesi} = - 1,33 + 0,45 \times \text{FOGSI} \quad (2)$$

Bu çalışmada, havalimanı rasatlarından elde edilen sisli zamanların FOGSI ile tutarlılıklarının istatistiksel olarak hesaplanabilmesi için istatistiksel başarımlı testi uygulanmıştır. Başarımlı testlerinin içerisinde CSI kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Bu başarımlı indeksi, gerçek olay (METAR rasatlarında sis rapor edilmesi) ve tahmini olay (FOGSI çıktıları) arasındaki ilişkiyi bizlere sunmaktadır. Bu başarımlı indeksinin elemanları; 'doğru olay', 'doğru tahmin', 'sürpriz olay', 'yanlış tahmin' ve 'olay yok' olmak üzere dört adettir.

$$\text{CSI} = A / (A + B + C) \quad (3)$$

Bu denklemde,

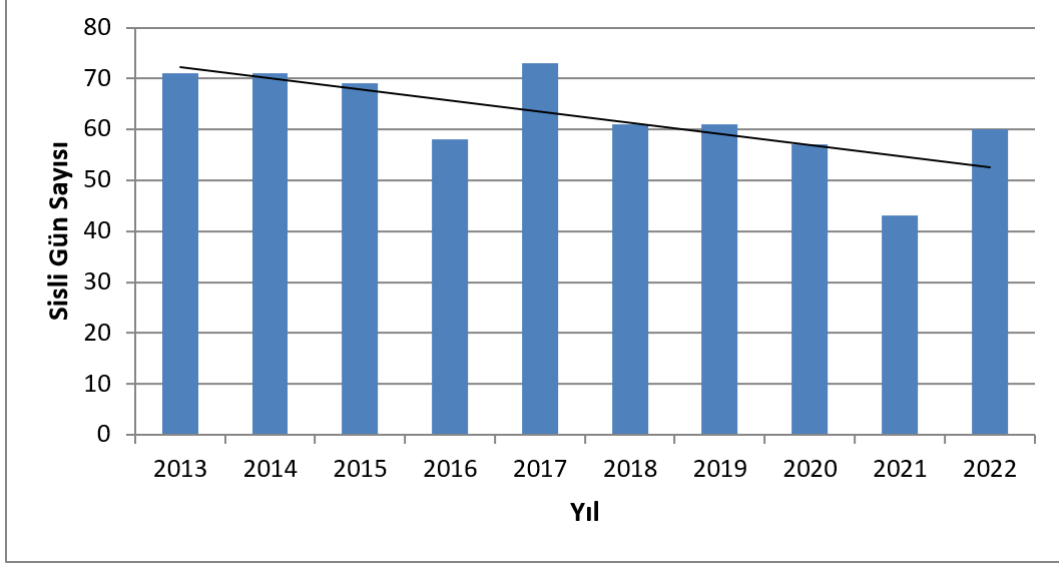
- A, gerçek olayın doğru şekilde tahmin edildiği durumları temsil eder.
- B, gerçek olayın yanlış şekilde tahmin edildiği durumları temsil eder.
- C, tahmin edilen olayın gerçekleşmemiş olmasını temsil eder.

CSI değeri, 0 ile 1 arasında değişen bir orandır. 1'e yaklaştıkça tahminin gerçekleşen olaylarla daha iyi uyum sağladığı anlamına gelir, yani tahmin daha doğrudur. 0'a yakın değerler ise tahminin gerçekleşen olaylarla uyumlu olmadığı ve tahminin düşük doğruluk oranına sahip olduğu anlamına gelir.

3. Bulgular ve Tartışma

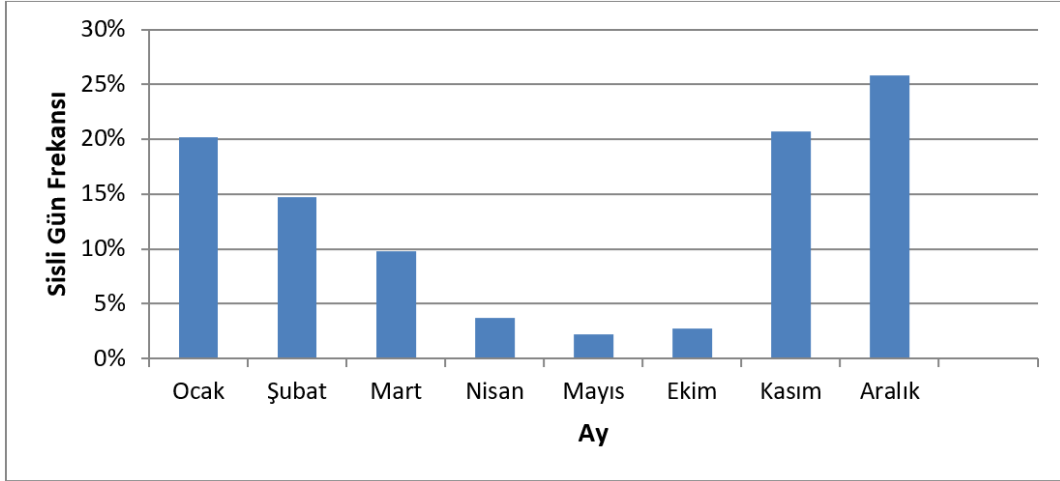
Batman ilinin 2013 ile 2022 yılları arasında 10 yıllık periyotta toplam sisli gün sayısı 625 gün olarak tespit edilmiştir. 10 yılın sisli gün ortalaması ise 56,8 gündür. 10 yıllık periyot içerisinde 2017 yılı sis açısından 73 sisli gün (%12) ile en sisli yıl olarak tespit edilirken, 2021 yılı ise 43 sisli gün (%7) sayısı

ile en az sisin görüldüğü yıl olarak belirlenmiştir (Şekil 2). Literatürde yapılan çalışmalarda Türkiye’de görülen sis hadiseleri ile ilgili yıllık bazda trendler gözlenmemiştir (Özdemir ve ark., 2016; Baltacı ve ark., 2022).



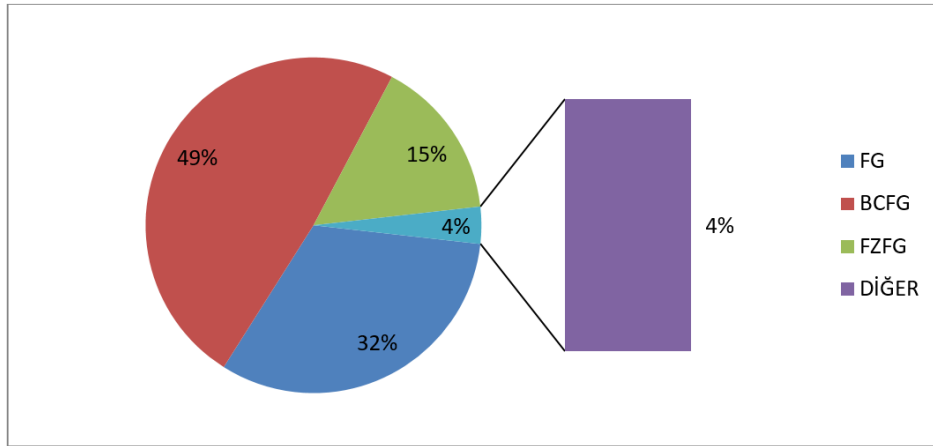
Şekil 2. Batman’da 2013-2022 yılları arasında meydana gelen sis hadisesinin yıllara göre dağılımı.

Batman ilinde 10 yıllık periyotta meydana gelen sis hadisesinin aylara göre oransal dağılımına bakıldığında, Aralık ayı %25 (161 gün) oranla en sisli ay olarak tespit edilmiştir. Diğer yoğun sisli ayların ise Kasım ayı %21 (129 gün) ve Ocak ayı %20 (126 gün) olduğu belirlenmiştir. Batman ilinde meydana gelen sislerin %66’sının Kasım, Aralık ve Ocak aylarını kapsayan 3 aylık periyotta meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu periyot, Batman ilinin en sisli periyodu olarak belirlenmiştir. Şubat ayında %15, Mart ayında %10, Nisan ayında %4, Mayıs ve Ekim aylarında %2, Eylül ayında %1 oranında sisli gün tespit edilmiştir. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında ise sis hadisesi meydana gelmemiştir (Şekil 3). Türkiye geneli sis hadiselerinin mevsimlik bazda analizleri ile ilgili yapılan çalışmalarda en yüksek mevsimlik frekansın kış mevsiminde, bunu takiben ilkbahar, sonbahar ve yaz mevsimlerinde gözlemlendiği belirtilmiştir. Ayrıca, adveksiyon sisinin en çok Mayıs ayında meydana geldiği bulunmuştur (Baltacı ve ark., 2022).



Şekil 3. Batman'da 2013-2022 yılları arasında meydana gelen sis hadisesinin aylara göre dağılımı.

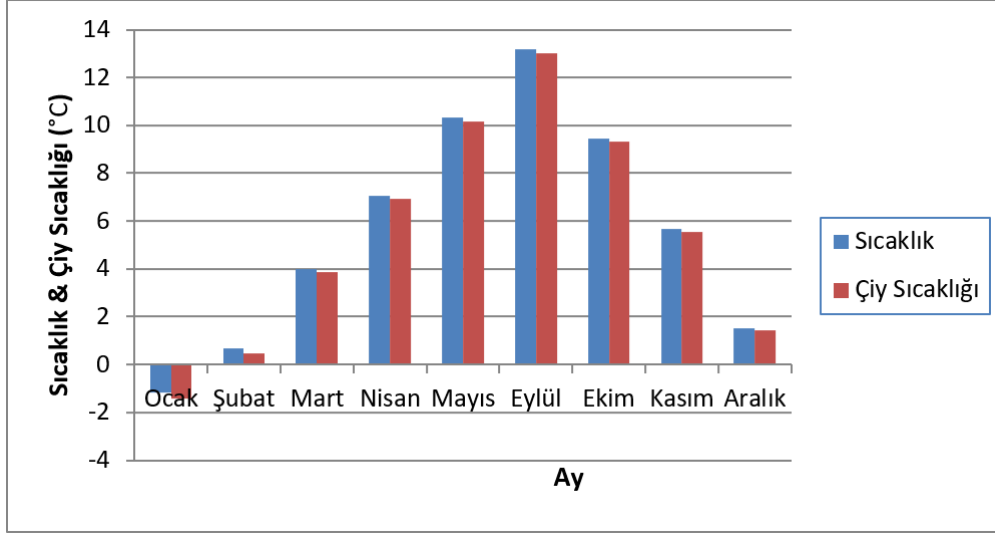
Batman ilinde 10 yıllık periyotta meydana gelen sis türlerinin dağılımına bakıldığında, BCFG olarak kodlanan parçalı sis hadisesinin %49 oranla en fazla görülen sis türü olduğu tespit edilmiştir. Bunu takiben en çok gözlenen sis türlerinin ise %32 ile FG olarak kodlanan tekil sis ve % 15 ile FZFG olarak kodlanan donmuş yer sisi hadisesi olduğu tespit edilmiştir. Diğer sis türlerinin ise toplam da %4'lük bir orana sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4). Literatürde yapılan sis hadisesi çalışmalarında, sisler genellikle yapısal olarak incelenmiş, çoğunlukla adveksiyon ve radyasyon sislerinin ülkemizde hakim olduğu tespit edilmiştir (Özdemir ve ark., 2016).



Şekil 4. Batman'da 2013-2022 yılları arasında meydana gelen sis türlerinin frekans analizi.

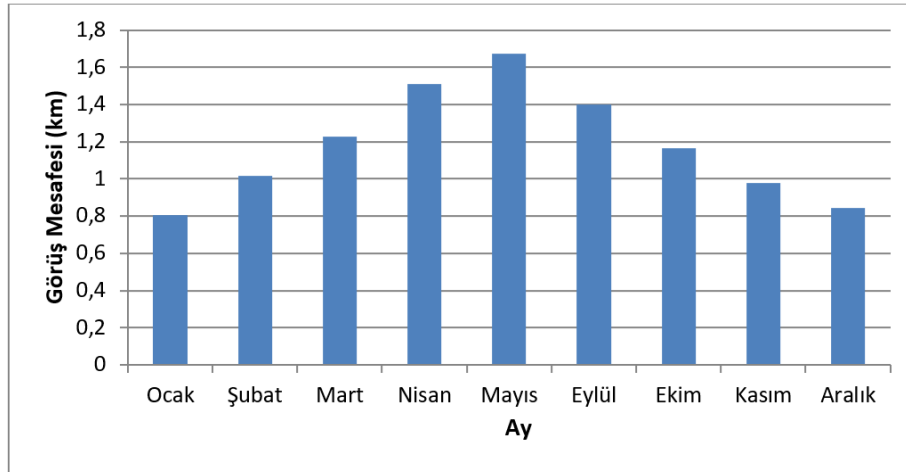
Batman ilinde 2013-2022 yılları arasında sisli günlerdeki sıcaklık ve çiy noktası sıcaklıklarının aylık ortalamaları incelendiğinde, Ocak ayında sıcaklık ortalaması $-1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve çiy noktası sıcaklığı ortalaması $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak ölçülmüştür. Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında sıcaklık ve çiy noktası sıcaklığı ortalamaları sırasıyla $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $7,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $10,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (sıcaklık) ile $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $3,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, $6,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $10,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (çiy noktası sıcaklığı) olarak kaydedilmiştir. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında sis hadisesi görülmediği için sıcaklık ve çiy noktası sıcaklığı değerleri $0,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak belirlenmiştir. Eylül ayında sadece bir gün sisli olarak kabul edildiği için bu ayda belirli bir sıcaklık ve çiy noktası sıcaklığı ortalaması hesaplanmamıştır. Ekim, Kasım ve Aralık aylarında ise sıcaklık ve çiy noktası sıcaklığı

ortalamları 9,5 °C, 5,7 °C, 1,5 °C (sıcaklık) ve 9,3 °C, 5,6 °C, 1,4 °C (çiy noktası sıcaklığı) olarak tespit edilmiştir. Bu verilerden, Batman ilinde sisli günlerde genellikle sıcaklık ve çiy noktası sıcaklıklarının birbirine yakın olduğu görülmektedir (Şekil 5). Özdemir ve ark. (2016) İstanbul Atatürk Uluslararası Havalimanı için yaptıkları sis çalışmasında, sisli günlerde ortalama hava sıcaklıklarının en yüksek frekansta 5-12 °C aralığında meydana geldiğini bulmuştur. Bu çalışmada da sis mevcudiyetinde sıcaklıklar benzer aralıklarda meydana gelmiştir.



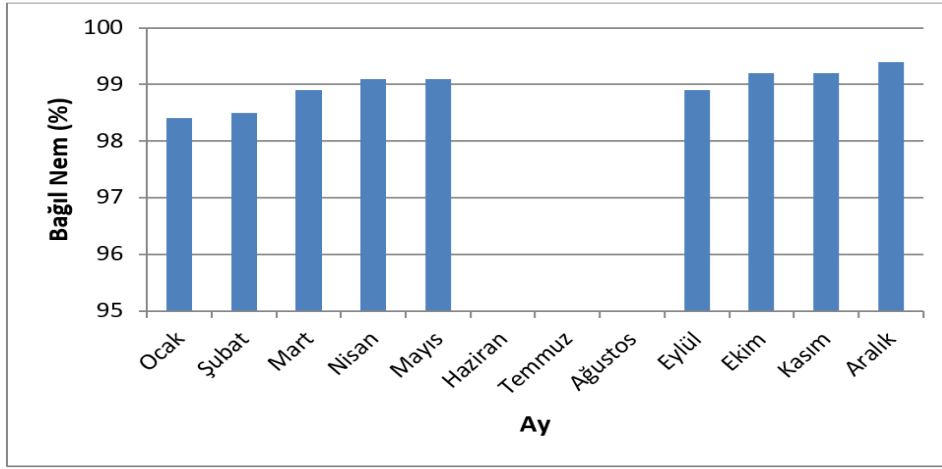
Şekil 5. Batman’da 2013-2022 yılları arasında sisli günlerdeki sıcaklık ve çiy noktası sıcaklık ortalamaları.

2013-2022 yılları arasında Batman ilinde sis hadisesinin yaşandığı günlerdeki görüş mesafesi değerlerinin aylık ortalamaları incelendiğinde, Ocak ayında en düşük ortalama görüş mesafesi 0,80 km olarak tespit edilmiştir. Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında görüş mesafesi ortalamaları sırasıyla 1,02 km, 1,23 km, 1,51 km ve 1,67 km olarak ölçülmüştür. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında sis hadisesi yaşanmaması nedeniyle görüş mesafesi değerleri 0,00 km olarak belirlenmiştir. Eylül ayında sadece bir gün sisli kabul edildiği için bu ayda belirli bir görüş mesafesi ortalaması elde edilememiştir. Ekim, Kasım ve Aralık aylarında ise görüş mesafesi ortalamaları sırasıyla 1,16 km, 0,98 km ve 0,84 km olarak tespit edilmiştir (Şekil 6).



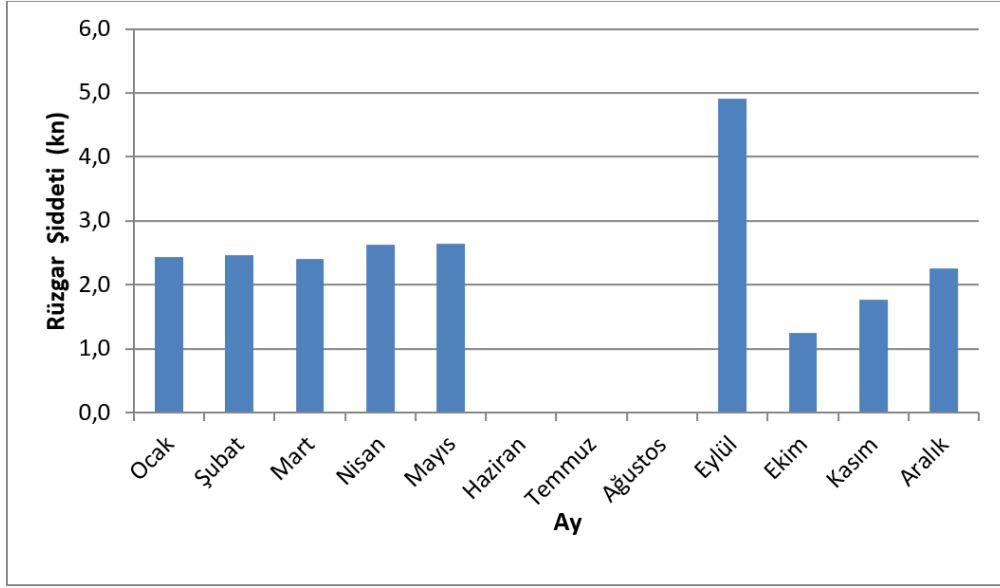
Şekil 6. Batman’da 2013-2022 yılları arasında sisli günlerdeki görüş mesafelerinin aylık ortalamaları.

2013-2022 yılları arasında Batman ilinde sis hadisesinin yaşandığı günlerdeki bağıl nem değerlerinin aylık ortalamaları incelendiğinde, Ocak ayında en düşük ortalama bağıl nem değeri olan % 98,4 tespit edilmiştir. Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında bağıl nem ortalamaları sırasıyla % 98,5, % 98,9, % 99,1 ve % 99,1 olarak ölçülmüştür. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında sis hadisesi yaşanmaması nedeniyle bağıl nem değerleri % 0,0 olarak belirlenmiştir. Eylül ayında ise sadece bir gün sisli olduğu için bu ayda belirli bir bağıl nem ortalaması elde edilememiştir. Ekim, Kasım ve Aralık aylarında ise bağıl nem ortalamaları sırasıyla % 99,2, % 99,2 ve % 99,4 olarak tespit edilmiştir. Bu verilere göre, Batman ilinde sisli günlerde genellikle yüksek bağıl nem değerlerinin görüldüğü anlaşılmaktadır (Şekil 7). Benzer sonuçlar Özdemir ve ark. (2016) ile Baltacı ve ark. (2022) tarafından da tespit edilmiştir.



Şekil 7. Batman'da 2013-2022 yılları arasında sisli günlerdeki bağıl nem değerlerinin aylık ortalamaları.

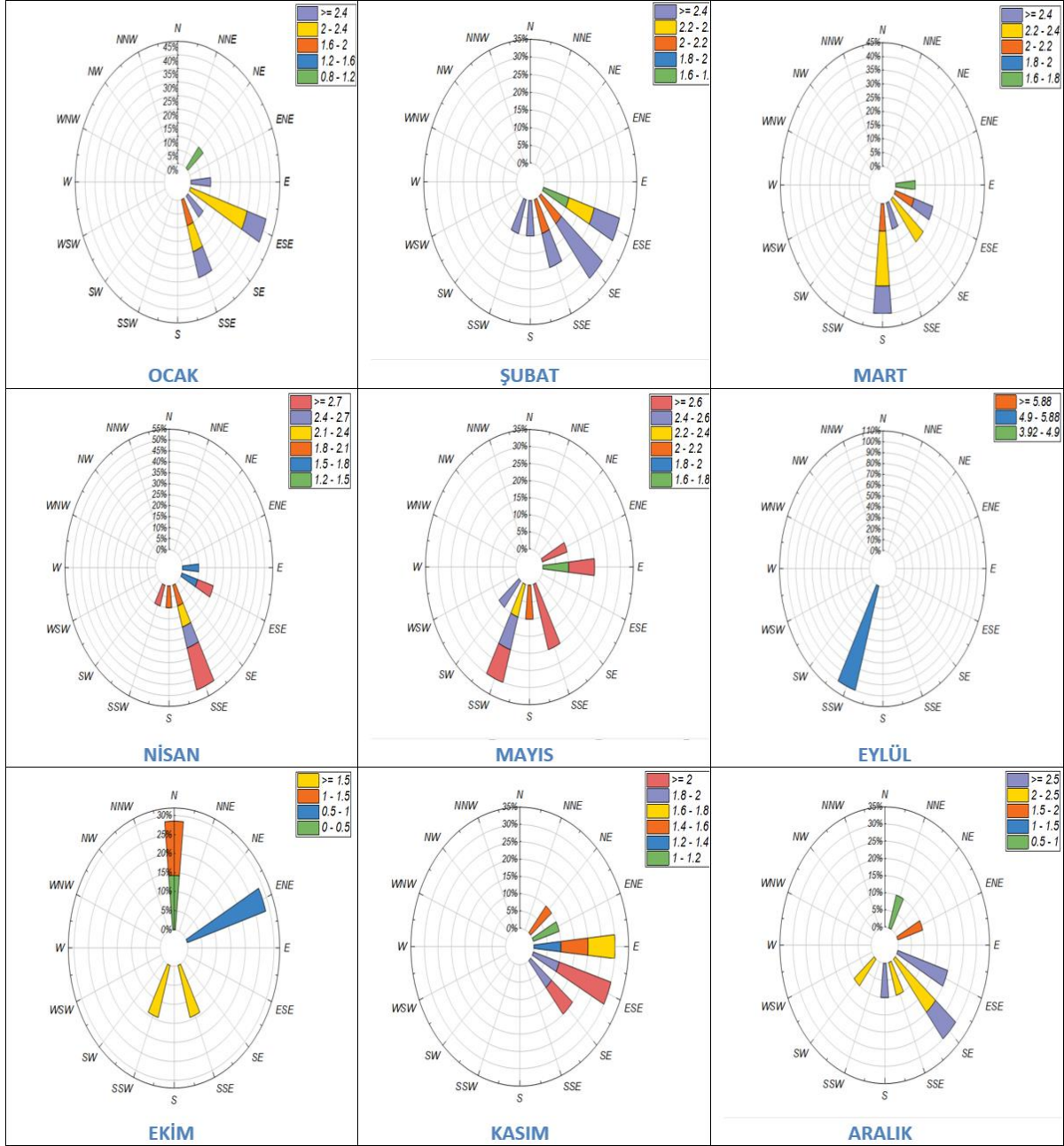
2013-2022 yılları arasında Batman ilinde sis hadisesinin yaşandığı günlerdeki rüzgar şiddetinin aylık ortalamaları incelendiğinde, Ocak ayında en düşük ortalama rüzgar şiddeti olan 0,80 knot (kn) tespit edilmiştir. Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında rüzgâr şiddeti ortalamaları sırasıyla 0,85 kn, 0,80 kn, 0,86 kn ve 0,86 kn olarak ölçülmüştür. Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında sis hadisesi yaşanmaması nedeniyle rüzgâr şiddeti değerleri 0,00 kn olarak belirlenmiştir. Eylül ayında sadece bir gün sisli olduğu için bu ayda belirli bir rüzgâr şiddeti ortalaması elde edilememiştir. Ekim, Kasım ve Aralık aylarında ise rüzgâr şiddeti ortalamaları sırasıyla 1,30 kn, 1,80 kn ve 2,30 kn olarak tespit edilmiştir. Batman ilinde sis hadisesinin yaşandığı günlerde genellikle düşük rüzgâr şiddeti gözlemlendiği görülmüştür (Şekil 8). Özdemir ve ark. (2016) İstanbul için sisli zamanlarda çoğunlukla rüzgâr şiddetinin 4 knot (7,41 km/sa) ve daha düşük olduğu belirtmiştir.



Şekil 8. Batman’da 2013-2022 yılları arasında sisli günlerdeki rüzgar şiddeti değerlerinin aylık ortalamaları.

Batman ilinde 2013-2022 yılları arasında sis hadisesinin yaşandığı günlerde rüzgar şiddetinin yanında rüzgar yönü de aylık bazda incelemeye tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, sis hadisesinin en sık yaşandığı kış mevsiminde hakim rüzgar yönü Güneydoğulu (Southeast – SE) olarak belirlenmiştir. İlkbahar mevsiminde ise sis hadisesinin yaşandığı günlerde hakim rüzgar yönü Güney (South – S) olarak gözlenmiştir. Sonbahar mevsiminde ise rüzgar yönü değişkenlik göstermiştir. Bu dönemde sis hadisesinin en az yaşandığı ay, Eylül ayı olup, sadece bir gün sisli olarak kaydedilmiştir. Diğer sonbahar aylarında ise rüzgar yönü genellikle Kuzey (North – N) ve Güneydoğu (Southeast – S) arasında

değişmiştir (Şekil 9). İstanbul için yapılan benzer analizlerde rüzgar yönlerinin kışın kuzeyli, yazın ise güneyli yönlerden olduğu belirtilmiştir (Özdemir ve ark., 2016).



Şekil 9. Batman'da 2013-2022 yılları arasında sisli günlerdeki rüzgar yönlerinin aylık dağılımları.

2013-2022 yılları arasında yapılan FOGSI analizi sonuçlarına göre, sis hadisesinin gerçekleşme olasılığının yüksek olduğu yani indeks değerinin literatürdeki 31 değerinden küçük olduğu 1392 gün tespit edilmiştir. Orta şiddette sis olma ihtimali ise indeks değerinin 31 ile 55 arasında olduğu 1324 gün boyunca gözlemlenmiştir. İndeks değerinin 55'ten büyük olduğu zaman dilimi ise 936 gün olarak belirlenmiştir.

CSI analizlerinde orta şiddette sis için 31 ve sis oluşumu için 55 olarak literatürde sunulan eşik değerler haricinde, CSI sonuçlarını iyileştirmek için farklı eşik değerleri denenmiştir. En iyi sonucun eşik

değerinin 25 olduğu durumda elde edildiği görülmüştür. FOGSI için eşik değer 20 olarak kabul edildiğinde CSI değeri “0,35”, 25 olduğunda “0,39”, 31 olduğunda “0,34”, 40 olduğunda “0,31” ve 55 olduğunda “0,22” olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla, Batman ili için FOGSI hesaplamalarında kullanmak için en uygun eşik değer “25” olması gerektiği ortaya konulmuştur.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Batman ili için sis hadisesi ve görüş mesafesi ile ilgili analizler gerçekleştirilmiştir. Batman ili, Türkiye’de en çok sis hadisesinin gözleendiği illerden biridir. Bu sebeple, Batman Havalimanı’nda, sis hadisesine bağlı operasyonlarda olumsuz gelişmeler yaşanmaktadır. Özellikle Sonbaharın sonu ve Kış mevsimlerinde sis hadisesinin frekansları oldukça yüksektir. Bu durum, atmosferin kararlı yapısının gözlenmesi ve topoğrafik etkilerle açıklanabilir. Yaz mevsiminde ise kararsız atmosfer koşullarına bağlı olarak sis hadisesinin görülme frekansı diğer mevsimlere göre daha az olmuştur. Batman Havalimanı için özellikle kış mevsiminde görüş mesafesini düşürmesi bakımından sis hadisesi ile ilgili olarak gerekli değerlendirmeler yapılmalı, gerekirse aletli iniş sistemlerinden biri havalimanına yerleştirilmelidir.

Yapılan analizlerde, özellikle Ocak ayında görüş mesafesinin sis hadisesine bağlı olarak bir kilometrenin altına düştüğü ortalamalarda görülmektedir. Bu durum, özellikle havacılık operasyonları açısından hem kaza hem de kırım hadisesine yol açması bakımından oldukça önemlidir. Bu sebeple, bu çalışmada olduğu gibi görüş mesafesinin düşüren diğer atmosferik olay ya da meteorolojik değişkenler dikkate alınarak her bir havalimanı için atmosfer koşullarının karakteristiği ortaya konulmalı ve bu bağlamda günümüzde sıklıkla kullanılan yapay zeka sistemleri kullanılarak bir tahmin sistemi geliştirilmelidir. Bu çalışmada kullanılan istatistiki bir yöntem olan FOGSI analizi sonuçlarına göre, sis hadisesinin gerçekleşme olasılığının yüksek olduğu 1392 gün ve orta şiddette sis olma ihtimalinin olduğu 1324 gün belirlenmiştir. Eşik değerlerinin modifikasyonu ile elde edilen sonuçlar, en iyi sonucun eşik değerin 25 olduğunda elde edildiğini göstermiştir.

Teşekkür

Yazarlar, çalışmada kullanılan havacılık ve atmosferik sondaj rasatlarına ait veriler için Meteoroloji Genel Müdürlüğü’ne teşekkür eder. Ayrıca yazarlar, Samsun Üniversitesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Hakan Aksu’ya, lisans tez çalışmasının ve bu makalenin hazırlanmasındaki katkılarından dolayı teşekkür eder.

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

- Akbayır İ., Yavuz V., Deniz A., Özdemir ET. Türkiye'deki Havalimanlarında meydana gelen sis hadisesinin zamansal analizi. *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi* 2018; 5(2): 327-330.
- Aktaş C., Erkuş O. Lojistik regresyon analizi ile Eskişehir'in sis kestiriminin incelenmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2009; 8(16): 47-59.
- Arun SH., Chaurasia S., Misra A., Kumar R. Fog stability index: A novel technique for fog/low clouds detection using multi-satellites data over the Indo-Gangetic plains during winter season. *International Journal of Remote Sensing* 2018; 39(22): 8200-8218.
- Avşar E. İzmir Adnan Menderes Havalimanı'nın kümülonimbüs (CB), oraj ve sis analizi. 7. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 2015, 1-12, İstanbul Teknik Üniversitesi, Ayazağa Kampüsü, İstanbul.
- Baguskas SA., Clemesha RES., Loik ME. Coastal low cloudiness and fog enhance crop water use efficiency in a California agricultural system. *Agricultural and Forest Meteorology* 2018; 252: 109-120.
- Baltacı H., Silva MCLD., Gomes HB. A climatological study of fog in Turkey. *International Journal of Climatology* 2022; 42(16): 9344-9356.
- Freeman LE., Perkins JS. Meteorological techniques, AFWA/TN-98/002. Erişim tarihi: 15/05/2023. Erişim adresi: <http://www.comptus.com/PDF/AFWA TN 98-002.pdf>.
- Gaceu O. Climate characteristics of the fog phenomenon and its influence on the tourists and the tourist activities in the Apuseni Mountains. *Geojournal of Tourism and Geosites* 2009; 1(3): 29-34. Iowa State University. Meteorological Aerodrome Report. Erişim tarihi: 12/04/2023. Erişim adresi: <https://mesonet.agron.iastate.edu/request/download.phtml>
- Li H., Wu H., Wang Q., Yang M., Li F., Sun Y., Qian X., Wang J., Wang C. Chemical partitioning of fine particle-bound metals on haze-fog and non-haze-fog days in Nanjing, China and its contribution to human health risks. *Atmospheric Research* 2017; 183: 142-150.
- MGM. Köppen-Trewartha İklim sınıflandırmasına göre Türkiye iklimi. Erişim tarihi: 10/11/2023. Erişim adresi: https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari/K%C3%B6ppen-Trewartha.pdf
- MGM. Batman ili resmi istatistikleri. Erişim tarihi: 10/11/2023. Erişim adresi: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=BATMAN>
- Özdemir ET., Deniz A., Sezen İ., Menteş ŞS., Yavuz V. Fog analysis at Istanbul Ataturk International Airport. *Weather* 2016; 71(11): 279-284.
- Özdemir ET., Deniz A., Yavuz V., Doğan N., Akbayır İ. Investigation of the fog-air quality relationship in Istanbul. *Fresenius Environmental Bulletin* 2018; 27(1): 30-36.

Sayad T., Morsy M., Mohamed MA, Abdeldym A. Improving and developing the fog stability index for predicting fog at borg El-Arab Airport, Egypt using wrf model. Pure and Applied Geophysics 2021; 178: 3229-3245.

TCÇŞİDB. Türkiye Cumhuriyeti, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. Batman Valiliği: İlimiz hakkında. Erişim tarihi: 18/04/2023. Erişim adresi: <https://batman.csb.gov.tr/ilimiz-hakkinda-i-998>

University of Wyoming. Atmospheric soundings. Erişim tarihi: 10/04/2023. Erişim adresi: <https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

Yavuz V., Deniz A. Güvenli uçuş ve ekonomik kayıpların minimize edilmesi için İstanbul Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı'na ait FOGSI indeksi kullanılarak sis analizi. TUJJB Bilimsel Kongresi, 2018, 221-224, İzmir, Türkiye.

Balık Değer Zincirinde Gıda Kaybı, Atıklar ve Çevresel Etkiler

Hatice TÜRKTE^{1*}, Çağatay YILDIRIM², Sema Ezgi YÜCEER³

^{1,2}Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü, Samsun

³Onsekiz Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü, Çanakkale

¹<https://orcid.org/0000-0003-2037-7756>

²<https://orcid.org/orcid.org/0000-0002-4121-5564>

³<https://orcid.org/orcid.org/0000-0003-0169-2435>

*Sorumlu yazar: hatice.turkten@omu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 03.12.2023

Kabul tarihi: 05.02.2024

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Balık endüstrisi

Gıda kaybı ve atık

Atık yönetimi

Değer zinciri

Sürdürülebilirlik

ÖZ

Balık, gıda kaybı ve atık açısından yüksek potansiyele sahip, çabuk bozulabilen bir üründür. Balık değer zincirinin her bir aşamasında önemli ölçüde gıda kaybı ve atık ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle balık değer zincirindeki gıda kayıp ve atıkların tanınması, önlenmesi ve azaltılması büyük önem taşımaktadır. Çalışmada, Türkiye'nin İzmir ili Çeşme ilçesinde balık değer zinciri boyunca üretilen atık çeşitleri ve miktarını belirlemek, balık değer zincirinin çevresel etkinliğini tahmin etmek amaçlanmıştır. Araştırma veri kaynakları, balık tedarik zincirindeki ticari balık avcılarını, su ürünleri yetiştiricilerini, işleyicileri, toptancıları, ihracatçıları ve perakendecileri içermektedir. Çalışmada, araştırma alanında bulunan A, B, C plakalı tekne sahibi ticari balık avcıları, basit tesadüfi örnekleme yöntemiyle belirlenmiş, D plakalı 36 ticari balık işletmeleri, 8 adet su ürünleri yetiştiriciliği yapan işletmeler, bir adet balık işleme tesisi, limanlar, balıkçı barınakları ve balık satış noktalarından elde edilen veriler kullanılmıştır. Her düzeyde veri toplamak için 2023 üretim yılını temel alan anketler ve bireysel mülakatlar kullanılmıştır. Balık değer zincirinin toplam çevresel verimliliğini tahmin etmek için çok aşamalı ağ DEA modeli kullanılmıştır. Balık değer zincirindeki her bir aktörün sosyo-ekonomik özellikleri basit tanımlayıcı istatistik yöntemler ile ortaya konmuştur. İşletmelerin ekonomik analizinde, klasik ekonomik analiz yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçları, balık değer zincirinde üretilen atık miktarının işleme aşamasında en yüksek olduğunu göstermektedir. Ayrıca çevresel verimlilik analizi, değer zincirindeki aktörlerin çevresel verimlilik puanlarının 0,625 ile 1 arasında değiştiğini ortaya çıkarmıştır. Balık işleme aşamasında atık oluşumunun azaltılması, paydaşlar arasındaki iletişim ve koordinasyonun geliştirilmesi, gıda kaybı konusunda farkındalığın ve eğitimin artırılması gerekmektedir. Ayrıca atıkların önlenmesi için sürdürülebilir uygulamaların teşvik edilmesi önemlidir. Balık değer zincirindeki politika ve karar alma süreçlerine çevresel verimliliği artıran, gıda kaybı ve atıkları azaltmayı amaçlayan müdahaleler göz önünde bulundurulmalıdır.

Food Loss, Waste, and Environmental Impacts in the Fish Value Chain

Research Article

Article History:

Received: 03.12.2023

Accepted: 05.02.2024

Published online: 11.03.2024

ABSTRACT

Fish is a product with high potential for food loss and waste, being highly perishable. Significant amounts of food loss and waste occur at each stage of the fish value chain. Therefore, the recognition, prevention, and reduction of food losses and waste in the fish value chain are of great importance. This

Keywords:

Fish industry
Food loss and waste
Waste management
Value Chain
Sustainability

study aims to determine the types and quantities of waste generated throughout the fish value chain in Çeşme district of Izmir province, Turkey, and to estimate the environmental efficiency of the fish value chain. The research data sources include commercial fishers, aquaculture producers, processors, wholesalers, exporters, and retailers in the fish supply chain. Commercial fishing vessels with A, B, C license plates in the research area were selected using a simple random sampling method, while data from 36 commercial fish processing establishments with D license plates, 8 aquaculture facilities, one fish processing plant, ports, fishing harbors, and fish retail points were obtained. Surveys and individual interviews based on the 2023 production year were conducted to collect data at each level. A multi-stage network Data Envelopment Analysis (DEA) model was employed to estimate the overall environmental efficiency of the fish value chain. The socio-economic characteristics of each actor in the fish value chain were elucidated using basic descriptive statistical methods. Classic economic analysis methods were utilized in the economic analysis of the enterprises. The findings of the study indicate that the highest amount of waste is generated during the processing stage in the fish value chain. Furthermore, environmental efficiency analysis revealed that the environmental efficiency scores of actors in the value chain ranged between 0.625 and 1. Reducing waste generation during fish processing, enhancing communication and coordination among stakeholders, increasing awareness and education regarding food loss are necessary steps. Encouraging sustainable practices is also crucial for waste prevention. Interventions aiming to increase environmental efficiency, and reduce food loss and waste should be considered in the policy and decision-making processes within the fish value chain.

To Cite: Türkten H., Yıldırım Ç., Yüceer SE. Balık Değer Zincirinde Gıda Kaybı, Atıklar ve Çevresel Etkiler. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(2): 782-801.

1. Giriş

Gıda, insan yaşamının temel bir ihtiyacıdır. Her yıl dünya genelinde üretilen gıdaların yaklaşık üçte biri kaybolmakta veya atılmaktadır, bu kayıpların toplam değeri yaklaşık 1 trilyon ABD dolarını bulmaktadır (FAO, 2022). Dünya nüfusunun hızla arttığı ve iklim değişikliği gibi çevresel zorluklarla karşı karşıya olduğumuz bu dönemde, mevcut gıda kayıplarını ve atıklarını azaltmak, daha sürdürülebilir bir gelecek inşa etmek adına hayati bir gerekliliktir. Bu bağlamda, İkinci Uluslararası Beslenme Konferansı'na katılan 162 ülke, gıda kaybı ve atığının azaltılmasının gıda güvenliği, yeterli beslenme ve sürdürülebilir kalkınma için hayati bir öneme sahip olduğunu kabul etmiştir (FAO, 2014). Ayrıca, Birleşmiş Milletler, ülkelerin sürdürülebilir gıda sistemlerini ve daha iyi beslenmeyi teşvik etmek amacıyla 2016-2025 yıllarını kapsayan 10 yıllık bir beslenme programı yürütme sürecine gıda kaybı ve atık azaltma stratejilerini dahil etmişlerdir (WHO, 2022).

Günümüze kadar, birçok bilim adamı tarafından, yerel bölgesel ve ulusal düzeyde makro ve mikro yaklaşımlarla, ikincil verilerden gıda kayıpları ve atık tahminleri yapılmıştır (Ward,1996; Cheke ve Ward, 1998; Akande ve ark., 2000; Ward ve Jeffries, 2000; Eyo ve Mdaihi, 2005; Kelleher, 2005; Mgawe, 2008; Akande ve Diei-Ouadi, 2010; Newsad, 2010; Dey ve ark., 2011; FAO, 2011; Gordon ve ark., 2011; Kasprzyk, 2012; FAO, 2014b; Diei-Ouadi ve ark., 2015; Kasprzyk ve ark., 2015; Newsad ve ark., 2015; Peñarubia ve ark., 2016; Adelaja ve ark., 2018). Ayrıca gıda kaybı ve atıkların tanımları (Göbel ve ark., 2015; Cedeno 2016; Porter ve ark., 2016; Borrello ve ark., 2017; Delsignore ve ark.,

2017; Kowalska 2017; Maina ve ark., 2017; Vilarino ve ark., 2017; Corrado ve Sala 2018; Bag ve ark., 2019; Corrado ve ark., 2019; Hoehn ve ark., 2019; Kayikci ve ark., 2019; La Caba ve ark., 2019; Pauer ve ark., 2019; Principato ve ark., 2019; Secondi ve ark., 2019; Rojas-Vargas ve ark., 2020; Teigiserova ve ark., 2020), farklı ürünlere göre gıda kaybı ve atık miktarının belirlenmesi (Gustavsson ve Stage 2011; Brautigam ve ark., 2014; Porter ve ark., 2016; Tostivint ve ark., 2017; Vilarino ve ark., 2017; Corrado ve Sala 2018; Fujii ve Kondo 2018; Bag ve ark., 2019; Corrado ve ark., 2019; Dal 'Magro ve Talamini 2019; Principato ve ark., 2019; Secondi ve ark., 2019; Rojas-Vargas ve ark., 2020), oluşan gıda kaybı ve atıklar için çözüm önerilerinin geliştirilmesi (Göbel ve ark., 2015; Borrello ve ark., 2017; Kowalska 2017; Tostivint ve ark., 2017; Vilarino ve ark., 2017; Corrado ve Sala 2018; Cristobal ve ark., 2018; Fujii e Kondo 2018; Bag ve ark., 2019; Corrado ve ark., 2019; Dal 'Magro and Talamini 2019; La Caba ve ark., 2019; Pauer ve ark., 2019; Principato ve ark., 2019; Secondi ve ark., 2019; Sharma ve ark., 2019; Grasso 2020; Sadhukhan 2020; Teigiserova ve ark., 2020) ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır.

Balık insan beslenmesinde önemli bir protein kaynağıdır ve dünya nüfusunun artışıyla birlikte bu kaynağın sürdürülebilirliği daha da önem kazanmaktadır. Gıda kaybı ve atığı en fazla olan ürünlerden biri de balıktır. Balık yakalandıktan sonraki gün içerisinde tüketilmesi gereken, çabuk bozulabilen üründür. Dünyada üretilen balık miktarının %27'si gıda kaybı ve atık olarak ortaya çıkmaktadır (FAO, 2022). Ayrıca balık üretiminden sonraki aşamalarda (dağıtım, işleme vb.) önemli miktarda gıda kaybı ve atık oluşmaktadır. Bu nedenle balık değer zinciri boyunca gıda kayıpları ve atıkları azaltmak önemli politika hedefleri arasında olmalıdır. Balık değer zincirinde gıda kayıpları ve atıkları tanımak, önlemek ve azaltma biçimlerini belirlemek önemlidir. Balık değer zincirinde, balıkların avlanarak tekneye çıkarıldığı veya su ürünleri yetiştiriciliğinde hasat edildiği andan tüketiciler tarafından yenildiği zamana kadar kayıplar ele alınmaktadır.

Daha önce yapılmış çalışmalarda, balık değer zincirinde gıda kaybı ve atıkları tahmin etmede makro ve mikro yaklaşımlar kullanılmıştır. Makro yaklaşımlar, çoğunlukla ikincil verilerden elde edilen katsayılar kullanılarak, ülke düzeyinde, bölgesel veya küresel düzeyde balıkçılık sektörü için tahminlerden oluşmaktadır (Ames ve ark., 1991; Ward ve Jeffries, 2000; Akande e Diei-Ouadi, 2010; Kumolu-Johnson ve Ndimele, 2011; Mgawe ve Diei-Ouadi, 2011; Hodges ve ark., 2011; FAO 2014b; HLPE 2014). Mikro yaklaşımlar ise, değer zinciri aktörlerinden doğrudan bilgi elde ederek, fiziksel ölçümlere, gözlemlere ve/veya anketlere dayalı olarak, genellikle sınırlı coğrafi alanlarda bulunan değer zincirleri için balık kaybı tahminlerinden oluşmaktadır (Morrissey, 1988; Poulter ve ark., 1988; Vallejo ve ark., 2009; Akande ve Diei-Ouadi, 2010; Rosegrant ve ark., 2013; FAO, 2016; Kruijssen ve ark., 2020).

Türkiye'de bugüne kadar balık atıklarının değerlendirilmesi (Kılınç, 2007; Akkara ve Tosun, 2014; Gullu, ve ark., 2015; Alkaya ve Demirer, 2016; Gündüz, ve ark., 2018), su ürünleri sektöründe sürdürülebilirlik (Atar ve Alçıçek, 2009), su ürünlerinde elde edilen yan ürünler (Çağlak ve Çağlak, 2011) ve bazı balık türlerinde depolama sonucu oluşan kimyasal ve mikrobiyolojik değişimleri (Kaya, 2009) inceleyen sınırlı sayıda çalışmalar yapılmıştır.

Önemli ölçüde balık gıda kaybı ve atık oluştuğu tahmin edilen ülkemizde, balık değer zincirinin her aşamasında gıda kaybı ve atıkları azaltmayı hedefleyen müdahalelerin yapılması, bu müdahalelerin çevresel ve ekonomik faydasını ölçmek hayati önem taşımaktadır. Balık değer zincirinde gıda kaybı ve atık oluşumunun en aza indirilmesini sağlamak için, bu gıda kaybı ve atıkların değer zincirinin her bir aşamasında sebepleri ile birlikte miktarlarının da bilinmesi gerekmektedir. Ayrıca balık üretimde ortaya çıkan çevresel etkinliğin sürdürülebilirlik açısından tespit edilmesi gerekmektedir. İzmir ili Çeşme ilçesi, Türkiye'nin önemli bir balıkçılık merkezi olarak bilinmektedir. Türkiye genelinde balık gıda kaybı ve atıklarının miktarlarının belirlenmesi, bu gıda kayıpları ve atıklarının azaltılması için stratejiler geliştirilmesi ve çevresel etkinliğin tespit edilmesi için İzmir ili Çeşme ilçesi pilot bölge olarak seçilmiştir.

Çalışmada, balık değer zinciri boyunca;

-En fazla gıda kaybı ve atığın, hangi aşamalarda oluştuğu,

-Gıda kaybı ve atık miktarının işletme büyüklüklerine göre değişip değişmediği,

-Gıda kaybı ve atıklarının başlıca sebepleri,

-Balık değer zincirindeki gıda kaybı ve atıkların azaltılması nasıl bir çevresel etki yaratmaktadır, sorularına cevap aranmıştır. Ayrıca çalışmada, balık işletmelerindeki işletme büyüklüğü arttıkça gıda kaybı ve atıklarında da artış olup olmayacağı, balık işletmelerindeki gıda kayıpları ve atıklarının büyük bir kısmının, işletme içi işleme ve depolama aşamalarında meydana gelip gelmeyeceği, sürdürülebilirlik açısından, balık işletmelerinde gıda kaybı ve atıklarının azaltılmasının çevresel etkinliği artırıp artırmayacağı hipotezleri test edilmiştir. İzmir ili Çeşme ilçesinde gerçekleştirilen bu çalışmada, ticari balık avcılığı ve su ürünleri yetiştiriciliği yapan işletmelerde, değer zincirinde ortaya çıkan gıda kaybı ve atıklarının ortaya çıkma sebepleri ve işletme büyüklüğü itibarıyla miktarlarının belirlenmesi, balık değer zincirinde gıda kaybı ve atıkları azaltmak için stratejilerin geliştirilmesi ve işletmelerin çevresel etkinliğinin balık değer zinciri boyunca tespit edilmesi amaçlanmıştır.

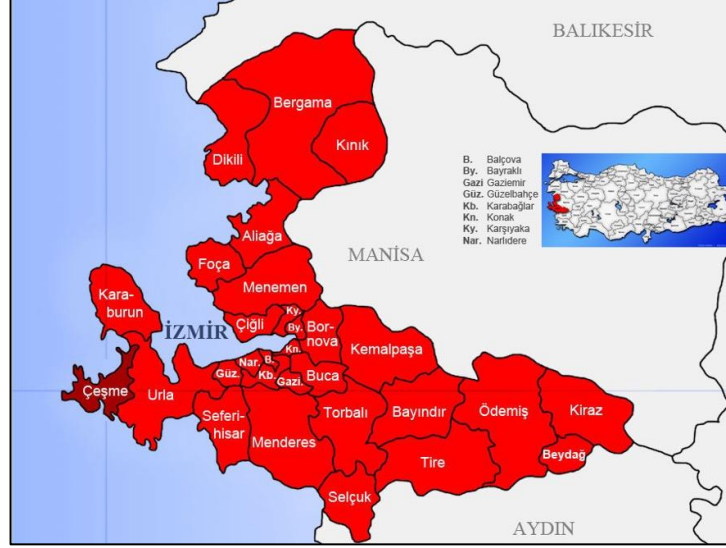
2. Materyal ve Metot

Etik Karar

Çalışmanın yürütülmesi için Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Etik Kurul'undan 26.08.2022 tarih ve 2022-755 sayılı karar ile etik onay alınmıştır.

Araştırma Türkiye'de İzmir ili Çeşme ilçesinde ticari balık avcılığı ve su ürünleri yetiştiriciliği yapan işletmeleri ve toptancıları, perakendecileri, işleyicileri kapsamaktadır (Şekil 1). Araştırmada elde edilen veriler 2023 yılına aittir. İşletme düzeyindeki veriler anket yolu ile, ilçede bulunan 6 adet su ürünleri kooperatifleri, 6 adet balıkçı barınakları, 8 adet balık satış noktası, 1 adet balık işleme tesisi ve 3 adet limandan bireysel mülakat ile elde edilmiştir. İlçe 133 km kıyı kenar çizgisine sahip olup, 6 adet su ürünleri kooperatifi, 6 adet balıkçı barınağına sahiptir. İlçede 8 adet balık satış noktası bulunmaktadır. Ayrıca ilçede 5 adet A plaka (15m üstü), 11 adet B plaka (12-15m), 17 adet C plaka (10-12m), 280 adet D plaka (10 m ve altı) olmak üzere toplamda 313 adet tekne bulunmaktadır. İlçede Gerence ve Ildır

körfezinde 3 adet, Alaçatı ve Mersin körfezinde 5 adet olmak üzere toplam 8 adet su ürünleri yetiştiriciliği yapan işletme bulunmaktadır. İlçede kültür balığı üretimi 1145,165 ton olup, karaya çıkan türler barbun, çipura, kolyoz, kupez, palamut, lipsöz, ahtapot, tekir, levrek, kalamar, kefal, turna, istavrit, mürekkep balığı, deniz böceğidir (TAGEM, 2022).



Şekil 1. İzmir ili Çeşme ilçesi

Araştırmanın işletme düzeyindeki verileri, İzmir ili Çeşme ilçesinde balık üretimi yapan 8 adet su ürünleri işletmesi ve 33 adet A, B, C plakaya sahip ticari balık işletmelerinden tam sayım yöntemi ile elde edilmiştir. Ayrıca, D plakaya sahip ticari balıkçı sayısı basit tesadüfi örnekleme yöntemiyle belirlenmiştir. Balıkçıların sahip olduğu tekne sayısı örnekleme kriteri olarak kullanılmıştır. Örnekleme sürecinde ortalama için izin verilen hata payı %10 kabul edilmiş ve %99 güven derecesinde çalışılmıştır. Anket yapılacak balıkçı sayısı aşağıda belirtilen formül yardımıyla 36 olarak belirlenmiştir (Yamane, 1967).

$$n = \frac{N(zS)^2}{Nd^2 + (zS)^2}$$

Eşitlikte; n anket yapılacak ticari balıkçı sayısını, N ana kitlede bulunan her bir işletmedeki tekne sayısını, S standart sapmayı ve d araştırmada izin verilen hata payını ifade etmektedir. Anket yapılacak ticari balıkçı işletmelerinin belirlenmesinde tesadüfi sayılar tablosu kullanılmıştır.

Ticari balık avcılığı ve su ürünleri yetiştiriciliği yapan balıkçıların sosyal ve ekonomik özellikleri, balıkçı işletmesi düzeyinde toplanan verilere dayanarak ve geleneksel sosyo-ekonomik analiz yöntemleri kullanılarak ortaya konulmuştur. İşletme yöneticisinin özellikleri (eğitim, yaş, deneyim, aile büyüklüğü), işletmeye ait özellikler (tekne sayısı, tekne büyüklüğü, avcılık türü, avcılık süresi, alet makine varlığı, üretim teknolojisi, işgücü varlığı vb.), gıda kayıp ve atık çeşitleri, miktarları, değerlendirme biçimleri tanımlayıcı istatistikler (ortalama, yüzde, frekans vb.) yardımıyla özetlenmiştir. Ayrıca ilçede bulunan araçlar ile elde edilen veriler (balık alış fiyatı, satış fiyatı, masraflar, ortaya çıkan

gıda kayıp ve atık miktarları vb.) tanımlayıcı istatistikler (ortalama, yüzde, frekans vb.) yardımıyla özetlenmiştir.

İncelenen işletmelerin sosyo-ekonomik analizinde kullanılacak yöntem: Ticari balık avcılığı ve su ürünleri yetiştiriciliği yapan balıkçıların, araçların sosyal ve ekonomik özellikleri, işletme düzeyinde toplanan verilere dayanarak ve geleneksel sosyo-ekonomik analiz yöntemleri kullanılarak ortaya konulmuştur.

İşletmelerin sermaye miktar ve bileşimlerinin ortaya konulmasında sermayenin likiditesine göre sınıflandırılması esas alınmıştır. Daha sonra incelenen işletmelerin likidite durumu ve borç ödeme yeteneği belirlenmiştir. Likidite durumu ortaya konulurken, işletme sermayesi, cari oran ve asit-test oranı göstergelerinden yararlanılmıştır. Cari oran, cari varlıkların cari borçlara oranlanması ile bulunmuştur. İncelenen işletmelerin borç ödeme yeteneği balıkçılık işletmelerin borçları ile toplam ve öz sermayesi arasındaki oranlar (toplam borçlar/öz sermaye, toplam borçlar/toplam varlıklar, öz sermaye/toplam varlıklar, toplam varlıklar/öz sermaye) hesaplanarak belirlenmiştir (Erkuş ve ark., 1995; Turner ve Taylor, 1998; Cinemre, 2010).

Yıllık faaliyet sonuçları belirlenirken incelenen işletmelerin yürüttüğü faaliyetler bir bütün olarak ele alınmıştır. İncelenen işletmelerin “toplam sermaye getirileri” ve “öz sermaye getirileri” hesaplanarak karlılık durumları da ortaya konulmuştur (Turner ve Taylor, 1998). İşletmenin kaynaklarını ne derece etkin kullandıklarını gösteren kârlılık ayrıca, nispi kar ve kâr marjı oranı göstergeleri kullanılarak da ölçülmüştür (Kay ve ark., 2008). İncelenen işletmelerin faaliyetleri esnasında yaptıkları 1 TL’lik masrafa karşılık ne kadar gelir elde ettiklerinin göstergesi olan nispi kar, gayri safi üretim değerinin üretim masraflarına oranlanması yoluyla hesaplanmıştır. İşletme kâr marjı oranı (rantabilite faktörü), toplam gelirin yüzdesi olarak işletmenin elde ettiği kârı ifade etmektedir.

İşletmelerin çevresel etkinliğini ölçmede ve çevresel etkinliği belirleyen faktörlerin belirlenmesinde kullanılacak yöntem: İşletmeler çıktılardan daha çok girdileri kontrol etme eğiliminde olduklarından, bu araştırmada Farrell’in girdiye yönelik etkinlik ölçümleri kullanılmıştır. Araştırmada her bir işletmede üretim giderleri (x_i^*) balık üretimi (Y_i^*) kabul edilmiştir. Bu araştırmada balık üretimi esnasında oluşacak gıda kayıpları ve atıkların CO₂’nin minimize edilerek balık üretimi gerçekleştirilmesine göre değerlendirme yapılacağından kayıp ve atıklar (kg) ve CO₂ etkinlik modelinin çıktıları arasında yer almıştır.

Araştırma kapsamında yer alan bütün işletmeler için işletme düzeyinde elde edilen veriler kullanılarak KXN boyutunda bir girdi matrisi (X) ve MXN boyutunda bir çıktı matrisi (Y) ile ifade edilmiştir. İncelenen her bir işletme için teknik etkinlik aşağıdaki doğrusal programlama modelinin çözümü ile elde edilmiştir:

$$\text{Minimum}_{\theta, \lambda} \theta$$

$$\text{Sınırlılıklar } -y_i + Y\lambda \geq 0$$

$$\theta x_i - X\lambda \geq 0$$

$$\lambda \geq 0$$

Eşitlikte θ , 0 ile 1 arasında değerler alan çevresel etkinlik skorunu ifade etmektedir. İşletme üretim sınırında yer aldığında teknik olarak tam etkin kabul edilecek ve teknik etkinlik skoru 1 değerini alacaktır. λ , incelenen işletmelerin doğrusal bir kombinasyonunu gösteren $N \times 1$ boyutundaki vektörü ifade etmektedir.

İşletmeler optimum ölçekte çalışmadıklarından, istenilen düzeyde sermayeye sahip olamayacaklarından ve piyasa hakkında tam bilgi sahibi olmadıklarından oluşturulan etkinlik modeli ÖSG (ölçeğe sabit getiri) modeline dış büyüklüğü (konveksliği) sağlayan bir sınırlayıcı ($N1\lambda = 1$) ilave edilerek, ölçeğe değişken getiri (ÖDG) modeline dönüştürülmüştür. Modele bu sınırlayıcının ilave edilmesi ölçek etkinliğinin hesaplanmasına engel olduğundan, ölçek etkinliği hesaplanırken ÖSG koşullarındaki minimum maliyet, ÖDG koşullarındaki minimum maliyete oranlanarak bulunmuştur (Banker ve ark., 1984).

Ekonomik etkinlik skorları tahmin edilirken, her bir çıktının fiyatı modele dâhil edilmiştir. Etkinlik modelinin birinci çıktısı olan balık üretiminin fiyatı olarak araştırmanın alan çalışmasının yapıldığı anda piyasada geçerli olan balık kilogram fiyatı esas alınmıştır. İncelenen işletmelerde farklı çeşitlerde balık üretilmesi ve her bir çeşidin fiyatının farklı olması durumunda çeşitlerin toplam üretim miktarı içindeki payı ağırlık olarak kabul edilerek, farklı çeşit fiyatlarının ağırlıklı ortalaması balık fiyatı olarak kullanılmıştır. Balık üretimi esnasında ortaya çıkan kayıp ve atıkların fiyatı olarak, işletmelerden uzaklaştırılması için katlanılan maliyetin ortalaması kullanılmıştır.

CO₂ eşdeğeri cinsinden sera gazı emisyonu ise alan çalışmasının gerçekleştirildiği zamanki CO₂ fiyatı esas alınarak fiyatlandırılmıştır. Günümüzde 1 ton CO₂ fiyatı 15-30 \$ arasındadır (<https://www.nytimes.com/interactive/2019/04/02/climate/pricing-carbon-emissions.html>).

Etkinlik ölçümlerinin tahmininde Coelli (1996) tarafından geliştirilen DEAP 2.1 paket programı kullanılmıştır.

Veri zarflama metodu ile tahmin edilen etkinlik ölçümleri için güven aralıkları Efron (1979) tarafından önerilen “bootstrapping metoduyla” belirlenmiştir. Bootstrapping metodu sahip olunan verilerin tekrar örneklenmesi yoluyla elde edilen istatistiğe ait örnekleme dağılımının oluşturulmasına dayanmaktadır. Bootstrapping metodu üç aşamada uygulanmıştır. Birinci aşamada öncelikle bootstrap örnekleri oluşturulmuştur. İkinci aşamada oluşturulan her bir yeni örnekleme için etkinlik ölçümleri tahmin edilmiş ve bunlardan yararlanarak bootstrap dağılımları elde edilmiştir. Üçüncü aşamada ise bootstrap dağılımlarının %2,5 ve %97,5 yüzdelerlik dilimleri kullanılarak etkinlik ölçümleri için %95 güven aralıkları oluşturulmuştur. Bootstrap standart hatası aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$SE_{boot,\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{B-1} \sum (\bar{X}^* - \frac{1}{B} \sum \bar{X}^*)^2}$$

Eşitlikte \bar{X}^* her bir yeni örneklemin ortalamasını ve B yeni örnekleme sayısını ifade etmektedir.

Elde edilen verilerde süreklilik gösteren ve normal dağılan değişkenler için parametrik yöntemler (t testi ve varyans analizi), ölçüm düzeyleri grup ve sıra düzeyinde olduğunda parametrik olmayan yöntemler

(Ki kare, Friedman, Kruskall Wallis, Mann Whitney U, Wilcoxon, Dunn çoklu karşılaştırma testi vb.) kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

İnceleme alanında ticari balık avcılığı yapan işletmecilerin yaşları ortalama 54 olup, eğitim gördükleri süre ortalama 6 yıldır. İşletme yöneticilerinin aile büyüklüğü ortalama 5 kişidir. İşletmelerin %79'unda en az 1 aile üyesi çalışmaktadır. İşletme yöneticilerinin balıkçılık dışında da meslekleri vardır. İşletme dışı elde edilen gelirleri ortalama 58 bin TL'dir. İşletme yöneticilerinin %67'sinin sosyal güvencesi bulunmaktadır. İşletme yöneticilerinin %34'ü emekli olup, aylık gelirleri ortalama 6200 TL'dir. İşletme yöneticileri ortalama 48 yıldır balıkçılık faaliyetlerini sürdürmektedir. İşletmelerin sahip oldukları tekne uzunlukları ortalama 9,94 metre olup, teknelerin motor beygir gücü ortalama 156,12 beygirdir. Tekneler en fazla 65 mil uzaklığa kadar avlanma yapabilmektedirler.

İncelenen ticari balık işletmeleri ortalama 6 milyon 313 bin TL'lik sermaye ile faaliyetlerini sürdürmektedirler. İşletme sermayesinin %89'u öz sermayeden, %11'i ise yabancı sermayeden oluşmaktadır. Aktif sermaye içerisindeki en fazla paya sahip para sermayesi olup, tekne ve alet makine sermayesi ikinci sırada yer almaktadır. İncelenen işletmelerde avlanan balık ve diğer türleri sardalya, hamsi, istavrit, tombik, palamut, yazılı orkinos, kupez, kolyoz, sübye, ahtapot, karides, kalamar, moskodur.

İncelenen işletmelerin işletme başına elde ettikleri yıllık GSH'nın değeri 980 bin TL'dir. İşletmelerin GSH'nın %95'ini oluşturan GSÜD'i 931 bin TL'dir. GSÜD'nin yaklaşık %98'ünü işletmelerin ana faaliyeti olan ticari balık avcılığında elde edilen gelir oluştururken, yaklaşık %2'si ise deniz kabukluları, yumuşakçalar, böcek avcılığı ve diğer elde edilen gelirden oluşmaktadır. İncelenen işletmelerin toplam üretim masrafları 589 bin TL olup, işletmelerin net karı 391 bin TL'dir. İşletmelerin nispi kârlılığı %1,23 seviyesindedir. İşletmeler için hesaplanan cari oran (1,46) ve asit-test oranı (1,18) işletmelerin likidite problemi yaşamadığını göstermekte olup, işletmeler cari borçlarını sahip oldukları cari varlıklarını nakde çevirerek ödeyebilmektedirler.

İnceleme alanında su ürünleri yetiştiriciliği yapan 8 adet işletmeci ile görüşülmüştür. Su ürünleri yetiştiriciliği yapan işletmecilerin yaşları ortalama 50 olup, yaklaşık 32 yıldır su ürünleri yetiştiriciliği deneyimine sahiptirler. İşletme yöneticileri yılın 9 ayı işletmede bir fiil çalışmaktadırlar. Hane halkı büyüklüğü 3 olup, en az bir aile üyesi işletmede çalışmaktadır. İşletmeler içerisinde yavru balık yetiştiriciliği yapan işletme sayısı 3'dür. İşletmelerin yavru balık kapasitesi ortalama 1896 m³, balık üretme kapasitesi 746 m³'dür. İşletmeler ortalama 18 yıldır faal olarak çalışmaktadırlar. Yetiştiricilikte yeraltı suyu ve deniz suyu kullanılmaktadır. İşletmelerdeki havuzların yapı malzemesi plastik ve betondan oluşmaktadır. Havuzların ortalama uzunluğu 100 m, genişliği 60 m, kafes adedi 32'dir.

İşletmelere kurulum aşamasında 24 milyon yatırım yapılmıştır. Bu yatırımın %92'lik kısmı öz sermayeden, geri kalan kısmı ise devlet teşviklerinden karşılanmıştır. İşletmelerdeki aktif sermaye 32 milyon TL'dir. Aktif sermaye içerisindeki en yüksek pay (%93) çiftlik sermayesidir. Çiftlik sermayesi

içerisindeki en yüksek pay ise %95'lik oranla balık sermayesine aittir. Pasif sermayenin ise %86'sını öz sermaye oluşturmaktadır. Havuzlarda 1m³ alanda 12 kg balık stoklanmakta olup yıllık tüketilen yem miktarı ortalama 980000 kilogramdır.

İncelenen işletmelerin GSH değeri 17,5 milyon TL olup, GSH'nın %98'ini GSÜD oluşturmaktadır. İşletmelerde ortalama net kar 12,3 milyon TL'dir. İncelenen işletmelerin işletme masrafları yılda ortalama 5,2 milyon TL'dir. Masraflar içerisindeki en yüksek pay yem masraflarıdır. İncelenen işletmelerde rantabilite faktörü %32 olarak hesaplanmıştır. Yani her 100 TL'lik GSH'nın 32 TL'sini SH oluşturmaktadır. İşletmelerde mali rantabilite ise %44 olarak hesaplanmıştır, yani her 100 TL'lik öz sermaye karşılığında 44 TL kar elde etmektedir.

Balık işleme tesisinde işlenen balık türleri, tesise geliş zamanları, günlük miktarları, tesise gelen balıkların ortalama ağırlıkları ve tesis alış fiyatları Tablo 1'de verilmiştir. İncelenen işletmede yılda toplam 2080 ton balık ve diğer ürünler işlenmektedir. İşletmede balık alımı için yıllık 98.360.000,00 TL'lik masraf yapılmaktadır. Sardalya ve hamsi natürel (IQF) temizlenmiş, içi alınmış ve dondurulmuş olarak, istavrit, tombik, palamut, yazılı orkinos, kupez ve kolyoz natürel (IQF) olarak, sübye, yerli kalamar ve mosko blok+ IQF olarak, ahtapot çiçek+IQF olarak, cimcim karides kabuk alma- IQF olarak işlenmektedir. İşletmedeki toplam işleme masrafı yılda 27.040.000,00 TL'dir. İşletmede toplam 22 işçi çalışmakta olup, yıllık işçilik masrafı yaklaşık 100 bin TL'dir. İşletmede 2 adet kasa yıkama makinesi, 2 adet IQF makinesi, bir adet glaze+ hardening, 3 adet kabuk alma makinesi, 2 adet iç alma makinesi, 2 adet kafa kesme makinesi bulunmakta olup, işletmenin alet makine sermayesi 23 milyon TL'dir. İşletmede işlenen balık ve diğer ürün satışından elde edilen gelir yılda 175.136.000,00 TL'dir.

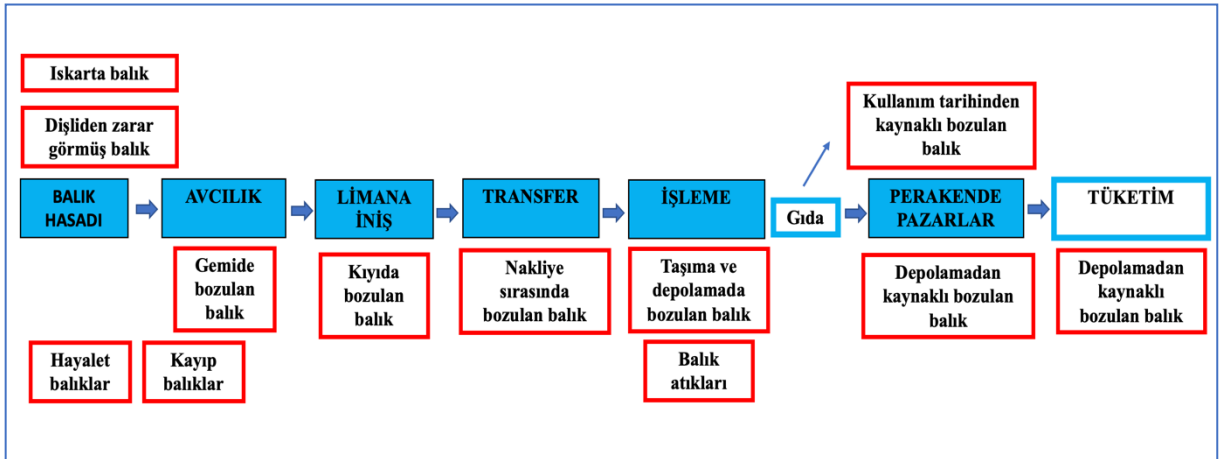
Tablo 1. Balık işleme tesisi balık türleri, miktarları ve fiyatı

Balık Türleri	Tesise geliş zamanı (ay)	Günlük miktar (kg)	Yıllık miktar (ton)	Ortalama ağırlığı (kg/adet)	Alış fiyatı (TL/KG)
Sardalya	Nisan- Eylül	1650	400	65-70	35
Hamsi	Nisan- Eylül	850	200	90-100	40
İri İstavrit	Nisan- Eylül	350	80	15	35
İnce İstavrit	Nisan- Eylül	450	100	50-60	40
Tombik	Nisan- Eylül	850	200	1	28
Palamut	Mart- Eylül	1250	300	1	40
Yazılı Orkinos	Nisan- Eylül	1000	250	1	33
Kupez	Nisan- Eylül	450	100	10-12	35
Kolyoz	Nisan- Eylül	500	120	10-12	38
Sübye	Nisan-Eylül	250	60	2	115
Ahtapot	Kasım-Nisan	100	20	1	200
Cimcim Karides	Nisan- Temmuz	650	150	80	40
Mosko	Nisan- Kasım	210	50	2-3	75
Yerli Kalamar	Nisan- Eylül	210	50	4-5	300

İnceleme alanındaki balık değer zincirindeki diğer araçlar ise 6 adet balıkçı barınakları, 8 adet balık satış noktası ve 3 adet limandan oluşmaktadır. Balıkçı barınaklarında balıkçı tekneleri demirlenmektedir. Burada teknelerin bakım ve onarımı yapılmaktadır. Ayrıca gerekli avcılıkta gerekli malzemelerin temin edildiği yerlerdir. Ticari balık avcılığından elde edilen balıkların %8'i balıkçı

barınaklarında satılmaktadır. İnceleme alanındaki balık satış noktalarında ise avcılıktan elde edilen balıkların %72'si satılmaktadır. Limanlardan ise geri kalan balıkların tamamı satışa sunulmaktadır. İnceleme alanında balık değer zincirinde bulunan üreticileri işletme büyüklük ve tipleri itibariyle üçe ayrılmaktadır. Bunlar küçük ölçekli ticari balık işletmeleri, büyük ölçekli ticari balık işletmeleri ve su ürünleri yetiştiriciliği yapan işletmelerdir.

Küçük ölçekli ticari balıkçılık yapan işletmeler D plaka teknelerden oluşmaktadır. Bu işletmelerden avlanan balıkların değer zincirini avcılar, limanlar, işleme tesisi ve balık satış noktaları oluşturmaktadır. Balık değer zincirinde ortaya çıkan gıda kayıp ve atıkları ilk olarak hasat aşamasında ıskarta balık ve dişliden zarar görmüş balıklardır. Avcılık aşamasında hayalet balıklar ve kayıp balıklar gıda kayıplarını oluştururken, gemide bozulan balıklar ise atıkları oluşturmaktadır. Limana iniş aşamasında kıyıda bozulan balıklar gıda atıklarını oluşturmaktadır. Daha sonra oluşan gıda atıkları nakliye sırasında bozulan balıklar, balık işleme tesisinde taşıma ve depolama sonucu bozulan balıklar, işleme sonucunda oluşan balık atıkları olarak meydana gelmektedir. Perakende pazarlara gitmeden önce kullanım tarihinden kaynaklı bozulan ve depolamadan kaynaklı bozulan balıklar atık olarak ortaya çıkmaktadır (Şekil 2).



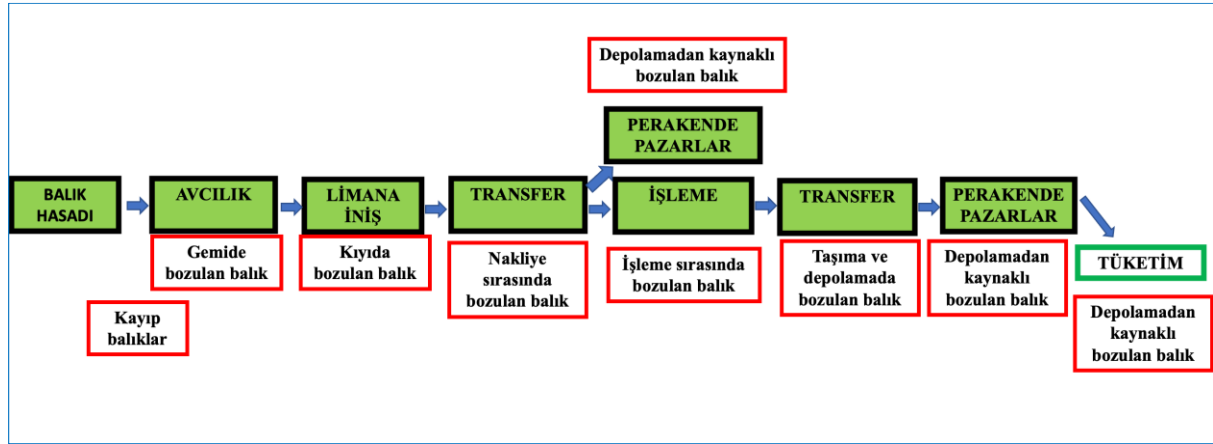
Şekil 2. Gıda kaybı ve atığı (Küçük ölçekli ticari balıkçılık)

Küçük ölçekli ticari balık avcılığı yapan işletmelerden elde edilen balık miktarı yılda 510865 kg'dır. Değer zincirinde ortaya çıkan fiziksel ve kalite kayıp oranları Tablo 2'de verilmiştir. En fazla gıda kaybı ve atığı balık işleme aşamasında meydana gelmekte olup, yıllık fiziksel kalite kayıp oranı %27,1'dir. İşleme aşamasındaki kalite kayıp oranı %8,9, transfer aşamasındaki kalite kaybı oranı %6,9, diğer aşamalarda ise %1-2 arasında değişmektedir.

Tablo 2. Gıda kaybı ve atığı (küçük ölçekli ticari balıkçılık)

AŞAMA	Fiziksel kayıp oranı (%)	Kalite kaybı oranı (%)
Balık hasadı	1,5	1,4
Avcılık	1,1	1,3
Limana iniş	0,3	1,2
Transfer	4,9	6,9
- İşleme	- 1,3	- 4,3
- Perakende satış	- 3,6	- 2,6
İşleme	13,7	8,9
Perakende satış	5,6	1,5
Toplam	27,1	21,2

Büyük ölçekli ticari balıkçılık yapan işletmeler A, B, C plaka teknelerden oluşmaktadır. Bu işletmelerden avlanan balıkların değer zincirini avcılar, limanlar, işleme tesisi ve balık satış noktaları oluşturmaktadır. Balık değer zincirinde ortaya çıkan gıda kaybı ve atıkları ilk olarak avcılık aşamasında kayıp balıklardır. Ayrıca avcılık sırasında gemide bozulan balıklar ve limana iniş aşamasında kıyıda bozulan balıklar gıda atıklarını oluşturmaktadır. Daha sonra oluşan gıda atıkları nakliye sırasında bozulan balıklar, balık işleme tesisinde taşıma ve depolama sonucu bozulan balıklar, işleme sonucunda oluşan balık atıkları olarak meydana gelmektedir. Perakende pazarlara gitmeden önce kullanım tarihinden kaynaklı bozulan ve depolamadan kaynaklı bozulan balıklar atık olarak ortaya çıkmaktadır (Şekil 3).

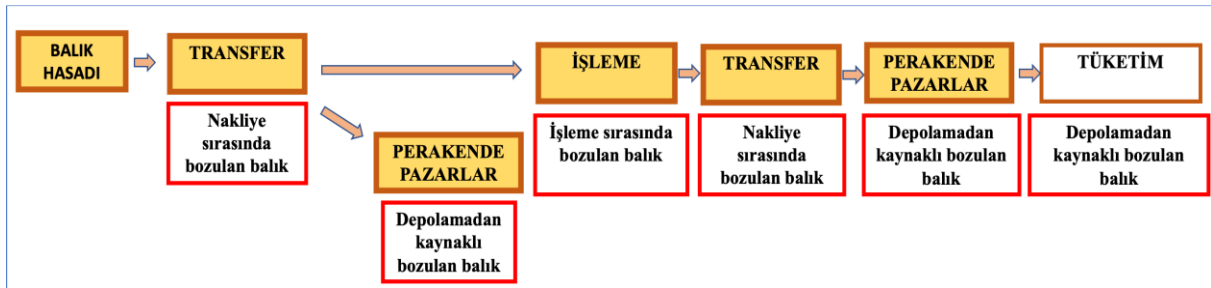
**Şekil 3.** Gıda kaybı ve atığı (büyük ölçekli ticari balıkçılık)

Küçük ölçekli ticari balık avcılığı yapan işletmelere göre büyük ölçekli ticari balık avcılığı yapan işletmelerin değer zincirinde ortaya çıkan balık gıda kaybı ve atıkları daha fazladır. Büyük ölçekli ticari balık avcılığı yapan işletmelerden elde edilen balık miktarı yılda 3240402 kg'dır. Değer zincirinde ortaya çıkan fiziksel ve kalite kaybı oranları Tablo 3'de verilmiştir. En fazla gıda kaybı ve atığı perakende satış aşamasında meydana gelmekte olup, yıllık fiziksel kalite kaybı oranı %33,8'dir. İhracat ve işleme aşamasında da önemli ölçüde gıda kayıpları ve atıkları oluşmaktadır.

Tablo 3. Gıda kaybı ve atığı (Büyük ölçekli ticari balıkçılık)

AŞAMA	Fiziksel kayıp oranı (%)	Kalite kaybı oranı (%)
Balık hasadı	1,4	1,3
Avcılık	2,3	2,4
Limana iniş	1,3	2,8
Transfer	1,5	0,5
İşleme	8,1	8,1
Perakende satış	10,0	4,5
İhracat	9,2	5,5
Toplam	33,8	25,1

Su ürünleri yetiştiriciliği yapan işletmelerden elde edilen balıkların değer zincirini işleme tesisi ve perakende pazarlar oluşturmaktadır. Balık değer zincirinde ortaya çıkan gıda kayıp ve atıkları ilk olarak transfer aşamasında nakliye sırasında bozulan balıklar oluşturmaktadır. Daha sonra oluşan gıda atıkları depolama sonucu bozulan balıklar, işleme sonucunda oluşan balık atıkları olarak meydana gelmektedir. Perakende pazarlarda depolamadan kaynaklı bozulan balıklar atık olarak ortaya çıkmaktadır (Şekil 4).

**Şekil 4.** Gıda kaybı ve atığı (su ürünleri yetiştiriciliği)

Su ürünleri yetiştiriciliği yapan işletmelerden elde edilen balık miktarı yılda 920198 kg'dır. Değer zincirinde ortaya çıkan fiziksel ve kalite kayıp oranları Tablo 4'de verilmiştir. En fazla gıda kaybı ve atığı transfer aşamasında meydana gelmekte olup, yıllık fiziksel kalite kayıp oranı %25,8'dir.

Tablo 4. Gıda kaybı ve atığı (Su ürünleri yetiştiriciliği)

AŞAMA	Fiziksel kayıp oranı (%)	Kalite kaybı oranı (%)
Balık hasadı	5,4	4,6
Transfer	13,3	8,7
- Perakende market	- 5,9	-5,5
- İşleme	- 7,4	-3,2
Transfer	4,3	2,8
Perakende market	2,8	3,3
Toplam	25,8	19,4

İnceleme alanında üretilen 1 kg balığın karbon emisyonu 1,48 kg/CO₂eq olarak alınmıştır (Poernomo ve Suryanto, 2020). Balık atık miktarları ve değer zincirinde ortaya çıkan karbon emisyon miktarına çevresel etkinlik analizi sonuçları Tablo 5'te verilmiştir. İnceleme alanında balık değer zincirinde çevresel etkinliği sağlayamamanın nedeni istenilen düzeyde olmayan işletmecilik becerisidir. Saf teknik etkinlik skoru küçük ölçekli ticari balık avcılığında 0.603, büyük ölçekli ticari balık avcılığında 0.448 ve su ürünleri yetiştiriciliğinde 0.559 olarak ölçülmüştür. İncelenen işletmeler, işletmecilik becerilerini

artırarak ve yönetsel esneklikleri kullanarak çevresel etkinliklerini, küçük ölçekli ticari balık avcılığında %39,7, büyük ölçekli ticari balık avcılığında %55,2 ve su ürünleri yetiştiriciliğinde %44,1 artırabilirler.

Tablo 5. Balık değer zincirinde çevresel etkinlik ölçümleri ve güven aralığı sınırları

	Etkinlik ölçümleri	VZY Tahmini	Bias	SE_{boot}	Alt Sınır	Üst Sınır
Küçük ölçekli balıkçılık	TE	0,721	0,00040	0,01144	0,79910	0,84456
	STE	0,603	0,00041	0,01219	0,77961	0,82791
	ÖE	0,578	0,00003	0,00221	0,97260	0,98160
Büyük ölçekli balıkçılık	TE	0,752	0,00053	0,02062	0,90660	0,98670
	STE	0,448	0,00053	0,02115	0,90241	0,98567
	ÖE	0,696	0,00000	0,00166	0,99250	0,99910
Su ürünleri yetiştiriciliği	TE	0,677	-0,00003	0,01801	0,84328	0,91272
	STE	0,559	0,00014	0,01798	0,82518	0,89686
	ÖE	0,679	0,00019	0,00579	0,96687	0,98900

*TE: Teknik etkinlik; STE: Saf teknik etkinlik; ÖE: Ölçek etkinliği

İşletmelerin çevresel etkinliği sağlayamamanın bir diğer sebebi ise sahip olunan üretim ölçeğidir. Ölçek etkinlik skoru küçük ölçekli ticari balık avcılığında 0.578, büyük ölçekli ticari balık avcılığında 0.696 ve su ürünleri yetiştiriciliğinde 0.679'dur. İşletmelerin ölçeklerinde düzenleme küçük ölçekli ticari balık avcılığında %42,2, büyük ölçekli ticari balık avcılığında %30,4 ve su ürünleri yetiştiriciliğinde %32,1 artırma imkanına sahip olduğunu göstermektedir (Tablo 5).

4. Sonuç

Araştırmada, gıda kaybı ve israfının sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle yakından ilişkili olduğu vurgulanmıştır. Özellikle balık değer zinciri içindeki kayıpların çevresel ve ekonomik etkileri büyük bir öneme sahiptir. Türkiye'de balık üretimi önemli bir paya sahiptir, ancak bu üretimde gıda kaybı ve israfının olduğu bilinmektedir. Bu kayıpların ekonomik ve çevresel sonuçları göz önüne alındığında, bu alandaki iyileştirmeler büyük bir öneme sahiptir. Balıklar, hızlı bozulabilen ürünlerdir. Avlandıktan veya yetiştirildikten sonra hızla işlenmelidir. Bu, gıda kaybı ve israfını önlemek için kritik bir aşamadır. Çeşme ilçesi, balık değer zinciri boyunca oluşan gıda kaybı ve israfının belirlenmesi ve çevresel etkinliğin tahmin edilmesi için bir örnek oluşturmaktadır. Bu çalışmanın, bölgesel düzeyde çevresel etkinlik ve kayıp/israf miktarının anlaşılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Özellikle balık işleme süreçlerinin verimliliğini artırmak ve bozulmayı en aza indirmek için teknolojik yenilikler ve daha iyi işleme yöntemleri geliştirilmelidir. Gelişmiş teknolojik sistemler, balık avcılığında başlayarak, işleme sürecine kadar balık takibini sağlamak için kullanılabilir. Balıkların avlandığı bölgelerden, işleme tesislerine kadar olan süreçte izlenebilirlik, sürdürülebilirlik ve kalite kontrolü sağlamak adına GPS tabanlı takip sistemleri kullanılabilir. Balık işleme tesislerinde kullanılan otomatik makineler, balıkların ayıklanması ve kesilmesi süreçlerini hızlandırabilir. Bu, işgücü verimliliğini artırırken aynı zamanda kalite kontrolünü sağlayabilir. Balık işleme sürecinde soğuk zincir yönetimi kritiktir. Gelişmiş teknoloji ile donatılmış soğuk depo sistemleri ve taşıma araçları, balıkların taze ve hijyenik bir şekilde muhafaza edilmesini sağlayarak kalite kaybını minimuma indirebilir. Balıkların otomatik olarak paketlenmesi ve etiketlenmesi, ürünlerin tanımlanabilirliğini artırır ve tüketicilere güvenilir bir ürün

sunar. Balık işleme süreçlerinde veri analitiği ve yapay zeka, üretim süreçlerini optimize etmek, stok yönetimini iyileştirmek ve talep tahminini doğru bir şekilde yapmak için kullanılabilir. İşleme tesislerinde sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçiş, çevresel etkileri azaltabilir ve işletme maliyetlerini düşürebilir. Bu teknolojik uygulamalar, değer zincirinin her aşamasında sürdürülebilirliği artırmak, verimliliği yükseltmek ve çevresel etkileri minimize etmek için entegre edilebilir.

Ayrıca zincirdeki aktör sayısını azaltmak için öncelikle iş birliği ve entegrasyona odaklanmalıdır. Ortak platformlar veya veri paylaşım sistemleri kullanarak, zincirdeki farklı aşamalarda yer alan aktörler arasındaki iletişimi güçlendirebilir ve bilgi akışını artırabilir. Bu sayede, zincirdeki aktör sayısını azaltarak gıda kaybı ve atık yönetiminde daha etkin bir kontrol sağlanabilir. Balık avcı ve üreticilerine gıda kaybı ve israfı azaltmaya yönelik eğitimler düzenlenmelidir. Bu, bilinç düzeyini yükselterek çözüme katkı sağlayabilir. Balık değer zinciri içindeki taşıma ve dağıtım süreçlerinin optimize edilmesi, kayıpları ve atıkları azaltabilir. Daha iyi soğuk zincir yönetimi ve lojistik planlaması önemlidir. Çevresel etkilerin izlenmesi ve değerlendirilmesi, çevresel etkinliği artırmak için gereklidir. Ayrıca değer zincirindeki aktörlere sürdürülebilir uygulamaları ve kayıp ve atığı azaltmaya teşvik etmek önemlidir. Balıkçılık ve balık işleme süreçlerinde sürdürülebilirlik standartlarının belirlenmesi ve bu standartlara uygunluğun teşvik edilmesi için politikalar geliştirilmelidir. Devlet destekli teşvikler ve hibe programları ile balık işleme tesislerinin teknoloji altyapısını güçlendirmeye yönelik yatırımlar teşvik edilmelidir. Bu, iş süreçlerini daha verimli hale getirirken aynı zamanda sektördeki rekabet avantajını artırabilir. İhracatı teşvik edici politikalar ve ticaret anlaşmaları ile sektörün uluslararası pazarlara erişimi kolaylaştırılmalıdır. Bu, sektördeki aktörlerin daha geniş bir müşteri kitlesine ulaşmasını sağlayabilir. Balık işleme tesislerinde gıda güvenliği standartlarına uyulmasını teşvik eden politikalar oluşturulmalıdır. Ayrıca, kalite kontrol süreçlerini güçlendirecek politikalarla tüketicilere güvenilir ürünler sunulmalıdır.

Teşekkür

Çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından PYO.ZRT.1908.22.014 proje numarası ile desteklenmiştir. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkürlerimizi sunarız.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Adelaja OA., Kamaruddin RB., Chiat LW. Assessment of post-harvest fish losses croaker *pseudotolithus elongatus*, (bowdich, 1825), catfish *Arius heudeloti*, (valenciennes, 1840) and shrimp *nematopalaemon hastatus* (aurivillius, 1898) in ondo state, Nigeria. *Aquacult. Fish* 2018; 3(5): 209–216.
- Akande GR., Diei-Ouadi Y. Post-harvest losses in small-scale fisheries: Case Studies in five sub-saharan African Countries. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical* 2010; Paper No: 550. FAO, Rome.
- Akande GR., Jeffries D., Ward A. Fish loss assessment method research. *DFID Post-Harvest Fisheries Research Project Paper R7008*. Natural Resources Institute; Chatham; 2000.
- Akkara M., Halil T. Funguslardan elde edilen endüstriyel ürünler. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi* 2014; 9(2): 46-53.
- Alimi T., Manyong V. Partial budget analysis for on-farm research, IITA research guide. Ibadan, Nigeria 2000; IIT; 53.
- Alkaya E., Göksel ND. Minimizing and adding value to seafood processing wastes. *Food and Bioproducts Processing* 2016; 195-202.
- Ames G., Clucas I., Paul SS. Post-harvest losses of fish in the tropics. *Natural Resources Institute; Chatham; UK; 1991*.
- Atar HH., Zayde A. Seafood consumption and health. *Türk Silahlı Kuvvetleri Koruyucu Hekimlik Bülteni* 2009; 8(2): 173-176.
- Bag S., Gupta S., Foropon C. Examining the role of dynamic remanufacturing capability on supply chain resilience in circular economy. *Manag. Decis.* 2019; 57(4): 863e885.
- Banker RD., Charnes A., Cooper WW. Models for estimating technical and scale efficiens, *Management Science* 1984; 30: 1078-1092.
- Beretta C., Stucki M., Hellweg S. Environmental impacts and hotspots of food losses: value chain analysis of Swiss food consumption. *Environ. Sci. Technol.* 2017; 51: 11165–11173.
- Bjorndal T., Child A., Lem A. (Eds.). *Value chain dynamics and the small-scale sector: Policy Recommendations for Small-Scale Fisheries and Aquaculture Trade*. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical* 2014; Paper No: 581. FAO, Rome.
- Borrello M., Caracciolo F., Lombardi A., Pascucci S., Cembalo L. Consumers' perspective on circular economy strategy for reducing food waste. *Sustainability* 2017; 9(1): 141.
- Braçutigam K., Joçrissen J., Priefer C. The extent of food waste generation across EU-27: different calculation methods and the reliability of their results. *Waste Manag. Res.* 2014; 32(8): 683e694.
- Ceden~o EF. The waste of food: a perspective from the students of Business Administration of UPS Guayaquil. *Retos-revista de Ciencias de la Admin- istracion y Economia* 2016; 6(11).
- Cheke RA., Ward AR. A model for evaluating interventions designed to reduce post-harvest fish losses. *Fish. Res.* 1998; 3: 219–227.

- Cinemre HA. Tarım işletmeciliği ve planlama. Basım yeri: Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları; 2010.
- Coelli T., Rao DSP., Battese GE. An introduction to efficiency and productivity analysis. Kluwer Academic Publishers; Massachusetts, USA; 1998.
- Corrado S., Caldeira C., Eriksson M., Hanssen J., Hauser HE., Holstejn FV., Liu G., Oesterergren K., Parry A., Secondi L., Stenmarck A., Sala S. Food waste accounting methodologies: challenges, opportunities, and further advancements. *Glob. Food Secur.* 2019; 20: 93-100.
- Corrado S., Sala S. Food waste accounting along global and European food supply chains: state of the art and outlook. *Waste Manag.* 2018; 79: 120-131.
- Cristo bal J., Castellani V., Manfredi S., Sala S. Prioritizing and optimizing sustainable measures for food waste prevention and management. *Waste Manag.* 2018; 72: 3-16.
- Çağlak E., Çağlak S. Aquatic products, secondary products and by-products. *Yunus Research Bulletin* 2011; 11(2): 1-6.
- Dal' Magro G., Talamini E. Estimating the magnitude of the food loss and waste generated in Brazil. *Waste Manag. Res.* 2019; 37(7): 706-716.
- Delsignore M., Ramajoli M., Ricci C. Defining the meaning of food waste with urgency. *Food Waste Reduct. Valorizat.: Sustain. Assessme. Pol. Analys.* 2017; 6: 215-233.
- Dey MM., Alam MF., Paraguas FJA multistage budgeting approach to the analysis of demand for fish: an application to inland areas of Bangladesh. *Mar. Resour. Econ.* 2011; 26(1): 35-58.
- Diei-Ouadi Y., Komivi Sodoke B., Ouedraogo Y., Adjoa Oduro F., Bokobosso K., Rosenthal I. Strengthening the performance of post-harvest systems and regional trade in small-scale fisheries: case study of post-harvest loss reduction in the Volta Basin Riparian Countries. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular* 2015.
- Erkuş A., Bülbül M, Kırıl T., Açıl AF., Demirci R. Tarım ekonomisi. A.Ü.Z.F. Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları 1995.
- Eyo AA., Mdaihi M. Assessment of post-harvest losses in the Nigeria fishery: the Kainji Lake model. In: Ndenn, J., Teutscher, F., Diei-Ouadi, Y. (Eds.), Report and papers presented at the seventh FAO expert consultation on fish technology in Africa. Saly-Mbour, Republic of Senegal, 10-13 December 2001. *FAO Fisheries* 2015; Report No: 712. FAO, Rome.
- FAO. Global food losses and food waste: Extent, Causes, and Prevention. 2011.
- FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2014a; FAO, Rome.
- FAO. Global initiative on food losses and waste reduction. Food Loss Assessments: Causes and Solutions; Case Studies in Small-Scale Agriculture and Fisheries Subsectors. KENYA, Banana, Maize, Milk. Fish. 2014b; FAO, Rome.
- FAO. Food loss analysis: Causes and solutions. Case studies in the small-scale agriculture and fisheries subsectors: Methodology 2016. FAO, Rome.
- FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020 – Sustainability in Action 2020. FAO, Rome.

- Fujii H., Kondo Y. Decomposition analysis of food waste management with explicit consideration of priority of alternative management options and its application to the Japanese food industry from 2008 to 2015. *J. Clean. Prod.* 2018; 188: 568-574.
- Garrone P., Melacini M., Perego A. Opening the black box of food waste reduction. *Food Policy* 2014; 46: 129–139.
- Gibson RS., Yeudall F., Drost N., Mtitimuni BM., Cullinan TR. Experiences of a community-based dietary intervention to enhance micronutrient adequacy of diets low in animal source foods and high in phytate: a case study in rural Malawian children. *J. Nutr.* 2003; 133: 3992–3999.
- Goßel C., Langen N., Blumenthal A., Teitscheid P., Ritter G. Cutting food waste through cooperation along the food supply chain. *Sustainability* 2015; 7(2): 1429-1445.
- Gordon A., Pulis A., Owusu-Adjei E. Smoked marine fish from western region, Ghana: a value chain assessment. WorldFish Center. USAID Integrated Coastal and Fisheries Governance Initiative for the Western Region, Ghana 2011.
- Grasso S. Extruded snacks from industrial by-products: a review. *Trends Food Sci. Technol.* 2020; 99: 284-294.
- Gustavsson J., Stage J. Retail waste of horticultural products in Sweden. *Resourc. Conserv. Recycl.* 2011; 55(5): 554-556.
- Güllü H. Unconfined compressive strength and freeze–thaw resistance of fine-grained soil stabilised with bottom ash, lime and superplasticiser. *Road Materials and Pavement Design* 2015; 16(3): 608-634.
- Gündüz H., Öztürk F., Hamzaçebi S., Akpınar MD. Su ürünleri işleme atıklarının değerlendirilmesi. *Aquat Sci Eng*, 2018; 33(1): 1-5.
- HLPE. Food losses and waste in the context of sustainable food systems. A Report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee. World Food Security, 2014, Rome.
- Hodges RJ., Buzby JC., Bennett B. Postharvest losses in developed and less developed countries: opportunities to improve resource use. *J. Agric. Sci.* 2011;149: 37–45.
- Hoehn D., Margallo M., Laso J., García-Herrero I., Bala A., Fullana-I-Palmer P., Irabien A., Aldaco R. Energy embedded in food loss management and in the production of uneaten food: seeking a sustainable pathway. *Energies (Basel)* 2019; 12 (4): 767.
- İmamoğlu Ö. Biyokontrolde doğal ürünlerin kullanılması; *Kitosan. Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi* 2011; 68(4): 215-222.
- Kasprzyk Z. Analyse globale de la chaîne d’approvisionnement de la pêcherie du crabe de mangrove (*Scylla Serrata*) à Madagascar. *IOC-SmartFish.* 2012.
- Kasprzyk Z., Wallemacq F., Yvergniaux Y. Efficiency of the *Scylla serrata* crab fishery value chain (Madagascar) boosted by simple low cost interventions. In: *The First International Congress on Postharvest Loss Prevention.* 2015, 177–179, Rome.

- Kawarazuka N., B'én'e C. Linking small-scale fisheries and aquaculture to household nutritional security: an overview. *Food Sec* 2010; 2: 343–357.
- Kawarazuka Nozomi, B'én'e Christophe. The potential role of small fish species in improving micronutrient deficiencies in developing countries: building evidence. *Public Health Nutrition* 2011; 14(11): 1927–1938.
- Kay D., Edwards MW., Duffy AP. *Farm management*. Sixth Edition, McGraw Hill, Boston, USA 2018.
- Kaya GK. Marine edilmiş levrek (*Dicentrarchus labrax* L., 1758), çipura (*Sparus aurata* L., 1758) ve karabalıkta (*Clarias gariepinus*) depolama süresince duyuşal, kimyasal ve mikrobiyolojik değişimler. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Ana Bilim Dalı, Doktora tezi 2009.
- Kayıkci Y., Ozbiltekin M., Kazancoglu Y. Minimizing losses at red meat supply chain with circular and central slaughterhouse model. *Journal of Enterprise Information Management*, Ahead-of-print (Ahead-of-print). *J. Enterprise Inform. Manag.* 2019.
- Kelleher K. Discards in the world's marine fisheries – an Update 2005. FAO, Rome.
- Kılınç B. Balık atıklarının değerlendirilmesi. *Su Ürünleri Dergisi* 2007; 24(3): 315-319.
- Kowalska A. The issue of food losses and waste and its determinants. *Log- Forum (Poznan, Poland)* 2017; 13(1): 220-244.
- Kumolu-Johnson CA., Ndimele PEA. Post-harvest losses in artisanal fisheries of some african countries. *J. Fish. Aquat. Sci.* 2011; 6 (4): 365–378.
- La Caba de K., Guerrero P., Trung T., Cruz-Romero S., Kerry M., Fluhr JP., Mauer J., Kruijssen M., Albalat F., Bunting A., Burt S., Pouco S., Newton D. From seafood waste to active seafood packaging: an emerging opportunity of the circular economy. *R. J. Clean. Prod.* 2019; 208: 86-98.
- Lessley B., Johnson DM., Hanson JC. Using the partial budget to analyze farm change. 1990-1991 Edition, University of Maryland System 1991.
- Maina S., Kachrimanidou V., Koutinas A. A roadmap for a circular and sustainable bioeconomy through waste recovery. *Curr. Opin. Green Sustain. Chem.* 2017; 8: 18-23.
- Mgawe Y., Diei-Ouadi Y. Post-harvest fish losses in small-scale fisheries: Operator's Manual for Reducing Post-harvest Losses to Increase Income 2011. FAO, Rome.
- Michaelsen KF., Dewey KG., Perez-Exposito AB., Nurhasan M., Lauritzen L., Roos N. Food sources and intake of n-6 and n-3 fatty acids in low-income countries with emphasis on infants, young children (6–24 months), and pregnant and lactating women. *Matern. Child Nutr.* 2011; 7(2): 124–140.
- Morrissey MT. Postharvest fishery losses: a definition of terms. In: Morrissey, M. T. (Ed.), *Postharvest Fishery Losses: Proceedings of an International Workshop Held at the University of Rhode Island*. Kingston RI, 13–21. 1998.

- Muth MK., Birney C., Cuéllar A., Finn SM., Freeman M., Galloway JN., Gee I., Gephart J., Jones K., Low L., Meyer E., Read Q., Smith T., Weitz K., Zoubek SA systems approach to assessing environmental and economic effects of food loss and waste interventions in the United States. *Sci. Total Environ.* 2019; 685: 1240–1254.
- Nowsad AKM, Hossain MM., Hassan MN., Sayem SM., Polanco JF. Assessment of post harvest loss of wet fish: a novel approach based on sensory indicator assessment. *SAARC J. Agricult.* 2015; 13(1): 75–89.
- Nowsad AKM. Post-harvest loss reduction in fisheries in Bangladesh: A Way Forward to Food Security, Report for the National Food Policy Capacity Strengthening Programme (Dhaka, Bangladesh) 2010.
- Pauer E., Wohner B., Heinrich V., Tacker M. Assessing the environmental sustainability of food packaging: an extended life cycle assessment including packaging-related food losses and waste and circularity assessment. *Sustainability* 2019; 11(3): 925.
- Poernomo A., Suryanto MR. Carbon footprint of frozen pangasius fillet: a case study. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 2020; 404 (1): 012001.
- Porter ME. *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Free Press, New York 1985.
- Porter SD., Reay DS., Higgins P., Bomberg EA half-century of production- phase greenhouse gas emissions from food loss and waste in the global food supply chain. *Sci. Total Environ.* 2016; 571: 721-729.
- Poulter GR., Ames GR., Evans NJ. Post-harvest losses in traditionally processed fish products in less developed countries. In: Morrissey, M.T. (Ed.), *Postharvest Fishery Losses: Proceedings of an International Workshop Held at the University of Rhode Island* 1998.
- Principato L., Ruini L., Guidi M., Secondi L. Adopting the circular economy approach on food loss and waste: the case of Italian pasta production. *Resourc. Conserv. Recycl.* 2019; 144: 82-89.
- Rojas-Vargas J., Monge-Fernandez Y., Fernandez-Hidalgo. Food waste (DA) in concessions of a public university in heredia. *Costa Rica. Tecnol. Marcha* 2020; 33: 24-52.
- Roos N., Chamnan C., Loeung D., Jakobsen J., Thilsted SH. Freshwater fish as a dietary source of vitamin A in Cambodia. *Food Chem.* 2007c; 103: 1104–1111.
- Roos N., Islam M., Thilsted SH. Small fish is an important dietary source of vitamin A and calcium in rural Bangladesh. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 2003; 54: 329–339.
- Roos N., Thorseng H., Chamnan C., Larsen T., Gondolf UH., Bukhave K., Thilsted SH., Iron content in common Cambodian fish species: perspectives for dietary iron intake in poor, rural households. *Food Chem.* 2007b; 104: 1226–1235.
- Roos N., Wahab MA., Chamnan C., Thilsted SH. The role of fish in food-based strategies to combat vitamin A and mineral deficiencies in developing countries. *J. Nutr.* 2007a; 137: 1106–1109.

- Rosegrant M., Tokgoz S., Bhandary P. The future of the global food economy: scenarios for supply, demand, and prices. In: Barrett, C.B. (Ed.), *Food Security and Socio Political Stability*. Oxford University Press, Oxford, 2013.
- Sadhukhan J., Dugmore TIJ., Matharu A., Martinez-Hernandez E., Aburto J., Rahman PKSM., Lynch, J. Perspectives on “game changer” global challenges for sustainable 21st century: plant-based diet, unavoidable food waste biorefining, and circular economy. *Sustainability (Basel, Switzerland)* 2020; 12 (5): 1976.
- Secondi L., Principato L., Ruini L., Guidi M. Reusing food waste in food manufacturing companies: the case of the tomato-sauce supply Chain. *Sustainability (Switzerland)* 2019; 11(7): 52-65.
- Sharma YK., Patil PP., Mangla S., Liu, S. When challenges impede the process: for circular economy-driven sustainability practices in food supply chain. *Manag. Decis.* 2019; 57(4): 995-1017.
- Sturgeon TJ. How do we define value chains and production networks? *IDS Bull.* 2001; 32(3): 9–18.
- Teigiserova D., Hamelin L., Thomsen M. Towards transparent valorization of food surplus, waste and loss: clarifying definitions, food waste hierarchy, and role in the circular economy. *Sci. Total Environ.* 2020; 706: 136033.
- Thilsted SH., Thorne-Lyman A., Webb P., Bogard JR., Subasinghe R., Phillips MJ., Allison EH. Sustaining healthy diets: the role of capture fisheries and aquaculture for improving nutrition in the post-2015 era. *Food Pol.* 2016; 61: 126–131.
- Tostivint C., DeVeron S., Jan O., Lanctuit H., Hutton VZ., Loubie re M. Measuring food waste in a dairy supply chain in Pakistan. *J. Clean. Prod.* 2017; 145: 221-231.
- Turner J., Taylor M. *Applied farm management*. 2nd Edition, published by Willey 1998.
- Vallejo N., Hauselmann P., Asante R. *The Role of Supply Chains in Addressing the Global Seafood Crisis* 2009.
- Vilarin~o MV., Franco C., Quarrington C. Food loss and waste reduction as an integral part of a circular economy. *Frontiers in environmental science, Front. Environ. Sci.* 2007.
- Wander AE. *Multifarm Mechanization of Small Farms in the Centro-Serra Region of the Brazilian State Rio Grande do Sul*. REDES 2001.
- Ward AR., Jeffries DJ. *A Manual for Assessing Post Harvest Fisheries Losses*. Natural Resources Institute, Chatham UK 2000.
- Ward AR. *Quantitative data on post-harvest losses in Tanzania: the fisheries of lake Victoria and Mafia Island*. Natural Resources Institute, UK, Overseas Development Administration 1996.
- Yetim H. Jelatin üretimi, özellikleri ve kullanımı. 1. Ulusal Helal ve Sağlıklı Gıda Kongresi. *Gıda Katkı Maddeleri: Sorunlar ve Çözüm Önerileri* 2011; 86-9, Kayseri.

Görüntü İşleme Yöntemi ile Betonda Oluşan Karbonatlaşmanın Değerlendirilmesi

Tayfun UYGUNOĞLU¹, Feyza ÇETİNGÜL^{2*}

^{1,2}Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0003-4382-8257>

²<https://orcid.org/0000-0002-7750-0850>

*Sorumlu yazar: feyzacetingul@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 24.07.2023

Kabul tarihi: 17.11.2023

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Görüntü işleme

Karbonatlaşma

pH

Beton

ÖZ

Binaların dayanıklılığı, yapısal bütünlüğünü koruyarak zamanla çevresel etkilere maruz kalabilmesi ve işlevlerini sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşır. Karbonatlaşma, betonun ömrü boyunca çevresel etkiler sonucu maruz kaldığı karbondioksit gazının etkisiyle oluşan bir reaksiyon sürecidir. Betonun alkali içeriğini düşürerek çelik donatıların koruyucu örtüsüne zarar verir ve çelik donatının paslanmasına neden olabilir. Bu durum yapıların durabilitesini azaltmaktadır. Bu çalışmada, tasarlanan betonların iç kısmının karbonatlaşma potansiyeli ortaya konmuştur. Hazırlanan betonlara laboratuvar ortamında hızlandırılmış karbonatlaşma deneyi 1, 5 ve 10 günlük periyotlarda uygulanmıştır ve fenol çözeltisi kullanılarak karbonatlaşma derinlikleri tespit edilmiştir. Fenol çözeltisi püskürtülen beton yüzeylerin fotoğrafları alınarak görüntü işleme yöntemi ile karbonatlaşmamış bölgelerin pH değerleri tespit edilmiştir. Karbondioksitli ortama 1, 5 ve 10 gün maruz kalan betonların iç yüzeylerindeki pH değerleri sırası ile 12, 11,5 ve 10,5 olarak tespit edilmiştir.

Concrete Carbonation Assessment Using Image Processing Technique

Research Article

Article History:

Received: 24.07.2023

Accepted: 17.11.2023

Published online: 11.03.2024

Keywords:

Image processing

Carbonation

pH

Concrete

ABSTRACT

The durability of buildings is of great importance in terms of protecting their structural integrity, being exposed to environmental effects over time and maintaining their functions. Carbonation is a reaction process that occurs with the effect of carbon dioxide gas that concrete is exposed to as a result of environmental effects throughout its life. By lowering the alkali content of the concrete, it damages the protective cover of the steel reinforcement and may cause the steel reinforcement to rust. This situation reduces the durability of the structures. In this study, the carbonation potential of the interior of the designed concretes was revealed. In a lab setting, the constructed concretes underwent accelerated carbonation tests at 1, 5, and 10 day intervals. Carbonation depths were calculated using phenol solution. The pH values of the non-carbonated portions of the concrete surfaces were measured using an image processing technique after photographs of the surfaces had been taken and sprayed with phenol solution. The concretes' internal surfaces had pH values of 12, 11.5 and 10.5, respectively, after being exposed to a carbon dioxide environment for 1, 5, and 10 days.

To Cite: Uygunoğlu T., Çetingül F. Görüntü İşleme Yöntemi ile Betonda Oluşan Karbonatlaşmanın Değerlendirilmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(2): 802-817.

1. Giriş

Beton, çimento, su, agrega ve bazen katkı maddelerinin karıştırılmasıyla oluşturulur. Betonda karbonatlaşma olayı ise, beton yapının ömrü boyunca maruz kaldığı çevresel etkiler sonucu karbondioksit gazının beton içerisine nüfuz ederek $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (kalsiyum hidroksit) ile reaksiyona girerek CaCO_3 (kalsiyum karbonat) oluşturmasıdır. Kalsiyum karbonat, beton içerisindeki boşlukları doldurarak betonun daha yoğun ve sert olmasını sağlar (Yazıcıoğlu ve ark., 2012). Ayrıca, karbonatlaşma süreci betonun yüzeyini sertleştirerek, dış etkilere karşı dayanıklılığını artırır. Ancak, betonda karbonatlaşmanın aşırı boyutlara ulaşması, betonun dayanıklılığı üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Özellikle beton içerisindeki çelik donatıların koruyucu örtüsüne zarar vererek, çeliğin korozyonuna neden olabilir. Depremlerde yıkılan yapıların büyük çoğunluğunda klorür difüzyonunun ve/veya karbonatlaşmanın neden olduğu korozyon çok fazladır. Bu nedenle, beton yapıların dayanıklılığını arttırmak ve ömrünü uzatmak için karbonatlaşma süreci dikkatle takip edilmeli ve kontrol altında tutulmalıdır.

Karbonatlaşma deneyi normal ortamda ve laboratuvar ortamında olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Normal ortamda karbonatlaşma çevre koşullarının yapıya verdiği karbonatlaşma hasarını incelemek için yapılır ve bu deney çok uzun yıllar süreceği için genellikle hızlandırılmış karbonatlaşma test tekniği kullanımı ön plandadır (Mehta, 1986).

Hızlandırılmış karbonatlaşma deneyleri, betona CO_2 gazı veya karbonatlı su ekleyerek yapılır. Bu, normal atmosferik şartlardan çok daha yüksek CO_2 konsantrasyonu sağlar ve böylece karbonatlaşma süreci hızlandırılır (Demir ve ark., 2019). Hızlandırılmış karbonatlaşma deneyleri, beton kalitesinin ve dayanıklılığının belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Bu deneyler sayesinde, betonun karbonatlaşmaya karşı ne kadar dirençli olduğu ve ne kadar sürede hasar göreceği ölçülebilir (Li ve Wu, 2022). Böylece, betonun ömrünü tahmin etmek ve yapısal hasarları önlemek için uygun önlemler alınabilir.

Karbonatlaşma, genellikle betonun yüzeyinde başlar ve zamanla betonun içine nüfuz eder. Karbonatlaşmanın hızı, betonun yoğunluğuna, çimento-kum oranına, su-çimento oranına ve çevresel koşullara bağlıdır. Yüksek yoğunluğa sahip betonlar, karbondioksit gazının nüfuz etmesini engelleyerek karbonatlaşmayı yavaşlatırken, düşük yoğunluğa sahip betonlar daha çabuk karbonatlaşır. Ayrıca, yüksek su-çimento oranına sahip betonlar daha kolay karbonatlaşırken, düşük su-çimento oranına sahip betonlar daha dayanıklıdır.

Konuyla ilgili olarak literatürde, You ve ark. (2022) çimento bazlı malzemelerin karbonatlaşması için yapılan deneysel ve sayısal modelleme çalışmalarının bir incelemesidir. Makalede, karbonatlaşma sürecinin mekanizması ve etkileri, karbonatlaşma hızı, karbonatlaşma derinliği ve çimento bazlı malzemelerin özellikleri gibi önemli konular ele alınmıştır. Ayrıca, çimento bazlı malzemelerin karbonatlaşması için kullanılan deneysel yöntemler ve sayısal modelleme tekniklerini de tartışmışlardır. Makalede, karbonatlaşma sürecinin anlaşılması için gerekli olan bilgiyi sunarlarken, çimento bazlı malzemelerin karbonatlaşmasıyla ilgili gelecekteki araştırmalar için bir temel oluşturmayı amaçlamışlardır.

Giulietti ve ark. (2021) otomatik ölçüm sistemlerinin kullanılarak betondaki karbonatlaşma derinliğinin tespit edilmesi konusunu ele almışlardır. Makalede, fenol çözeltisi ile kaplanmış beton yüzeylerine uygulanan görüntü işleme teknikleriyle karbonatlaşma derinliğinin tespit edilmesi için bir otomatik ölçüm sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistem, karbonatlaşma derinliğini belirlemek için geleneksel yöntemlerden daha hızlı ve daha doğru sonuçlar vermektedir. Ayrıca, otomatik ölçüm sistemleri sayesinde karbonatlaşma derinliği ölçümlerinin insan hatasından kaynaklanan yanlışlıkların minimize edildiği de vurgulanmaktadır. Makale, beton yapıların karbonatlaşması sürecindeki izleme ve bakım çalışmaları için bu tür otomatik ölçüm sistemlerinin önemini vurgulamışlardır.

Choi ve ark. (2017) beton yüzeylerindeki karbonatlaşma bölgelerinin tespiti için görüntü işleme teknikleri kullanımını ele almaktadırlar. Çalışmada, fenol solüsyonu ile kaplanmış beton yüzeylerindeki karbonatlaşma bölgelerinin tespiti için bir görüntü işleme teknikleri sistemi geliştirmişlerdir. Bu sistem, dijital fotoğrafların işlenmesiyle karbonatlaşma bölgelerini tespit eder ve bu bölgelerin hacimleri hesaplar. Sonuçlar, karbonatlaşmanın derinliği ve etkilenen alanların belirlenmesi için önemli bir bilgi kaynağıdır. Makale, beton yapıların karbonatlaşmasının izlenmesi ve bakım çalışmaları için bu tür görüntü işleme tekniklerinin kullanımının önemini vurgulamaktadır.

Malami ve ark. (2021) betondaki karbonatlaşma derinliğinin tahmin edilmesi için bir yapay zeka yöntemi olan hibrid nöro-bulanık ve öz-düzenleyici tahmin modelinin uygulanması konusunu ele almaktadırlar. Çalışmada, bir dizi özellik ve karbonatlaşma derinliği verileri kullanılarak öğrenen bir model geliştirilmişlerdir. Bu model, hibrid nöro-bulanık ve öz-düzenleyici tahmin modelinin avantajlarını birleştirerek daha yüksek doğruluk ve performans sağlamaktadırlar. Sonuçlar, bu tür yapay zeka yöntemlerinin beton yapıların karbonatlaşması sürecindeki izleme ve bakım çalışmaları için önemli bir araç olduğunu göstermektedir. Makale, beton yapıların ömrünü uzatmak için yapay zeka yöntemlerinin kullanımının önemini vurgulamaktadır.

Paul ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, betondaki karbonatlaşma derinliğinin değerlendirilmesi ve tahmin edilmesi için bir ampirik model tasarımı konusunu ele almışlardır. Çalışmada, beton numunelerindeki karbonatlaşma derinliği ölçümleri ve bir dizi özellik (örneğin beton yoğunluğu, çimento oranı) kullanılarak bir ampirik model oluşturulmuşlardır. Bu model, karbonatlaşma derinliğini doğru bir şekilde tahmin etmek için kullanılmaktadır. Sonuçlar, bu ampirik modelin beton yapıların karbonatlaşma sürecindeki izleme ve bakım çalışmaları için uygun bir araç olduğunu göstermektedir. Makale, beton yapıların ömrünü uzatmak için uygun araçların geliştirilmesinin önemini vurgulamaktadır.

Mi ve ark. (2020) yazdıkları makalede, betonarme kirişlerde karbonatlaşma hizmet ömrünün tahmin edilmesi konusunda odaklanmışlardır. Çalışmada, karbonatlaşma derinliği ölçümleri yapmış ve bu veriler kullanarak bir karbonatlaşma bölgesi dağılımı modeli geliştirmişlerdir. Daha sonra, bu model, tahribatsız test teknikleriyle elde edilen beton özellikleri verileriyle birleştirilerek, betonarme kirişlerin karbonatlaşma hizmet ömrünün tahmininde kullanmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda, bu modelin betonarme kirişlerin karbonatlaşma hizmet ömrünü doğru bir şekilde tahmin ettiği gösterilmiştir. Bu

makale, karbonatlaşma derinliğinin betonarme yapıların dayanıklılığına olan etkisini belirlemek için bir araç olarak karbonatlaşma derinliği ölçümlerinin önemini vurgulamaktadır.

Liu ve ark. (2022) yüksek fırın cürufu içeren betonların karbonatlaşmasının sürdürülen basınç yükü tarafından nasıl etkilendiği incelemişlerdir. Araştırmacılar, beton örneklerine belirli bir düzeyde basınç yükü uygulayarak ve daha sonra bu örneklerin karbonatlaşma oranlarını ölçerek çalışmalarını gerçekleştirdiler. Sonuçlar, basınç yükü altındaki betonların karbonatlaşma oranlarının kontrol örneklerine göre daha yüksek olduğunu göstermiştir. Yapılan çalışma, beton yapının uzun vadeli davranışı hakkında daha iyi bilgi sağlamak için önemli bir adım olarak kabul edilir.

Literatürdeki çalışmalarda beton içerisine karbondioksit girmesi sonucu inşaat demirini korozyon açısından risk oluşturan karbonatlaşma derinliği dikkate alınmıştır. Ayrıca karbonatlaşma olmayan bölgeleri gösteren fenol çözeltisinin rengi de ortamın pH'ını gösterebilmektedir. Diğer yandan katı cisimlerin pH değerlerinin belirlenmesi oldukça zor olup bir ön işlem ile toz hale geldikten sonra çözelti kullanılarak belirlenebilmektedir. Literatürden farklı olarak bu çalışmada sertleşmiş beton yüzeyine uygulanan fenol çözeltisinden farklı renk tonları alınarak görüntü işleme yöntemi ile pH değerleri tespit edilmiştir. Böylece betonun iç kısmının karbonatlaşma potansiyeli belirlenebilecek ve betonlarda donatı etrafındaki pH seviyesine bağlı olarak korozyon oluşma riski ortaya konabilecektir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kullanılan Malzemeler

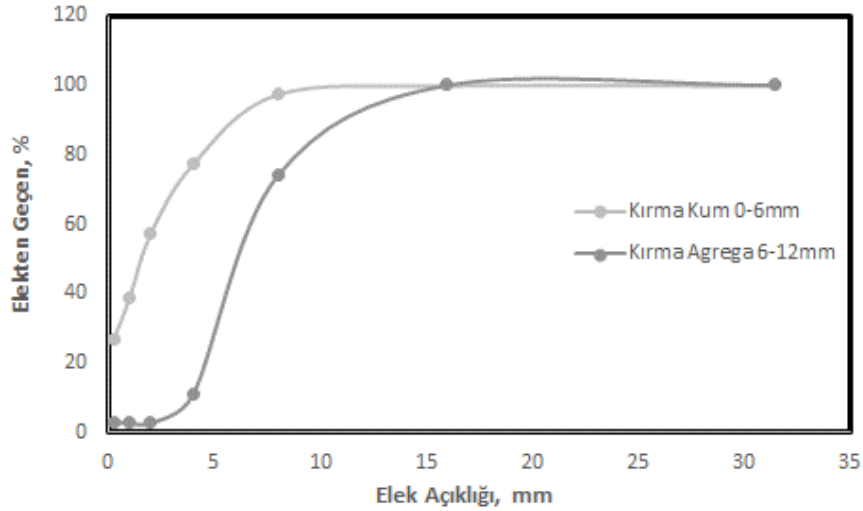
Deneyde kullanılan çimento, Afyon Çimento Sanayi Fabrikasının üretimi olan standart CEM I 42,5 R Portland çimentosu olup özgül ağırlığı 3.11'dir (TS EN 197-1, 2012). Kullanılan CEM I 42,5 R çimentosunun kimyasal özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Betonların üretiminde 0/6 mm ve 6/12 mm olmak üzere iki farklı agrega boyutu kullanılmıştır. Beton karışımında Afyonkarahisar şebeke suyu kullanılmıştır.

Tablo 1. Kullanılan CEM I 42,5 R çimentosunun kimyasal içeriği

Kimyasal Analiz	Analiz Sonuçları (%)
SiO ₂	20,62
Al ₂ O ₃	5,65
Fe ₂ O ₃	4,05
CaO	62,08
MgO	2,55
SO ₃	2,57
Kızdırma Kaybı	1,55

2.2. Betonların Hazırlanması

Deneyde kullanılacak olan betonların hazırlanmasında kullanılacak agreganın granülometrisi yapılan elek analizi sonrasında elde edilmiş ve Şekil 1’de verilmiştir. Granülometri eğrisi esas alınarak 0/6 mm ve 6/12 mm miktarları %50’şer oranında alınarak harmanlanmıştır.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan agregaların granülometri eğrisi

Tüm karışımlarda bağlayıcı olarak 300 kg/m³ çimento kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan betonlar 0,6 su/çimento oranına sahip tek bir karışım dizaynı olarak üretilmiştir (Tablo 2). Karışımların işlenebilirlik ölçütü olarak hazır beton için genel kullanıma uygun olan 20 cm çökme değeri hedeflenmiştir.

Tablo 2. Üretilen betonların birim hacimdeki bileşen miktarları

Bileşenler	Miktar (kg/m ³)
Çimento	300
Kırma Kum (0-6mm)	895
Kırma Agregası (6-12mm)	908
Su	180
Katkı	12

Malzemeler mikser kullanılarak karıştırılmış ve üretilen taze betonlarda çökme testi yapılmıştır. Çökme testinden sonra betonlar 3 adet 100x100x100 mm ve 6 adet 150x150x150 mm boyutlarında olacak şekilde üretilmiştir. Vibrasyon makinesinde betonların kalıplara yerleştirilmesi sağlanmıştır ve 1 gün laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Bir gün sonra numuneler kalıplarından çıkartılıp kür işlemini gerçekleştirmek için içerisinde 20±2 °C sıcaklıkta su bulunan havuzda 28 gün boyunca standart kür işlemine tabi tutulmuşlardır.

2.3. Basınç Deneyi

Kür zamanlarını (28 gün) tamamlayan numuneler üzerinde deneyler uygulanmaya başlanmıştır. Basınç dayanımı testi TS EN 12390-3 (2019) standardına uygun şekilde 200 ton kapasiteye sahip otomatik basınç presinde gerçekleştirilmiştir. Bu deney için 150x150x150 mm boyutlarındaki küp numuneler kullanılmıştır. Basınç deneyinde elde edilen kırılma yükü numunenin yüzey alanına bölünerek MPa cinsinden basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Betonlara karbonatlaşma deneyi öncesi ve sonrasında basınç deneyi uygulanmıştır.

2.4. Yüzey Sertliği (Schmidt) Deneyi

Schmidt çekici ile beton yüzey sertliği ölçümleri TS EN 13791 (2019) standardına uygun bir şekilde yapılmıştır. Deneyde L tipi Schmidt çekici kullanılmıştır (Şekil 2). Deney 28 günlük kür sürelerini tamamlamış 150x150x150 mm küp numuneler üzerinde beton basınç presinde 7 MPa sabit yük altında yapılmıştır. Numuneler üzerinde en az 20 mm mesafeyle 12 vuruş yapılmıştır, daha sonra en yüksek ve en düşük olan değerler çıkartılarak geri kalan 10 değer aritmetik ortalaması alınmıştır ve buna bağlı olarak yüzey sertliği değerleri elde edilmiştir. Yüzey sertliği deneyi karbonatlaşma öncesi ve sonrası numunelerde uygulanmıştır.



Şekil 2. Schmidt çekici deneyi uygulaması

2.5. Karbonatlaşma Deneyi

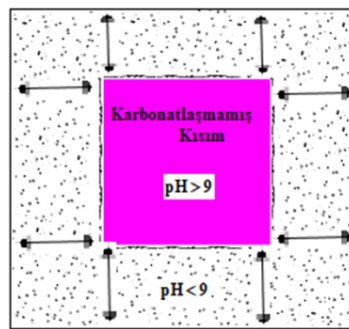
Kür işlemi tamamlanan beton numuneler üzerinde Şekil 3'de gösterildiği gibi karbonatlaşma için geliştirilmiş sızdırmaz kap içerisinde hızlandırılmış karbonatlaşma testi gerçekleştirilmiştir. Hızlandırılmış karbonatlaşma deneyi ISO 1920-12 (2015) standardına uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Karbonatlaşma testi sırasında sabit bağıl nem değeri %55 olarak dikkate alınmıştır. Kapalı kap içerisindeki nem değerinin %55 oranında kalabilmesi için doymuş halde sodyum di-kromat çözeltisi hazırlanmış ve karbonatlaşma kabının tabanına yerleştirilmiştir. Karbonatlaşma deneyine tabi tutulacak beton numuneleri test kabının içine yerleştirilerek kabın kapağı sızdırmaz bir şekilde sıkıca kapatılmıştır. Karbonatlaşma kabı içindeki CO₂ miktarı %1 olarak ayarlanmıştır. CO₂ tüpü üzerindeki ve eş zamanlı olarak karbonatlaşma kabı üzerindeki basınç göstergesinden okuma yapılarak CO₂ gazı

kontrollü bir şekilde verilmiştir. Karbonatlaşma düzeneğinde bulunan tek yönlü valf aracılığı ile CO₂ dolu tüpten tankın içerisine basınç 0,4 bar olana kadar CO₂ verilmiştir. Düzenekteki CO₂ miktarı kap dışarısında bulunan barometre ile ölçülmektedir. Deneyde, numuneler 1, 5 ve 10 günlük periyotlarda 0,4 bar CO₂'e maruz bırakılmıştır.



Şekil 3. Hızlı karbonatlaşma test düzeneği

Boyutu 100 mm olan küplerin her bir test gününde, betonlardaki karbonatlaşma derinliğinin belirlenebilmesi amacıyla numuneler yarma deneyine tabi tutulmuşlardır. Betonların iç yüzeylerine RILEM CPC18 (1988) tarafından önerilen fenolftalein püskürtülmesi yöntemiyle karbonatlaşma derinlikleri belirlenmiştir (Şekil 4). Fenolftalein çözeltisi toz ve parçacıklardan arındırılmış beton yüzeyine püskürtülür. Fenolftalein, pH 9 değerinin üstüne çıktığında, yani beton alkali olduğunda pembe renge dönüşen bir asit göstergesidir. Renklenme olmazsa, karbonatlaşma meydana gelir ve karbonatlı yüzey tabakasının derinliği ölçülebilir. Karbonatlaşma derinliği olarak verilen değerler, yarılmış beton küpün yüzeyinde alınan sekiz ölçümün ortalama değeridir.



Şekil 4. Betonun kırılan yüzeyinde karbonatlaşma derinliğinin belirlenmesi

2.6. Betonda karbonatlaşmayan bölgelerin RGB değerleri ile pH analizi

Hazırlanan betonlar karbonatlaşma testine tabi tutulduktan sonra yarma yapılarak düzgün yüzeyler elde edilmiştir. Daha sonra kırılan yüzeyler temizlenmiş ve fenol çözeltisi püskürtülmüştür. Renk değiştiren bölgeler fotoğflanarak görüntü işleme yöntemi ile RGB (kırmızı, yeşil, mavi) renk analizi yapılmıştır.

Bu kısımda hazırlanmış olan çalıştırılabilir komut dosyası ile analiz etmek istediğimiz beton numunelerin fotoğrafları görüntü işleme yöntemlerini kullanarak istenilen alanın pH değeri hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada aşağıdaki teknoloji ve kütüphaneler kullanılarak uygulama yapılmaktadır.

- Python Programlama Dili
- OpenCV Kütüphanesi
- Numpy Kütüphanesi

Komut dosyasında kullanılan fonksiyonlar ve komutlar aşağıda açıklanmıştır.

```
img = cv2.imread('fotograf.jpg')
cv2.imshow('Fotoğraf', img)
```

Bu komutlar ile istenilen fotoğraf yüklenir ve fotoğraf gösterilir. Böylece kullanıcının numuneden bir alan seçmesi için ortam hazırlanmış olur. Daha sonra "mouse_callback" fonksiyonu ile mouse hareketleri takip edilir ve seçilen alanlar için pH değeri hesaplanır.

Fonksiyonun bu kısmında fotoğrafın pH değerinin hesaplanması istenilen alan seçilir.

Bu kısımda ise seçili alanın Red, Blue ve Green piksel değerleri ayıklanarak ortalama değerleri hesaplanır.

Bu "if-else" bloğunda ise daha önceden referans alınan fenolftalein pH cetvelinin renklerinin RGB değerlerini hesaplayarak, pH değerleri ile eşleştirme yapılmaktadır. Böylece seçilen alan gösterilmekte ve alanın pH değeri hangi aralıkta ise o aralığa ait pH değeri konsola çıktı olarak ortalama RGB değerleri ile birlikte yazdırılmaktadır.

```
b, g, r = cv2.split(roi)
print('Red ortalama: ', r.mean())
print('Green ortalama: ', g.mean())
print('Blue ortalama: ', b.mean())
```

```
if event == cv2.EVENT_LBUTTONDOWN:
    drawing = True
    rect = [x, y, 0, 0]
elif event == cv2.EVENT_MOUSEMOVE:
    if drawing == True:
        rect[2] = x - rect[0]
        rect[3] = y - rect[1]
elif event == cv2.EVENT_LBUTTONUP:
    drawing = False
    if rect[2] < 0:
        rect[0] += rect[2]
        rect[2] = abs(rect[2])
    if rect[3] < 0:
        rect[1] += rect[3]
        rect[3] = abs(rect[3])
    # Bölgeyi seç
    roi = img[rect[1]:rect[1]+rect[3], rect[0]:rect[0]+rect[2]]
```


Komut dosyasının tamamı aşağıdaki verilmektedir. Verilmiş olan bu komut dosyası farklı görüntü işleme yöntemleri ve hesaplamalar ile geliştirilmeye açıktır. Böylece doğruluk oranı daha yüksek sonuçlar elde edilebilir.

```
import cv2

# Fotoğrafı yükle
img = cv2.imread('fotograf.jpg')
# Fotoğrafı göster
cv2.imshow('Fotoğraf', img)
# Bölgeyi seçmek için fare olayları işleyicisi oluştur
rect = None
drawing = False

def mouse_callback(event, x, y, flags, params):
    global rect, drawing
    if event == cv2.EVENT_LBUTTONDOWN:
        drawing = True
        rect = [x, y, 0, 0]
    elif event == cv2.EVENT_MOUSEMOVE:
        if drawing == True:
            rect[2] = x - rect[0]
            rect[3] = y - rect[1]
    elif event == cv2.EVENT_LBUTTONUP:
        drawing = False
        if rect[2] < 0:
            rect[0] += rect[2]
            rect[2] = abs(rect[2])
        if rect[3] < 0:
            rect[1] += rect[3]
            rect[3] = abs(rect[3])

        # Bölgeyi seç
        roi = img[rect[1]:rect[1]+rect[3], rect[0]:rect[0]+rect[2]]
        # Her pikselin RGB değerlerini al
        b, g, r = cv2.split(roi)
        print('Red ortalama: ', r.mean())
        print('Green ortalama: ', g.mean())
        print('Blue ortalama: ', b.mean())

        if r.mean() <= 166 and g.mean() <= 30 and b.mean() <= 77:
            print("pH = 12")
        elif r.mean() <= 194 and g.mean() <= 40 and b.mean() <= 92:
            print("pH = 11,5")
        elif r.mean() <= 214 and g.mean() <= 51 and b.mean() <= 108:
            print("pH = 11")
        elif r.mean() <= 230 and g.mean() <= 73 and b.mean() <= 128:
            print("pH = 10,5")
        elif r.mean() <= 240 and g.mean() <= 101 and b.mean() <= 149:
            print("pH = 10")
        elif r.mean() <= 247 and g.mean() <= 131 and b.mean() <= 172:
            print("pH = 9,5")
        elif r.mean() <= 250 and g.mean() <= 162 and b.mean() <= 193:
            print("pH = 9")
        else:
            print("Beton Karbonatlaşmıştır")

        # Seçilen bölgeyi göster
        cv2.imshow('Seçili Bölge', roi)

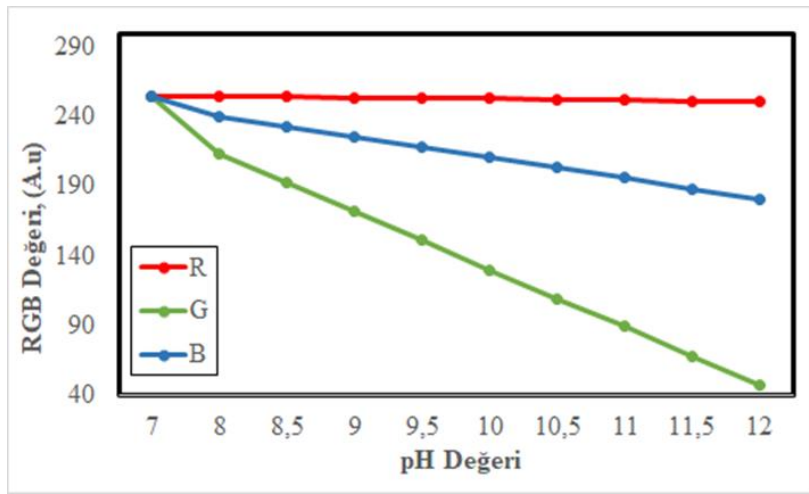
# Fare olayları işleyicisini bağla
cv2.namedWindow('Fotoğraf')
cv2.setMouseCallback('Fotoğraf', mouse_callback)

# Ekranda gösterilen pencereyi kapatmak için bekleyin
cv2.waitKey(0)
cv2.destroyAllWindows()
```

Bu kısımda özetle görüntü işleme yöntemi ile pH analizi için fenol çözeltisinin Tablo 3’de verilen renk tonlarının RGB değerlerini (Şekil 5) referans olarak beton yüzeylerindeki renkler üzerinden aldığı RGB değerleri ile kıyaslamaktadır. Analiz sonucunda betonların yüzey renkleri ile fenol çözelti rengini kodlar eşleştirmiş ve pH aralıkları belirlenmiştir.

Tablo 3. Fenol çözeltisinin rengine bağlı olarak pH seviyesinin değişimi (Martins ve ark., 2018)

pH	7	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12
Phenolphthalein										



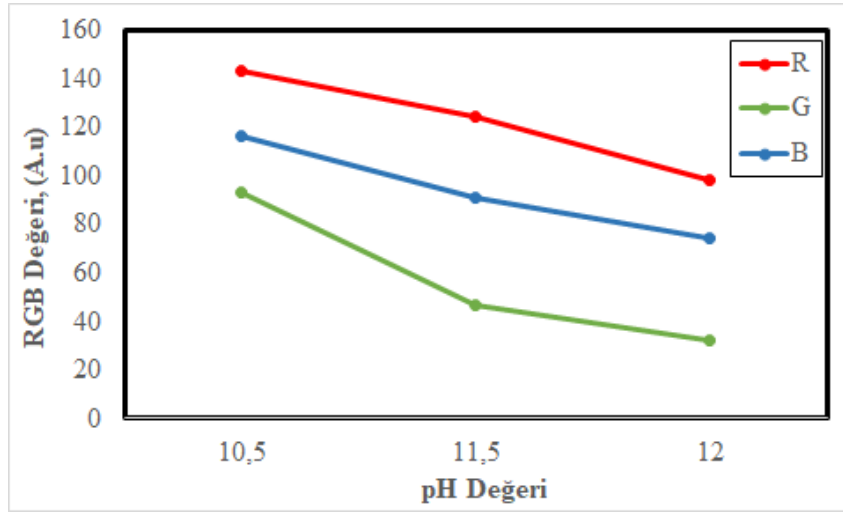
Şekil 5. Fenol çözeltisinin farklı pH aralıklarındaki renk değişimine göre RGB değerleri

3. Bulgular ve Tartışma

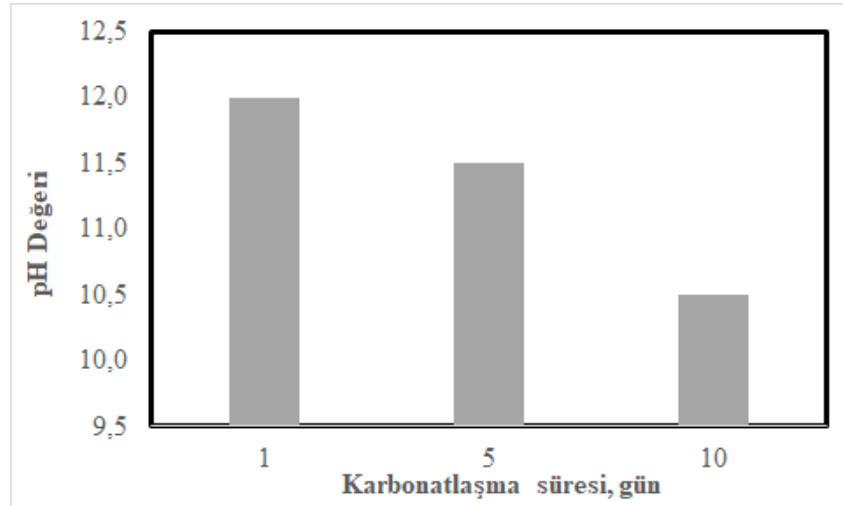
Üretilen betonların hızlandırılmış karbonatlaşmaya maruz bırakılmaları sonrasında beton numuneler yarılarak iç kısımlarına püskürtülen fenol çözeltisi ile CO₂ bulunan bölgeler reaksiyona girmiş ve pembe renk haline dönüşmüştür. Bu testte, beton yüzeyine fenolftalein solüsyonu uygulanır. Fenolftalein, karbonatlaşmamış betonda alkali ortamda renksizken, karbonatlaşmış bölgelerde pembe-mor renk değişikliği gösterir. Bu sayede, beton yüzeyine uygulanan fenolftalein reaktifinin renk değişikliği ile karbonatlaşma derinliği tespit edilebilmektedir (Anstice ve ark., 2005). Karbonatlaşma tankında 1, 5 ve 10 günlük zamanlarda bekletilen beton numunelerde oluşan renk değişimi sırası ile koyudan açık renge doğru olduğu gözlemlenmiştir. Karbonatlaşma sonucu oluşan kalsiyum karbonat iyonları pH'ı azaltır (Lin, 2007). Fenol çözeltisi püskürtüldüğünde pH'ın düşük olduğu alanlarda açık pembe renk tonları gözlemlenmiştir.

Beton yüzeylerden alınan fotoğraflar görüntü işleme yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda elde edilen RGB değerleri Şekil 6’da verilmiştir. Fenol çözeltisinin verdiği renk tonuna göre 1, 5 ve 10 gün karbonatlaşma tankında bekletilen numunelerin karbonatlaşmamış yüzey pH değeri görüntü işleme yöntemi kullanılarak sırası ile 12, 11,5 ve 10,5 olarak tespit edilmiştir (Şekil 7, Şekil 8).

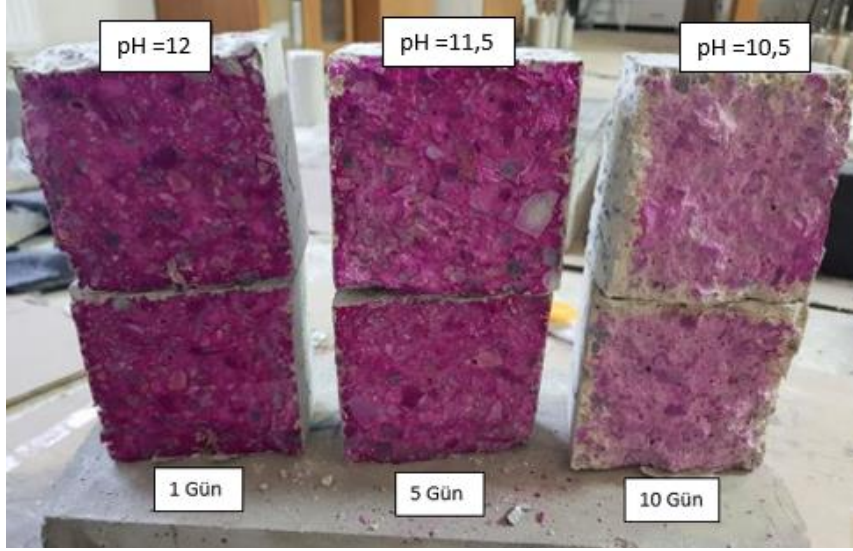
Ayrıca beton yüzeylerindeki fenol çözeltisinin renk tonlarının farklı olduğu da Şekil 7’de açıkça görülmektedir. Bu renk tonlarının farklı olması pH’ın da değiştiğinin göstergesidir (Lin, 2007). Karbonatlaşmaya maruz kalma süresi arttıkça CO₂’in beton içerisine daha fazla nüfuz edeceğinden dolayı hem yüzeye yakın bölgelerdeki serbest kireci bağlayarak karbonatlaşma derinliğinin artmasına neden olmuş hem de daha iç bölgelerin de pH değerinin azalmasına neden olduğu görülmektedir. Havadaki CO₂ gazının beton içerisine nüfuz etmesi ve beton içinde bulunan serbest CaO veya Ca(OH)₂ ile reaksiyona girerek CaCO₃ formuna dönüşmesi sonucunda ortamın pH değerini azaltmaya başlamıştır (Neville, 1995; Ogha ve Nagataki, 1989). Beton içerisinde donatı bulunması durumunda donatı etrafına da fenol çözeltisi püskürtülerek, betonun donatı çevresindeki pH seviyesi hızlı ve güvenilir bir şekilde belirlenebilecek ve böylece korozyon risk değerlendirilmesi de yapılabilecektir.



Şekil 6. Beton numunelerin yüzeyinden alınan RGB değerlerine göre pH analizi

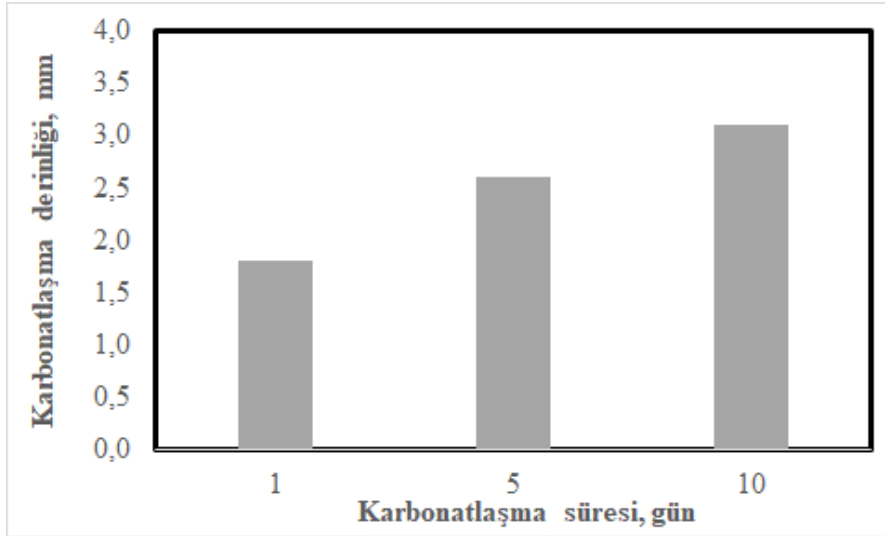


Şekil 7. Karbonatlaşma süresine bağlı olarak belirlenen pH değerleri



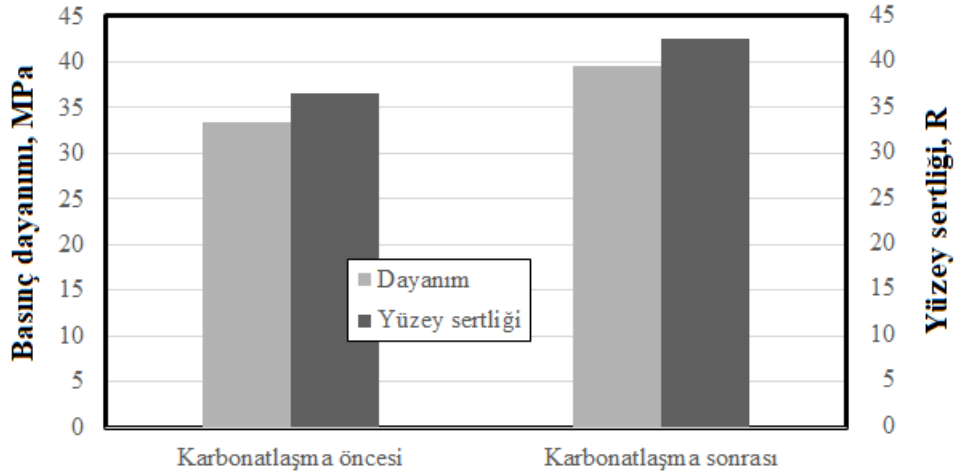
Şekil 8. Beton numunelerde karbonatlaşma olmayan bölgelerdeki pH değerleri

Hızlandırılmış karbonatlaşma deneyi sonrası üretilen betonların içerisinde oluşan karbonatlaşma derinliği ortalama olarak ölçüldüğünde, 1 gün sonunda 1.9 mm iken 5 gün ve 10 gün sonunda artarak devam etmiş ve sırasıyla 2.6 ve 3.1 mm derinliğe kadar ilerlemiştir (Şekil 9).



Şekil 9. Zamana bağlı karbonatlaşma derinliği

Betonlardaki karbonatlaşma betonun mekanik özelliklerini etkilemektedir (Chang ve Chen 2006). Betonlardaki karbonatlaşma etkisiyle birlikte kirecin karbonatlaşarak beton yüzey boşluklarını doldurması sonucunda betonların basınç dayanımında artış görülmüştür. Beton numunelerde karbonatlaşma sonrası basınç dayanımında %18 oranında artış gözlemlenmiştir (Şekil 10). Karbonatlaşmayla beton dayanımında artış olduğu Lin (2007) tarafından da deneysel olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 10. Betonların karbonatlaşma öncesi ve sonrası basınç dayanımlar

Karbonatlaşma öncesi ve sonrası basınç dayanımları değişimleri bakımından incelendiğinde, az da olsa bazı serilerin karbonatlaşma sonrası dayanımlarının arttığı görülmektedir. Betonda karbonatlaşma reaksiyonunun ürünü olan CaCO_3 'ün ortaya çıkmasıyla karbonatlaşan kısımlarda yoğunluk artışı gerçekleşmiş ve yüzeydeki bu yoğunluk artışı dayanımda az da olsa artış ile kendini hissettirmiştir. Betonda karbonatlaşma ile gözeneklerin kapanması ve dayanımın bir miktar artması olumlu bir durumdur. Ancak bu durum betonda inşaat demiri bulunması durumunda bir dezavantaj haline dönüşmektedir. Çünkü betondaki karbonatlaşma sonucunda donatı etrafındaki pasivasyon tabakası ortadan kalkarak inşaat demirinin korozyon sürecinin başlamasına neden olmaktadır (Chang ve ark., 2004). Betonun karbonatlaşmasıyla gözeneklerin dolması sonucunda yüzey sertliği de artmaktadır. Betonlarda karbonatlaşma öncesi ve sonrasında Schmidt çekiciyle belirlenen yüzey sertlik değerlerinde, karbonatlaşma sonrasında %16 oranında bir artış görülmüştür. Bu artış basınç dayanımının da artmasında etkili olmuştur. Bu durum literatür ile de uyumludur. Çünkü Erdoğan (2003), karbonatlaşma olayı sonucunda serbest kalan suyun, çimentonun hidrasyonuna yardımcı olarak dayanımda bir miktar artış meydana getirebileceğini belirtmiştir. Bu artış özellikle mevcut yapıların yüzey sertliği ile tahmini sırasında daha yüksek sonuçlar alınmasına neden olmaktadır. Literatüre bakıldığı zaman Gülan (2015) hazırladığı tez çalışmasında karbonatlaşmadan kaynaklı betonların yüzey sertliklerinde artış gözlemlemiştir. Kim ve ark. (2009) betonda karbonatlaşma nedeni ile görülen yüzey sertliği artışının mevcut yapıların değerlendirilmesinde hatalara neden olmaması için bu tip değerlendirmelerde kullanılmak üzere yeni bir bağıntı önermiştir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, betonda karbonatlaşma derinliği yanı sıra karbonatlaşma olmayan bölgelerin fenol çözeltisi rengine bağlı olarak pH değerinin değişimini görüntü işleme yöntemiyle ortaya konması amaçlanmış ve aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır.

- Betonlara karbonatlaşma tankında 1, 5 ve 10 gün CO₂ konsantrasyonu yüksek olan ortama maruz bırakılmıştır. Bu süreler sonunda karbonatlaşma derinlikleri giderek artmıştır.
- Literatürde verilen fenol çözeltisinin pH değerine bağlı farklı renk tonlarına ait RGB değerleri görüntü işleme yöntemi ile elde edilmiştir.
- Beton yüzeylerdeki fenol çözeltisinin renk tonları da görüntü işleme yöntemi ile analiz edilerek RGB değerleri bulunmuştur. Buna bağlı olarak beton iç yüzeyindeki pH değerleri belirlenmiştir.
- Beton iç yüzeyinden elde edilen fenol çözeltisi RGB değerlerine göre CO₂'e maruz kalma süresi arttıkça betonun pH değeri azalmıştır.
- Beton numunelerde karbonatlaşma sonrası basınç değerleri %18 oranında artarken, yüzey sertlik değerleri de %16 oranında artmıştır.

Sonuç olarak, görüntü işleme yöntemi kullanılarak betonda karbonatlaşma derinliği yanı sıra pH göstergesi olan fenol çözeltisinin renk tonundan yola çıkılarak betonun iç bölgelerindeki pH değerleri de herhangi bir ön işlem gerektirmeden (kırma-öğütme, çözelti hazırlama vb.) sertleşmiş haldeyken belirlenebilmektedir. Özellikle inşaat demiri içeren betonlarda karbonatlaşma yanı sıra donatı çevresindeki pH değerinin fenol çözelti renk tonuna göre belirlenmesiyle korozyon riski de ortaya konulabilecektir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan ederler.

Kaynakça

- Anstice DJ., Page CL., Page MM. The pore solution phase of carbonated cement paste. Cement and Concrete Research 2005; 35: 377-383.
- Chang CF., Chen JW. The experimental investigation of concrete carbonation depth. Cement and Concrete Research 2006; 36(9): 1760-1767.
- Chang JJ., Yeih W., Huang R., Chen CT. Stability of several current used concrete durability indices on evaluating the corrosion hazard for carbonated concrete. Materials Chemistry and Physics 2004; 84: 71-78.

- Choi J., Lee Y., Kim YY., Lee BY. Image-processing technique to detect carbonation regions of concrete sprayed with a phenolphthalein solution. *Construction and Building Materials* 2017; 154: 451-461.
- Demir Şahin D., Çullu M., Eker H. Betonların aşındırma ve karbonatlaşma performanslarına kireçsi uçucu küllerin farklı incelik ve ikame oranlarının etkisi. *European Journal of Science and Technology* 2019; 17: 1150-1163.
- Erdoğan TY., Beton. ODTÜ Yayıncılık, 135s, 2003 Ankara.
- Giulietti N., Chiariotti P., Cosoli G., Mobili A., Pandarese G., Tittarelli F., Revel GM. Automated measurement system for detecting carbonation depth: Image-processing based technique applied to concrete sprayed with phenolphthalein. *Measurement* 2021; 175: 1-8.
- Gülan L. Atık mermer tozu ve cam elyaf katkısının betondaki karbonatlaşmaya etkisi (Yüksek Lisans Tezi). 2015 Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- ISO 1920-12. Testing of concrete, Part 12: Determination of the carbonation resistance of concrete, International Standard, 2015 Switzerland.
- Kim JK., Kim CY., Yi ST., Lee Y. Effect of carbonation on the rebound number and compressive strength of concrete. *Cement and Concrete Composites* 2009; 31(2): 139-144.
- Li L., Wu M. An overview of utilizing CO₂ for accelerated carbonation treatment in the concrete industry. *Journal of CO₂ Utilization* 2022; 60: 1-17.
- Lin X. Effect of early age carbonation on strength and PH of concrete. McGill University Department of Civil Engineering. Master Thesis 2007; 132 pages.
- Liu Z., Heede PV., Zhang C., Shi X., Wang L., Li J., Yao Y., Belie ND. Influence of sustained compressive load on the carbonation of concrete containing blast furnace slag. *Construction and Building Materials* 2022; 335: 1-12.
- Malami SI., Anwar FH., Abdulrahman S., Haruna SI., Ali SIA., Abba SI. Implementation of hybrid neuro-fuzzy and self-turning predictive model for the prediction of concrete carbonation depth: A soft computing technique. *Results in Engineering* 2021; 10: 1-14.
- Martins ROG., Alvarenga RCSSA., Pedroti LG., Oliveira AF., Mendes BC., Azevedo ARG. Assessment of the durability of grout submitted to accelerated carbonation test. *Construction and Building Materials* 2018; 159: 261–268.
- Mehta PK. *Concrete: Structure, properties, and materials*. Prentice-Hall, Englewood 1986; NJ.
- Mi R., Pan G., Liew KM. Predicting carbonation service life of reinforced concrete beams reflecting distribution of carbonation zones. *Construction and Building Materials* 2020; 255: 1-7.
- Neville AM., *Properties of Concrete*, 4th ed., Longman Group 1995; UK.
- Ogħa H., Nagataki S. Prediction of carbonation depth of concrete with fly ash. *Proceedings of the Third International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete*. Trodheim, Norway 1989; 114: 275-294.

- Paul SC., Panda B., Huang Y., Garg A., Peng X. An empirical model design for evaluation and estimation of carbonation depth in concrete, *Measurement* 2018; 124: 205-210.
- TS EN 12390-3. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini. Türk Standartları Enstitüsü. 2019; Ankara.
- TS EN 12504-2. Yapılarda beton deneyleri-Bölüm 2: Tahribatsız muayene - Geri sıçrama sayısının belirlenmesi. Türk Standartları Enstitüsü. 2021; Ankara.
- TS EN 13791. Standardı Kapsamında Beton Basınç Dayanımının Yerinde Tayini. Türk Standartları Enstitüsü. 2019; Ankara.
- TS EN 197-1. Cement- Stage1: General Cements – Component. Türk Standartları Enstitüsü. 2012; Ankara.
- Yazıcıoğlu S., Demirel B., Gönen T., Özer Ş. Farklı tip çimentoların betonun karbonatlaşmasına etkisi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi* 2012; 4(3): 112-120.
- You X., Hu X., He P., Liu J., Shi C. A review on the modelling of carbonation of hardened and fresh cement-based materials, *Cement and Concrete Composites* 2022; 125.

Nesnelerin İnterneti Sistemlerinde Blokzincir Kullanımı Üzerine Bir Uygulama

Mustafa SANLI^{1*}

¹Aselsan, Ankara

¹<https://orcid.org/0000-0003-4871-6932>

*Sorumlu yazar: msanli@aselsan.com.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 10.10.2023

Kabul tarihi: 17.01.2024

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Nesnelerin interneti

Blokzincir

Akıllı sözleşme

Bilişim sistemleri

Bulut bilişim

ÖZ

Blokzincir teknolojisinin Nesnelerin İnterneti (IoT) alanında kullanımı, çok sayıda kullanıcının ve cihazın birlikte yer aldığı sistemlerde güveni, güvenliği ve verimliliği artırmak için umut verici bir fikir olarak ortaya çıkmıştır. Bu çalışma, merkezi olmayan yapısı ve değiştirilemez kayıt tutma yeteneği sayesinde Blokzincirin veri bütünlüğü, kimlik doğrulama ve ölçeklenebilirlik de dahil olmak üzere IoT sistemlerinin karşılaştığı temel zorluklara nasıl çözüm sağladığını ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, Blokzincir teknolojisine ve IoT'nin temel ilkeleri incelenmekte ve bu teknolojilerin birlikte kullanılması ile ortaya çıkan başarılı uygulamalara yer verilmektedir. Bu uygulamalarda Blokzincirin IoT cihazları arasında güvenli ve şeffaf veri alışverişini nasıl kolaylaştırdığı, güvensiz ortamlarda bilgi bütünlüğünü nasıl sağladığı incelenmektedir. Çalışmada aynı zamanda IoT süreçlerinin otomatikleştirilmesinde, araçların azaltılmasında ve güvene dayalı işlemlerin gerçekleştirilmesinde akıllı sözleşmelerin rolü de incelenmektedir. Çalışma, var olan örnek olayları inceleyerek tedarik zincirleri, akıllı evler, sigortacılık ve enerji dağıtımı gibi IoT kullanım alanlarında Blokzincirin uygulamalarına örnekler vermektedir. Ayrıca, Blokzincirin IoT çözümlerinde kullanımına örnek bir sistem çözümü oluşturmak amacıyla, gıda ürünlerinin ve sağlık malzemelerinin taşınması sırasındaki ortam verisini toplayarak bir veritabanına kaydeden ve akıllı sözleşme üzerinde tanımlanan durumlar gerçekleştiğinde belirlenen olayları tetikleyen bir sistemin tasarımı yapılmıştır. Sistemin donanım ve yazılım bileşenleri tasarlanmış, Blokzincir üzerinde yer alan bir akıllı sözleşme ve bu akıllı sözleşmenin kullanıcı arayüzü geliştirilmiştir. Sunulan uygulama örnekleri ve tasarımı yapılan uçtan uca sistem çözümü, Blokzincirin güvenilir ve merkeziyetsiz IoT sistemleri için önemini vurgulamaktadır.

An Application on the Use of Blockchain in Internet of Things Systems

Research Article

Article History:

Received: 10.10.2023

Accepted: 17.01.2024

Published online: 11.03.2024

Keywords:

Internet of things

Blockchain

Smart contract

Information systems

Cloud computing

ABSTRACT

The use of Blockchain technology in the Internet of Things (IoT) field has emerged as a promising idea to increase trust, security and efficiency in systems where large numbers of users and devices co-exist. This study reveals how Blockchain, thanks to its decentralized structure and immutable record-keeping ability, provides solutions to key challenges faced by IoT systems, including data integrity, authentication, and scalability. In this study, the basic principles of Blockchain technology and IoT are examined and successful applications that arise from the combined use of these technologies are investigated. These applications examine how Blockchain facilitates secure and transparent data exchange between IoT

devices and how it ensures information integrity in insecure environments. The study also examines the role of smart contracts in automating IoT processes, reducing intermediaries and performing trust-based transactions. The study examines existing case studies and gives examples of Blockchain use cases in IoT application areas such as supply chains, smart homes, insurance and energy management. Additionally, in order to create an example system solution for the use of Blockchain in IoT solutions, a system was designed that collects environmental data during the transportation of food products and healthcare materials, saves it in a database, and triggers determined events when the situations defined on the smart contract occur. The hardware and software components of the system were designed. A smart contract on the Blockchain and the user interface of this smart contract were developed. The application examples and the designed end-to-end system solution emphasize the importance of Blockchain for reliable and decentralized IoT systems.

To Cite: Sanlı M. Nesnelerin İnterneti Sistemlerinde Blokzincir Kullanımı Üzerine Bir Uygulama. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(2): 818-833.

1. Giriş

Blokzincir, değişmezliği ve güvenilirliği konusunda tüm kullanıcıların görüş birliğinde olduğu, isteyen tüm kullanıcıların kendi kopyasını saklayabildiği bir kayıt defteri tutma ihtiyacı üzerine ortaya çıkmıştır. Blokzincirin bir uygulaması olan dijital para fikri Bitcoin ile birlikte ortaya atılmıştır (Nakamoto, 2008). Sonrasında Bitcoin'in temelindeki teknoloji olan Blokzincir, veriye güven duyulması ve değişmezliğinin temin edilmesi gereken pek çok farklı alanda kendine uygulama alanı bulmuştur (Swan, 2015; Zyskind ve ark., 2015; Peters ve Panavi, 2016; Rosby ve ark., 2016, Sharples ve Domingue, 2016). Veri, Blokzincir teknolojisinde boyutu önceden tanımlanmış bloklar hâlinde saklanmaktadır. Kriptografik teknikler kullanılarak bu blokların içine yazılan bilginin yazıldıktan sonra değiştirilemez olması garanti edilmektedir. Her bir veri girişi, veriyi oluşturan kaynak tarafından dijital olarak imzalanarak Blokzincir ağında yayınlanmaktadır. Blokzincir ağındaki çok sayıdaki kullanıcı tarafından doğruluğu kontrol edilen bu kayıtlar bir araya getirilerek bloklar oluşturulmaktadır. Hash olarak adlandırılan kriptografik fonksiyonlar kullanılarak blokların kısa özeti oluşturulmakta ve her bloğun özeti bir sonraki blok içerisine yazılarak uçtan uca değiştirilemez bir zincir elde edilmektedir. Veri miktarı arttıkça yeni bloklar oluşturulmakta ve önceki bloklara bir zincir yapısına benzer şekilde eklenmektedir. Bu veri zincirinin bir kopyası, Blokzincir ağına dahil olan tüm kullanıcıların bilgisayarlarında saklanmaktadır. Bu sebeple, veri yönetiminde tek merkezli bir yapı yerine dağıtık yani pek çok noktada kopyası tutulan bir yapı kullanılmış olmaktadır. Tüm kullanıcıların bir kopyasını sakladığı zincirdeki blokların sırasının ve içeriğinin değiştirilemez olması Blokzincir teknolojisinde kullanılan kriptografik metotların garantisini altındadır.

Sağladığı güven, değiştirilemezlik ve dağıtık yönetim imkânlarıyla Blokzincir günümüzde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Dijital paralar, para transferleri ve ödemeler, telif haklarının takibi, değerli belgelerin saklanması, borsalar ve sigortacılık Blokzincirin günümüzde kullanıldığı çok sayıda alandan yalnızca birkaç tanesidir (Kaushik ve ark., 2017; Abbas ve Sung-Bong, 2018; Gao ve ark., 2018; Tasatanattakool ve Techapanupreeda, 2018; Deloitte, 2020).

Nesnelerin İnterneti (Internet of Things, IoT), çok sayıda nesnenin İnternet aracılığıyla birbiriyle ve insanlarla devamlı iletişimde olması ile ortaya çıkan teknolojidir. Her bir nesnenin bünyesinde algılayıcılar, eyleyiciler, elektronik kontrol donanımı ve İnternete bağlanmayı sağlayan ağ donanımı bulunmaktadır. Nesnelere toplanan veri, işlenerek ve analitik yöntemlerle anlamlandırılarak uygulama amaçları doğrultusunda kullanılmaktadır. Bu amaç bazen uygulama alanının izlenmesi gibi temel işlemlere hizmet etmektedir. Bazen de veri içindeki istatistiksel kalıpların belirlenerek ileriye dönük önermeler yapan akıllı sistemler veya oluşabilecek arızaları önceden haber veren derin öğrenme uygulamaları şeklinde karşımıza çıkabilmektedir.

IoT, ilk defa Kevin Ashton'un 1999'da bir sunumunda gündeme gelmiştir. O zamanların sadece merkezi veya kişisel bilgisayarların İnternete bağlandığı dünyasında milyonlarca nesnenin İnternete bağlı olması uzak bir hedef olsa da, günümüzde artık milyarlarca nesne İnternet üzerinden bağlantılıdır ve bu sayı hızla artmaktadır (IoT Analytics, 2023).

Daha çok başlarda, 2008 yılında İnternete bağlı nesne sayısı dünya üzerindeki insan sayısını geçmiştir (IoT Statistics, 2023). Kullanım alanlarının yaygınlaşmasıyla, İnternete bağlanan nesnelere insanları, süreçleri ve veriyi dahil eden Her Şeyin İnterneti (Internet of Everything, IoE) kavramı da kullanılmaya başlanmıştır (IoE, 2023). Artan nesne sayısına bağlı olarak günümüzde IoT dünyasında yaşanan başlıca sorunlar veri güvenliğinin sağlanması ve çok sayıda nesnenin ölçeklenebilir şekilde yönetilmesidir.

IoT dünyasında yaşanan güven sorununun çözümünde Blokzincir, verinin şeffaf ve değiştirilemez şekilde saklandığı bir ortam sunmaktadır. Veri Blokzincirde sisteme ilk girdiği noktaya kadar takip edilebilmekte, tüm işlem kayıtlarının kopyaları pek çok ayrı noktada ve herkesin teyit edebileceği şeffaflıkta saklanmaktadır. Kullanılan kriptografik algoritmalar IoT'de nesnelerin kimliklerinin yönetimi ve nesnelere toplanan verinin bütünlüğünün sağlanması konusundaki güvenlik sorunlarını çözmek için kullanılmaktadır. Tüm bunların yanında, Blokzincirde verinin tek bir merkezden yönetilmemesi, verinin kopyasının pek çok farklı yerde saklanması sebebiyle binlerce cihazın yer aldığı IoT uygulamalarında ölçeklenme problemlerine çözüm sağlanmaktadır. Çok sayıda IoT cihazının dağıtık bir yapıda koordinasyonu, ağın tek bir noktasında yaşanan problemlerin ağın tümünün çalışmasını etkilememesi gibi olanaklar sağlamaktadır. Blokzincir, IoT'nin pek çok sorununa çözüm sunmaktadır.

Ancak, Blokzincir ile IoT teknolojilerinin entegrasyonunda çözülmesi gereken önemli teknolojik ve ekonomik sorunlar bulunmaktadır. Bunların en önemlileri arasında IoT sistemlerinde yer alan yüksek miktardaki gerçek zamanlı verinin Blokzincir üzerinde saklanması ve yönetilmesi yer almaktadır. Merkeziyetsiz yapısı sebebiyle Blokzincir, veritabanlarına göre oldukça yavaş veri işleyebilmektedir. Blokzincire veri kaydetmek için gerekli olan işlem ücretleri de yüksek miktarda verinin etkin şekilde yönetilmesine ekonomik bir engel oluşturmaktadır.

Çalışmamız kapsamında IoT ile Blokzincir teknolojilerinin birlikte kullanımına örnek olarak veribanını Blokzincir ile birlikte kullanan bir uygulama geliştirilmiştir. Çalışmamızın literatüre katkısı kapsamında geliştirilen bu örnek uygulama ve sunulan metod yer almaktadır.

2. Nesnelerin İnterneti Alanında Blokzincir Uygulamaları

Blokzincir ve IoT teknolojilerinin birlikte kullanılmasıyla ortaya çıkan çözümler, çok farklı sektörlerde uygulama alanı bulmaktadır. Çalışmamızın bu bölümünde önce var olan uygulama alanları özetlenmekte, arkasından örnek bir uygulamanın donanım ve yazılım bileşenleri ile gerçekleştirilmesi yapılmaktadır.

2.1. Lojistik ve Tedarik Zinciri

Lojistik ve tedarik zinciri endüstrisi, ürünlerin nakliyesini ve depolanmasını sağlayarak diğer endüstrilerin iş modellerini gerçekleştirmesine olanak tanımaktadır. Bu sektörün barındırdığı kendine özgü zorluklar arasında yüksek miktarda dokümantasyon gereksinimi, nakliye takibinin kontrolü ve ödemelerde yaşanan gecikmelerin yönetimi yer almaktadır. Bu zorlukların büyük bölümünü IoT ve Blokzincir teknolojilerini kullanarak çözmek mümkündür. Nakliye sırasında konteynerin sıcaklık, konum ve durum bilgileri, geliş ve sevk tarihleri değiştirilemez şekilde Blokzincir üzerinde saklanabilmektedir. Bu sistemi kullanıcıların her zaman erişebileceği ve güvenebileceği bir platform sunmaktadır.

Örnek olarak, Ambrosus, gıda ve ilaç sektöründe tedarik zinciri için hizmet sunan Blokzincir tabanlı IoT ağıdır (Ambrosus, 2023). Sistem, algılayıcılar, dağıtık kayıt defterleri ve veri tabanları arasında güvenli ve sorunsuz şekilde iletişimi sağlayarak lojistik süreçlerinin takip edilebilir bir şekilde yürütülmesine olanak vermektedir. WaltonChain (WaltonChain, 2023) ve OriginTrail (OriginTrail, 2023) çalışmaları tedarik zincirlerinde veri akışının sağlanması için güvenli alt yapıyı Blokzincir teknolojisi ile oluşturan diğer örneklerdir. DHL, Maersk ve IBM gibi firmaların uyguladığı çözümler de Blokzincir ve IoT teknolojilerinin birlikte kullanımına başarılı örnekler oluşturmaktadır (Hvolby ve ark., 2021). Mediledger, ilaç ve tıbbi malzemenin dağıtımında yer alan lojistik süreçlerinde üretici, bayi ve kullanıcı arasındaki ilişkileri IoT ve Blokzincir teknolojilerini entegre ederek düzenlemektedir (Mediledger, 2023). Blokzincirin lojistik zincirlerindeki takip süreçlerinde IoT ile birlikte kullanılması ile ortaya çıkan kazanımlar da çeşitli çalışmalarda değerlendirilmiştir (Kim ve Laskowski, 2018; Kshetri 2018).

2.2. Akıllı Evler

İnternet üzerinden haberleşen akıllı eşyalar ve evler konusunda yeni ürünlerin hızla ortaya çıktığı görülmektedir (AlHammadi ve ark., 2019). Tüm bu akıllı nesnelerin topladığı verinin veri tabanları yerine Blokzincir üzerinde saklanması mümkündür. Saklama ortamı olarak Blokzincirin kullanılması verinin güvenliği ve değiştirilemez olması garanti edilmektedir. Blokzincir teknolojisinin olanaklarıyla, veri sahibinin kimliği ortaya çıkmadan, verinin enerji tasarrufu gibi amaçlarla üçüncü parti taraflarca kullanılması mümkündür. Örneğin Walmart'ın akıllı evlerde Blokzincir kullanımı hakkında yayınladığı bir patent bulunmaktadır (Jones, 2018). Başka bir örnekte IoTeX ve NKN gibi platformlar akıllı ev cihazlarının yönetiminde Blokzincir tabanlı dağıtık ağları kullanmaktadır (IoTeX, 2018). Akıllı evlerde

yer alan cihaz ve algılayıcılar arasındaki veri paylaşımının Blokzincir teknolojisi yardımıyla daha güvenli şekilde sağlanabileceği ortaya konmuştur (Gaikwad ve ark., 2022). Avustralyalı teknoloji şirketi Telstra, IoT tabanlı akıllı ev çözümlerinde kullanıcıların biyometrik verilerini Blokzincir teknolojisi ile güven altına almaktadır (Telstra, 2023). Akıllı evlerde kullanılan IoT cihazlarının siber saldırılara karşı güvenliğinin sağlanmasında da Blokzincir teknolojisi önemli fırsatlar içermektedir (Moon ve ark., 2022). Ayrıca kullanıcı ve cihazların erişim kontrolünün sağlanmasında da bir güvenlik katmanı olarak Blokzincir teknolojisi kullanılmaktadır (Shakarami ve ark., 2022).

2.3. Otomotiv

Otomotiv endüstrisi IoT'den büyük ölçüde faydalanmaktadır (Bajaj ve ark., 2018). Blokzincirin yaygınlaşmasıyla otomotiv üretiminde IoT ve Blokzincir teknolojilerinin birlikte kullanılarak yeni imkânlarla ulaşıldığı görülmektedir. IoT ve Blokzincir teknolojileri birlikte kullanılarak araçların ve araç bileşenlerinin tedarik zinciri içerisinde takibi sağlanmaktadır. Üretici bilgisi, üretim tarihi ve yeri gibi bilgilerin yanında IoT algılayıcıları yardımıyla toplanan bilgiler de Blokzincir tabanlı kayıt defterlerinde saklanmaktadır. Saklama ortamının sağladığı şeffaflık ve değiştirilemezlik, üretici, müşteri, satış merkezi, servis noktası gibi paydaşların ürün bilgilerini güvenle kullanmasına olanak vermektedir.

Ford, BMW, GM, Renault gibi büyük otomotiv üreticilerinin ve IOTA Foundation, Trusted IoT Alliance gibi IoT platformlarının da dahil olduğu 37 şirketin katılımıyla MOBI isimli bir platform kurulmuştur (MOBI, 2023). Bu platform, araç üretim süreçlerinin iyileştirilmesinde IoT ve Blokzincir teknolojilerini birlikte kullanarak çözümler üretmek için çalışmaktadır.

Bunların yanında elektrikli araçların şarj istasyonlarında, yakıt ödemelerinin yapılmasında, akıllı trafik kontrol sistemlerinde IoT ve Blokzincir teknolojilerinden yararlanan çözümler kullanılmaktadır. NetObjex'in geliştirdiği akıllı park sistemlerinde, boş park alanları IoT ile tespit edilirken park ücretleri kripto cüzdanlar ile otomatik olarak yapılmaktadır (NetObjex, 2023).

2.4. Sigortacılık

Sigortacılık alanındaki uygulamalar oldukça kapsamlı çözümler içermektedir. Giyilebilir cihazlar kullanıcının diyet, aktivite, kalp atış hızı, kan basıncı ve daha pek çok biyolojik bilgisini toplamakta, bu veri özel Blokzincir ağlarında güvenli ve değiştirilemez şekilde saklanmaktadır. Sağlık sigortası sağlayan şirketler bu verilere ulaşabilmekte ve sigorta kapsamı bu verilere göre belirlenmektedir (Ahmad ve Saxena, 2022). Sağlık sektöründe kayıtların güvenli ve değiştirilemez olarak tutulması konusunda bir başka çalışmada da Hyperledger Blokzinciri kullanılarak bir çözüm oluşturulmuştur (Nuredini ve ark., 2023).

Akıllı evlerde kullanılan IoT tabanlı güvenlik sistemlerinin Blokzincir teknolojisi ile saklanan verileri, sigorta şirketine yapılan ödeme başvurularının gerçekliğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Araçlarda yer alan IoT cihazları, sürücünün aracını kullanım sıklığını ve "iyi sürücü" tanımına ne ölçüde uyduğunu belirlemek için kullanılmaktadır. Blokzincir üzerinde saklanan bu verinin geriye dönük olarak

değiştirilmesi mümkün olmadığı için, trafik ve araç sigortası yapan şirketler için teklif oluşturma süreçlerinde güvenilir bir kaynak oluşturmaktadır (Xiao ve ark., 2022).

Ayrıca sigortacılığın önemli alanlarından tarımsal ve zirai aktivitelerde IoT verisinin değiştirilemez olarak saklanması Blokzincirden yararlanılmaktadır (Bai ve ark., 2022). Yeni nesil Fintech uygulamalarında da IoT ve Blokzincir birlikte kullanılarak sisteme duyulan güvenin artırılması sağlanmaktadır (Chauhan, 2022).

2.5. Enerji Dağıtım

IoT tabanlı sistemler bina ve enerji yönetiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Enerji kullanımının gerçek zamanlı takibi ile sadece ücret toplama süreçlerinin iyileştirilmesi değil, aynı zamanda enerji dağıtım hatlarındaki yükün planlanması ve dengelenmesi de mümkün olmaktadır.

Brooklyn'de enerji verimliliğinin artması için IoT ve Blokzincir teknolojileri başarılı bir şekilde kullanılmıştır (Brooklyn Energy, 2023). Mahalle sakinleri arasında oluşturulan mikro şebekelerle, güneş enerjisiyle üretilen elektriğin yakın komşulara satılabilmesi sağlanmıştır. Benzer bir çözüm olan PowerLedger, bu fikri daha da yaygınlaştırarak herhangi bir enerji şebekesinde cihazlar ve insanlar arasında enerji alışveriş işlemlerini IoT ve Blokzincir teknolojisini birlikte kullanarak sağlamaktadır (PowerLedger, 2023). Başka bir örnekte, bir konsorsiyum Blokzinciri kullanarak enerji satışının güvenli olarak gerçekleştirilmesi sağlanmıştır (Li ve ark., 2018). Akıllı şebekelerin işletiminde IoT ve Blokzincir için pek çok uygulama alanı bulunmaktadır (Iindombo ve Chitauru, 2023). Enerji şebekelerinde haberleşme güvenliği de bu teknolojilerle geliştirilen çözümlerle sağlanabilmektedir (Ullah ve Park, 2021).

2.6. Haberleşme

IoT cihazlarının haberleşmesi için gerekli olan kablolu veya kablosuz haberleşme altyapısının uygulama alanında bulunmadığı veya daha maliyet etkin çözümlerin kullanılmak istendiği durumlarda, IoT cihazlarının kendi oluşturdukları kablosuz ağlar veri iletiminde bir çözüm olarak kullanılabilir. Helium, Blokzincir madencilerini kablosuz erişim noktası olarak kullanmakta, uzun menzilli kablosuz iletişim teknolojileri ile IoT cihazlarına bu ağa dahil olma imkânı sağlamaktadır (Helium, 2023). Bu ağın koordinasyonu ve yönetimi Blokzincir tabanlı bir sistem ile sağlanmaktadır. Erişim noktası olarak hizmet veren madencilere, bu hizmet karşılığı ödemeler yine Blokzincir üzerinden dijital paralar ile yapılmaktadır.

Bu alanda bir başka örnek BlockMesh ağıdır (BlockMesh, 2023). Bu ağ IoT cihazları için tamamen ücretsiz veri iletim ortamı sunmaktadır. Ağın çalışmasında gerek duyulan veri iletimine katkı sağlayan kullanıcılar ve IoT cihazları sağladıkları hizmet ölçüsünde kredi kazanmakta, kazandıkları bu krediyi kendi verilerini iletmek için kullanmaktadır. Böylece, dayanışma esasına dayanan ve kapsama alanı da ağa dâhil olan IoT cihazı sayısına bağlı olarak genişleyen bir mesh (örgü) ağ oluşturulmaktadır. Bu ağ, dağıtık yapıda Blokzincir tabanlı bir sistem üzerinden yönetilmektedir. Ayrıca yüksek veri iletim

kapasitesi sunan 5G ağlarında kritik bilgilerin kontrollü iletimi konusunda da IoT ve Blokzincirin entegrasyonuna dayanan çözümler geliştirilmiştir (Srinivasu ve ark., 2021). Endüstriyel IoT haberleşmesinde güvenli iletişimin sağlanmasında da Blokzincir teknolojisi kullanılmaktadır (Rathee ve ark., 2022).

2.7. Gıda

Gıda maddelerinin kaynağından tüketim noktasına kadar depolandığı ve işlendiği noktaların takip edilmesinde IoT ve Blokzincir teknolojileri birlikte kullanılmaktadır. Özellikle çok sayıda tedarikçiden faydalanan firmaların üretim süreçlerini yönetmesinde ve tüketicilere gıda maddelerinin kaynağı konusunda güvenilir bilgiler sunmasında bu teknolojiler önem kazanmaktadır (Tse ve ark., 2017; Kaur ve ark., 2022; Balamurugan ve ark., 2021). RFID gibi fiziksel ürünlerin takibini kolaylaştıran teknolojilerin de dâhil edilmesiyle gıda maddelerinin takibi konuda geniş ölçekli örnek çalışmalar ortaya konmuştur (Zuo ve ark., 2022).

Blokzincir ve IoT birlikte kullanıldığında pek çok farklı alanda teknolojik problemlere yeni çözüm fırsatları sunmaktadır. IoT cihaz sayısı her geçen gün hızla artarken, bu cihazlardan toplanan verinin saklanması ve gereken şekilde işlenmesi için Blokzincir dağıtık bir platform sunmakta, IoT alanında yaşanan güven, güvenlik ve ölçeklenme problemlerine çözüm getirmektedir.

3. Materyal ve Metot

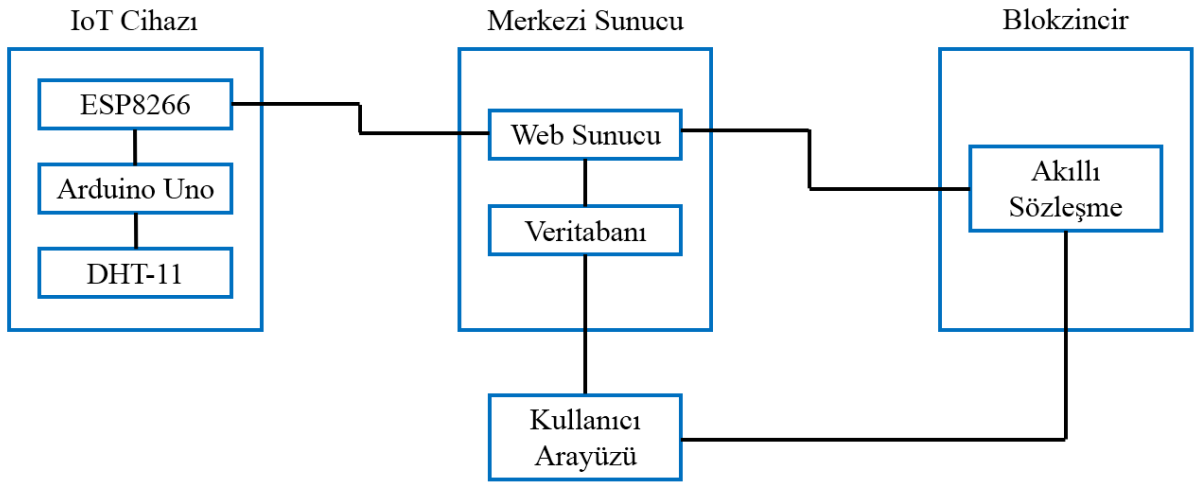
Blokzincir'in IoT çözümlerinde kullanımına örnek bir sistem çözümü oluşturmak amacıyla, gıda ürünlerinin ve sağlık malzemelerinin taşınması sırasındaki ortam verisini toplayarak bir veritabanına kaydeden ve akıllı sözleşme üzerinde tanımlanan durumlar gerçekleştiğinde belirlenen olayları tetikleyen bir sistem tasarımı yapılmıştır. Bu sistem çözümünün getirdiği faydalar aşağıda listelenmiştir:

- Bir IoT uygulamasının Blokzincir ile entegrasyonu ve uçtan uca sistem çözümünün oluşturulmasına örnek oluşturmaktadır.
- Çok sayıda algılayıcının dahil edilmesine olanak tanımaktadır. Bu yönüyle, çok farklı alanlarda IoT çözümlerinin Blokzincir ile entegre edilmesine temel ve ölçeklenebilir bir çerçeve sunmaktadır.
- IoT algılayıcılarından toplanan verinin akıllı sözleşme üzerinde tanımlanan kurallara uygun olarak güvenilir ve değiştirilemez şekilde olaylar tetiklemesini sağlamaktadır. Örnek olarak, belirli sıcaklık ve nem değerleri dışına çıktığında sigorta, teslimat, ödeme vb. hükümlerin otomatik olarak çalıştırılmasını sağlamaktadır.

IoT sistemleri yüksek miktarda verinin gerçek zamanlı toplanmasını ve işlenmesini gerektirdiği için, bu verinin tamamen Blokzincir üzerinde yönetilmesi teknolojik ve ekonomik zorluklar içermektedir. Blokzincirde bloklar arasında geçen sürenin oldukça uzun olması verinin gerçek zamanlı

kaydedilmesine engel oluşturmaktadır. Yine bu sürenin uzun olması sebebiyle kötü niyetli kullanıcıların başka kullanıcılar tarafından Blokzincire yazılmak istenen işlemleri izleyerek kendilerine çıkar sağlayacak işlemler yapması şeklinde ortaya çıkan front-running saldırıları görülebilmektedir. Ayrıca, her bir veri kayıt işlemi için ödenmesi gereken işlem ücretleri, çok sayıda algılayıcı içeren IoT sistemlerinin verisini Blokzincir üzerinde tutmayı çok pahalı ve verimsiz hale getirmektedir. Bu sorunlara çözüm olarak, sistem çözümümüzde IoT verisini saklamak için veritabanından yararlanan bir çözüm ortaya konmuştur. Algılayıcılardan toplanan veri hızlı ve ekonomik bir veri depolama alanı olan merkezi veritabanında saklanmaktadır. İlave güvenlik ve değiştirilemezlik ortamı olarak Blokzincir üzerinde çalışan bir akıllı sözleşme yer almaktadır. Akıllı sözleşme üzerinde kod ile belirtilen koşullar gerçekleştiğinde, Blokzincir olayları tetiklenmekte ve bu olaylar herkesin erişimine açık şekilde blokzincir üzerine kaydedilmektedir. Verinin tamamının Blokzincir üzerine kaydedilmesi yerine tetiklenen olayların kaydedilmesi, IoT ve Blokzincir teknolojilerinin birlikte kullanımındaki teknolojik ve ekonomik sorunlara bir çözüm oluşturmaktadır.

Sistem çözümünü oluşturan temel bloklar Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Sistem çözümünü oluşturan temel bloklar

IoT cihazı, sıcaklık ve nem algılayıcıları ile bulunduğu depo, konteyner, dolap vb. ortamın ölçümünü yapmakta, kablosuz internet üzerinden ölçüm değerlerini HTTP GET çağrılarını şeklinde bir web sunucusuna iletmektedir. Bu web sunucusunda, ölçüm değerleri veritabanı üzerinde saklanmaktadır. Web sunucusu, gelen ölçüm değerlerini veritabanına kaydederken aynı zamanda Blokzincir üzerinde bulunan akıllı sözleşmeye de göndermektedir. Akıllı sözleşmede tanımlanan koşullar gerçekleştiğinde, koşula uygun olaylar tetiklenmektedir. Kullanıcılar, web tarayıcılarında bir eklenti olarak yer alan Metamask kripto cüzdanları ile kullanıcı arayüzünü içeren bir web sayfasına erişmektedir. Bu web sayfası ReactJS ve web3.js Javascript kütüphanelerini kullanmakta, böylece akıllı sözleşme fonksiyonları ile etkileşebilmektedir. Akıllı sözleşme tarafından tetiklenen olaylar, Blokzincir üzerine

değiştirilemez olarak zaman damgalarıyla kaydedildiği gibi, aynı zamanda bu web sayfası üzerinden de görüntülenebilmektedir. Sistemin temel bileşenleri aşağıda listelenmiştir:

Donanım bileşenleri:

- NodeMCU ESP8266, üzerinde kablosuz haberleşme modemi taşıyan küçük bir mikroişlemci kartıdır. Sistemde algılayıcı verisinin İnternet üzerinden iletimi için kullanılmaktadır.
- Arduino Uno, ATmega328 mikroişlemci tabanlı bir geliştirme kartıdır. Üzerinde analog ve dijital giriş/çıkışlar bulundurduğu için algılayıcı uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Sistemdeki görevi algılayıcı verisini okuyarak NodeMCU ESP8266 kartına UART seri haberleşme ile iletmektir.

Yazılım bileşenleri:

- Metamask, yaygın olarak kullanılan bir kripto cüzdandır (Metamask, 2023). Tarayıcı eklentisi olarak kullanılabilirdiği için Ethereum (Ethereum, 2023) tabanlı Blokzincirlere erişimde kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Kripto anahtarları saklamak ve Blokzincir üzerinde yer alan akıllı sözleşmelerle etkileşim için kullanılmaktadır.
- Ropsten Test Ağı (Ropsten Blockchain, 2023), Ethereum Blokzincirinin test ağlarından biridir. Ethereum'un asıl ağı olan Mainnet kullanımına geçmeden önce, uygulamaların test ortamında geliştirilmesi için kullanılmaktadır.
- Web Sunucu, Linux işletim sistemi üzerinde çalışmakta ve HTTP çağrılarını alıp işlemek için kullanılmaktadır.
- Veritabanı, algılayıcı verisini kaydetmek için kullanılmaktadır.
- Remix IDE (Remix IDE, 2023) akıllı sözleşmelerin geliştirilmesi ve Blokzincir üzerinde yayınlanması için kullanılan web tabanlı bir geliştirme ortamıdır. Akıllı sözleşmeler Solidity dili ile geliştirilmektedir. Bu geliştirme ortamı, akıllı sözleşme kodunun derlenmesi ve Blokzincir üzerine aktarılması için kullanılmaktadır.
- ReactJS (React, 2023) web geliştirmede kullanılan bir Javascript kütüphanesidir. Blokzincir ile etkileşime geçebilen web sayfaları hazırlamak için web3.js kütüphanesi (Web3, 2023) ile birlikte kullanılmıştır.
- Truffle suite (Truffle Suite, 2023) akıllı sözleşme geliştirmede ve testinde kullanılan bir araçlar topluluğudur.
- Ganache (Ganache, 2023) bilgisayarın yerel ortamında çalışan bir test Blokzinciridir.

4. Bulgular ve Tartışma

Şekil 3'te gösterilen sistemin gerçekleşmesi ve testi için izlenen adımlar aşağıda maddeler hâlinde verilmiştir. Bu adımlar, tipik bir Blokzincir geliştirme sürecine de örnek oluşturmaktadır.

- Donanım geliştirme süreci: Öncelikle donanım bileşenleri hazırlanmıştır. Arduino'da basit bir kod ile algılayıcı okuma ve seri kanaldan NodeMCU ESP8266 ile paylaşma işlemi

gerçekleştirilmiştir. NodeMCU ESP8266 üzerinde çalışan kod ile de seri kanaldan gelen verinin kablosuz İnternet üzerinden http GET çağrısı hâlinde web sunucusuna gönderilmesi sağlanmıştır.

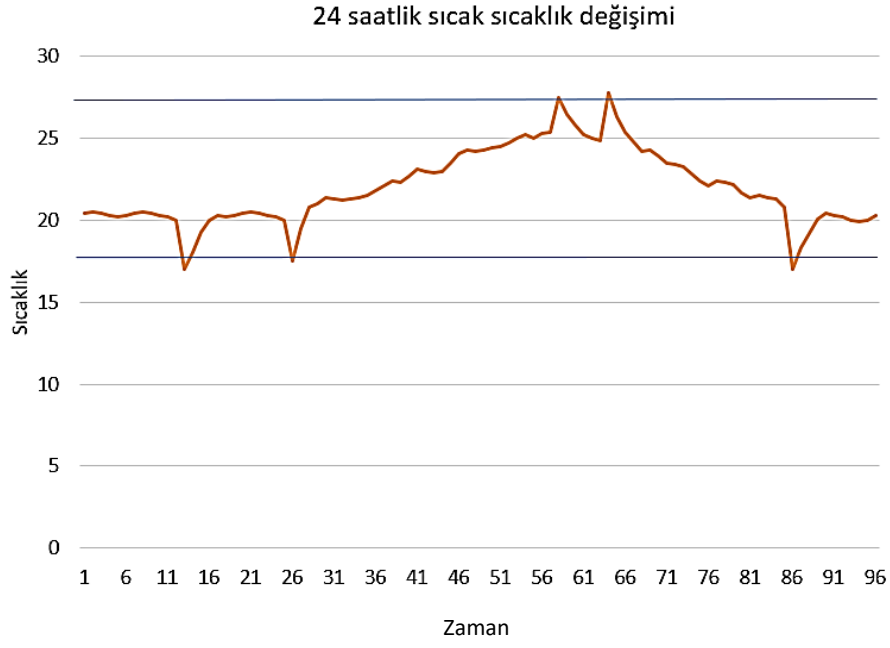
- Bulut ortamının hazırlanması: Linux işletim sistemi üzerine bir Web Sunucu ve bir veritabanı kurulmuştur. Bu sunucu üzerinde çalıştırılan ve PHP dilinde çalışan bir kod ile gelen HTTP GET çağruları işlenerek algılayıcı verisinin veritabanına yazılması sağlanmıştır.
- Blokzincir geliştirme süreci: Öncelikle, kullanılacak Blokzincir olarak Ethereum seçilmiştir. Bu seçimin yapılmasında Ethereum'un akıllı sözleşmelere olanak tanınması, web arayüzü için gelişmiş kütüphanelerin bulunması, yaygın kullanımı, tasarımın Ethereum tabanlı birçok Blokzincire kolayca taşınabilir olması gibi sebepler belirleyici olmuştur. Sonrasında, akıllı sözleşmelerin geliştirilmesi aşamasına geçilmiştir. Akıllı sözleşmelerin geliştirilmesi aşamasında Solidity programlama dili (Solidity, 2023) ve Remix IDE geliştirme ortamı kullanılmıştır. Akıllı sözleşme içerisinde kodlanan fonksiyonlar Remix IDE üzerinde test edilmiştir. Geliştirme tamamlandıktan sonra, akıllı sözleşmeler Truffle Suite üzerinde test edilmiştir. Testin son aşamasında bilgisayara kurulan yerel Ganache Blokzincir üzerinde akıllı sözleşmelerin fonksiyonları test edilerek doğrulanmıştır. Kullanıcı arayüzü olarak hazırlanan web sayfasında web3.js ve ReactJS Javascript kütüphaneleri Blokzincir ile etkileşimi sağlamak için kullanılmıştır. Tüm testler tamamlandıktan sonra akıllı sözleşmeler önce test ağına sonra da Polygon ağına yüklenmiştir. Polygon ağı (Polygon Blockchain, 2023), Ethereum'un hız ve ekonomik açıdan ölçeklenebilmesi için geliştirilmiş 2. Katman bir yan ağdır. Ethereum üzerinde çalışan akıllı sözleşmeler küçük değişikliklerle Polygon üzerinde daha hızlı ve ekonomik şekilde çalıştırılabilmektedir.

Testlerin son aşamasında IoT cihazı bir dolaba yerleştirilerek sistemin gerçek çalışma koşullarında davranışı incelenmiştir. IoT cihazı 15 dakikalık periyotlarla bulunduğu ortamın sıcaklık ve nem ölçümünü yaparak web sunucusuna göndermektedir. Akıllı sözleşme içerisine yazılan kod, sıcaklık 18°C altına düştüğünde ve 27°C üzerine çıktığında Blokzincir üzerinde olay tetiklemektedir. Bu olaylar hem değiştirilemez şekilde Blokzincir üzerine kaydedilmekte, hem de kullanıcı arayüzünde görüntülenmektedir. Testi gerçekleştirebilmek ve olay tetiklenmesini sağlamak amacıyla, dolap sıcaklığı dışarıdan müdahale edilerek 2 noktada 18°C altına düşürülmüştür ve 3 noktada 27°C üzerine çıkarılmıştır.

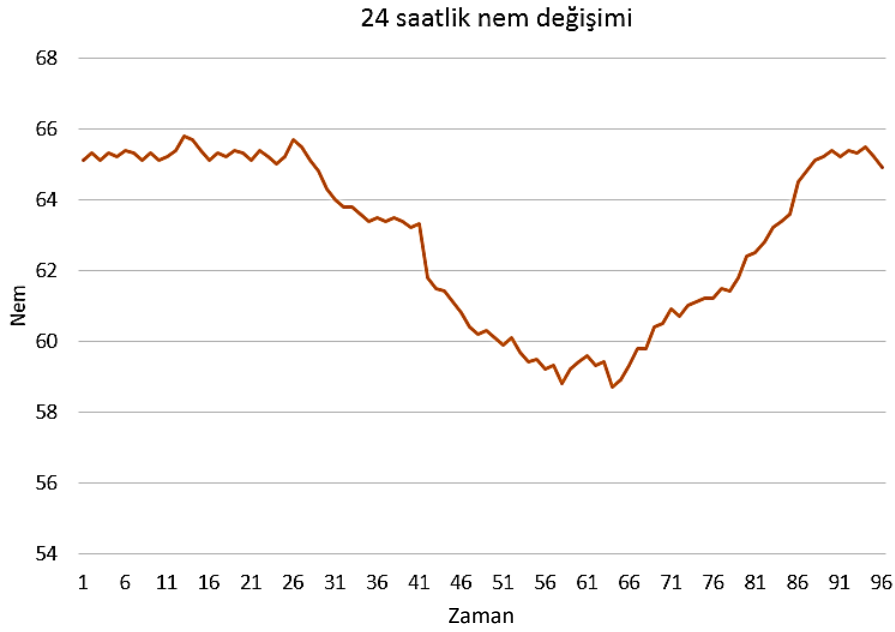
Şekil 2 ve Şekil 3'te 24 saat boyunca 15 dakikada bir alınan sıcaklık ve nem verisini grafiği görülmektedir. Akıllı sözleşme tarafından Blokzincir üzerinde tetiklenen olaylar Şekil 4'da verilmiştir. Olayların tetiklendiği zamanlar ile sıcaklığın akıllı sözleşmede tanımlanan limitlerin dışına çıktığı zamanların tam olarak örtüştüğü görülmektedir.

Bu örnek uygulama, sadece IoT çözümlerinin kullanıldığı benzer sistemlerle (Murthy ve ark., 2023; Rao ve ark., 2023) karşılaştırıldığında, Blokzincirin getirdiği ilave güvenilirlik imkânları sayesinde tanımlanan olayların değiştirilemez şekilde saklanmasını sağlamaktadır. Sunulan çözüm, pek çok

paydaşın birlikte yer aldığı ve güvene dayalı kurgulanan IoT çözümlerinde yaşanan sorunlara çözüm getirmektedir.



Şekil 2. Test dolabından alınan sıcaklık değerin 24 saat içerisindeki değışimi



Şekil 3. Test dolabından alınan nem değerin 24 saat içerisindeki değışimi

Tetiklenen Olaylar



Şekil 4. Akıllı sözleşme tarafından Blokzincir üzerinde tetiklenen olaylar

5. Sonuç

Bu araştırma, nesnelerin interneti alanında Blokzincir teknolojisinin çeşitli uygulamalarını incelemiş ve bu iki teknolojinin birlikte kullanılmasının IoT ekosistemine sağlayabileceği faydaları vurgulamıştır. Öncelikle, Blokzincirin temel kavramlarının IoT çözümlerinde nasıl kullanılabileceği incelenmiştir. Blokzincirin, IoT sistemlerinin veri bütünlüğünü, güvenliği ve ölçeklenebilirliğini artırma potansiyeli olduğu vurgulanmıştır. Blokzincirin dağıtık yapıları, IoT cihazları arasındaki veri alışverişini güvenilir kılarak, kötü niyetli müdahaleleri engellemeye yardımcı olabilecektir. Bunun yanında Blokzincir IoT için güvenli, şeffaf ve verimli bir veri yönetimi çözümü olarak önemli bir rol oynama potansiyeline sahiptir.

Araştırmada, öncelikle gerçek dünya uygulamalarına yer verilmiş, Blokzincir teknolojisinin IoT sistemlerini nasıl geliştirebileceğini gösteren örnekler sunulmuştur. Bu örnekler arasında tedarik zinciri yönetimi, sigortacılık, enerji dağıtım sektörü ve haberleşme gibi alanlar bulunmaktadır. Bu uygulama örnekleri, Blokzincirin IoT ekosistemine katkılarını ve getirdiği avantajları göstermektedir. Araştırmanın sonraki kısmında Blokzincirin IoT çözümlerinde kullanımına örnek bir sistem çözümü oluşturmak amacıyla, gıda ürünlerinin ve sağlık malzemelerinin taşınması sırasındaki ortam verisini toplayarak bir veritabanına kaydeden ve akıllı sözleşme üzerinde tanımlanan durumlar gerçekleştiğinde belirlenen olayları tetikleyen bir sistem tasarımı yapılmıştır. Bu sistem tasarımı, donanım ve yazılım bileşenleri ile Blokzincir tabanlı bir IoT çözümünün uçtan uca gerçekleşmesini içermektedir.

Sonuç olarak, bu araştırma hem gerçek dünya örneklerinden yararlanarak hem de uçtan uca bir sistem tasarımı sunarak Blokzincirin IoT alanında potansiyelini vurgulamakta ve bu iki teknolojinin kesişiminde yer alan fırsatları incelemektedir.

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

Abbas QE., Sung-Bong J. A survey of blockchain and its applications. International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication. 11-13 Şubat 2019, Sayfa no: 1-3, Japonya.

Ahmad S., Saxena C. Internet of things and blockchain technologies in the insurance sector. International Conference on Computing, Analytics and Networks, 18-19 Kasım 2022, Sayfa no: 1-6, Hindistan.

AlHammadi A., AlZaabi A., AlMazrooqi B. Survey of IoT-based smart home approaches. IEEE Advances in Science and Engineering Technology International Conferences. 26 Mart-10 Nisan 2019, Sayfa no: 1-6, Birleşik Arap Emirlikleri.

Ambrosus. URL: <https://ambrosus.com>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Bai P., Kumar S., Kumar K. Use of blockchain enabled IoT in insurance: A case study of calamity based crop insurance. Third International Conference on Intelligent Computing Instrumentation and Control Technologies (ICICT), 11-12 Ağustos 2022, Sayfa no: 1135-1141, Hindistan.

Bajaj R., Rao M., Agrawal H. Internet of things (IoT) in the smart automotive sector: A review. IOSR Journal of Computer Engineering 2018; 36-44.

Balamurugan SA., Ayyasamy A., Joseph KS. IoT-blockchain driven traceability techniques for improved safety measures in food supply chain. International Journal of Information Technology 2021; 14: 1087-1098.

BlockMesh. URL: <https://www.blockmesh.io>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Brooklyn Energy. URL: <https://www.brooklyn.energy>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Chauhan RR., Chirputkar AV., Pathak P. Blockchain and IoT in developing fintech ecosystem - an assistance to insurance industry. 2022 International Conference on Decision Aid Sciences and Applications (DASA), 23-25 Mart 2022, Sayfa no: 431-437, Tayland.

Crosby M., Nachiappan N., Pattanayak P., Verma S. Kalyanaraman V. BlockChain technology: Beyond bitcoin. Applied Innovation Review 2016; 2: 6-10.

Deloitte. Deloitte's global blockchain survey. URL: https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/6608_2020-global-blockchain-survey/di-cir-2020-global-blockchain-survey.pdf, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Ethereum. URL: <http://ethereum.org>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

- Gaikwad K., Kulkarni K., Kohle S., Patil P. Implementation of blockchain technology in IOT based smart home. 5th International Conference on Advances in Science and Technology (ICAST), 21-23 Ekim 2022, Sayfa no: 6-10, Hindistan.
- Ganache. URL: <http://trufflesuite.com/ganache>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.
- Gao W., Hatcher WG., Yu W. A survey of blockchain: Techniques applications and challenges. International Conference on Computer Communication and Networks. 30 Temmuz-2 Ağustos 2018, Sayfa no: 1-5, Çin.
- Helium. URL: <https://www.helium.com>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.
- Hvolby H., Steger-Jensen K., Bech A., Vestergaard S., Svensson C., Neaogoe M. Information exchange and block chains in short sea maritime supply chains. *Procedia Computer Science* 2021; 181: 722-729.
- Iindombo S., Chitauro M. An analysis of the implementation of blockchain technology in smart grid edge IoT devices. International Conference on Emerging Trends in Networks and Computer Communications (ETNCC), 16-18 Ağustos 2023, Sayfa no: 1-5, Namibia.
- IoE. URL: https://www.cisco.com/web/AP/IoEWebinarSeries/docs/the_internet_of_everythings_relevance_to_cloud_and_mobility_applications.pdf, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.
- IoT Analytics. URL: <https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.
- IoT Statistics. URL: <https://safeatlast.co/blog/iot-statistics>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.
- IoTeX, 2018. NKN collaborates with IOTEX, URL: https://www.prweb.com/releases/nkn_collaborates_with_iotex_to_enable_the_smart_home_for_the_sharing_economy/prweb15804856.htm, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.
- Jones M. Walmart goes after patent for smart appliance management on the blockchain, URL: <https://blockchaintechnology-news.com/2018/08/walmart-goes-after-patent-for-smart-appliance-management-on-the-blockchain>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.
- Kaur A., Bhamra GS., Kukreja V., Sharma S., Singh S., Yoon B. Adaptation of IoT with blockchain in food supply chain management: An analysis-based review in development, benefits and potential applications. *Sensors* 2022; 22.
- Kaushik A., Choudhary A., Ektare C., Thomas D., Akram S. Blockchain - literature survey. IEEE International Conference On Recent Trends in Electronics Information & Communication Technology. 19-20 Mayıs 2017, Sayfa no: 2145-2148, Hindistan.
- Kim H.M., Laskowski M. Toward an ontology-driven blockchain design for supply-chain provenance. *Intelligent Systems in Accounting Finance Management* 2018; 25: 18–27.
- Kshetri N. Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management* 2018; 39: 80–89.

Li Z., Kang J., Yu R., Ye D., Deng Q., Zhang Y. Consortium blockchain for secure energy trading in industrial Internet of Things. *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 2018; 14(8): 3690–3700.

Mediledger. URL: <https://mediledger.com>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Metamask. URL: <https://metamask.io>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

MOBI. URL: <https://dlt.mobi>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Moon H., Song JG., Shin H., Jang JW. Home IoT device management blockchain platform using smart contracts and a countermeasure against 51% attacks. 4th Asia Pacific Information Technology Conference, 14-16 Ocak 2022, Tayland.

Murthy MS., Kumar RP., Saikiran B., Nagaraj I., Annavarapu T. Real time weather monitoring system using IoT. *E3S Web of Conferences* 2023; 391.

Nakamoto S. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. 2008. URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

NetObjex. URL: <https://www.prnewswire.com/news-releases/netobjex-demonstrates-decentralized-smart-parking-solution-with-cryptocurrency-payment-300568290.html>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Nuredini D., Mechkaroska D., Domazet E. A secure and effective solution for electronic health records with hyperledger fabric blockchain. 8th International Congress on Information and Communication Technology (ICICT), 20-23 Şubat 2023, Londra, İngiltere.

OriginTrail. URL: <https://www.origintrail.io>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Peters GW., Panavi E. Understanding modern banking ledgers through blockchain technologies: Future of transaction processing and smart contracts on the internet of money. *Banking Beyond Banks and Money* 2016; 239-279.

Polygon Blockchain. URL: <http://polygon.technology>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

PowerLedger. URL: <https://www.powerledger.io>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Rao P., Pingalkar AS., Chayal GS., Kamble SB. IoT based weather monitoring system. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science* 2023; 3.

Rathee G., Ahmad F., Jaglan N., Konstantinou C. A secure and trusted mechanism for industrial IoT network using blockchain. *IEEE Transactions on Industrial Informatics* 2022; 19: 1894-1902.

React. URL: <http://react.dev>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Remix IDE. URL: <http://remix.ethereum.org>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Ropsten Blockchain. URL: <http://ropsten.etherscan.io>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Rosby M., Nachiappan, Pattanayak P., Verma S., Kalyanaraman V. Blockchain technology: Beyond bitcoin. *Applied Innovation Review* 2016.

Shakarami M., Benson JO., Sandhu RS. Blockchain-based administration of access in smart home IoT. *ACM Workshop on Secure and Trustworthy Cyber-Physical Systems*, 26 Nisan 2022, Baltimore, DC, ABD.

Sharples M., Domingue J. The blockchain and kudos: A distributed system for educational record, reputation and reward. European Conference on Technology Adaptive Learning. 13-16 Eylül 2016, Sayfa no: 490-496, Fransa.

Solidity. URL: <http://soliditylang.org>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Srinivasu PN., Bhoi AK., Nayak SR., Bhutta MR., Wozniak M. Blockchain technology for secured healthcare data communication among the non-terminal nodes in IoT architecture in 5G network. *Electronics* 2021; 10: 1437.

Swan M. *Blockchain: Blueprint for a new economy*: 1th ed. CA, ABD: O'Reilly Media; 2015.

Tasatanattakool P., Techapanupreeda C. *Blockchain: Challenges and applications*. International Conference on Information Networking. 10-12 Ocak 2018, Sayfa no: 473-475, Tayland.

Telstra. URL: <https://www.telstra.com.au>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Truffle Suite. URL: <http://trufflesuite.com>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Tse D., Zhang B., Yang Y., Cheng C., Mu H. Blockchain application in food supply information security. *IEEE International Conference Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, Aralık 2017, Sayfa no: 1357–1361, Singapur.

Ullah MH., Park J. Distributed energy trading in smart grid over directed communication network. *IEEE Transactions on Smart Grid* 2021; 12: 3669-3672.

Xiao Z., Li Z., Yang Y., Chen P., Liu RW., Jing W., Pyrlloh Y., Sotthiwat E., Goh, R. Blockchain and IoT for insurance: A case study and cyberinfrastructure solution on fine-grained transportation insurance. *IEEE Transactions on Computational Social Systems* 2020; 7: 1409-1422.

WaltonChain. URL: <https://www.waltonchain.org>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Web3. URL: <http://ethereum.org/en/developers/docs/apis/javascript>, Erişim Tarihi: 1 Ekim 2023.

Zuo J., Feng J., Gameiro MG., Tian Y., Liang J., Wang Y., Ding J., He Q. RFID-based sensing in smart packaging for food applications: A review. *Future Foods* 2022; 6: 100198 - 100198.

Zyskind G., Nathan O., Pentland A. Decentralizing privacy: Using blockchain to protect personal data. *IEEE Security and Privacy Workshops*, 21-22 Mayıs 2015, Sayfa no: 180-184, San Jose, CA, ABD.

Crucial Challenges in Corporate Credit Risk Assessment: A Case Study

Btissam HAJJAOU^{1*}

¹Kadir Has University, Department of Engineering and Natural Sciences, Industrial Engineering, 34083, Istanbul

¹<https://orcid.org/0000-0003-0851-3428>

*Corresponding author: b.hajjaoui@stu.khas.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 10.08.2023

Accepted: 11.01.2024

Published online: 11.03.2024

Keywords:

Credit risk assessment
Corporate client
Missing values
Subset creation
Sampling methods
Machine learning

ABSTRACT

This article demonstrates three crucial challenges that can be faced when dealing with credit risk datasets through a case study based on a dataset obtained from one of the leading institutions in the finance sector in Turkey. These datasets have many variables, numerous missing values, and an unbalanced nature. This study shows the step-by-step solutions we used to overcome the three mentioned challenges. Furthermore, predicting whether a borrower has not repaid their loan on time was also part of the study. In this case study, we initially had a large number of variables, which was 401 variables. We reduced this number by identifying the input variables from the others and then studying those inputs to avoid using strongly correlated variables and variables consisting almost entirely of missing or zero values. To solve the issue of missing values, we created seven subsets from our dataset to reflect which group of variables relates to which customer. To overcome the issue of the imbalanced nature of the dataset (96% and 4% non-default and default instances, respectively), we used three sampling techniques to balance the instances in the training sets. Subsequently, we applied six simple classifiers to predict the output variable. As a result of this study, we discovered that most of the variables initially present in the dataset were unnecessary and insignificant. Besides, we found answers to why we had many missing values, which helped us realize that not all variables relate to all customers and helped us deal with missing values effectively. Finally, for the default predictions, we simultaneously achieved sensitivity and specificity above 50%, where the under-sampling technique was the best sampling technique for the minority class, and the synthetic minority oversampling technique and oversampling performed better for the majority class.

Kurumsal Kredi Riski Değerlendirmesinde Önemli Zorluklar: Bir Vaka Çalışması

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 10.08.2023

Kabul tarihi: 11.01.2024

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Kredi riski değerlendirme
Kurumsal müşteri
Kayıp değerler
Alt küme oluşturma
Örnekleme yöntemleri
Makine öğrenimi

ÖZ

Bu makale, Türkiye'de finans sektörünün önde gelen kuruluşlarından birinden elde edilen bir veri setini temel alan bir vaka çalışması aracılığıyla, kredi riski veri setleriyle uğraşırken karşılaşılabilecek üç önemli zorluğu ortaya koymaktadır. Bu veri kümeleri çok sayıda değişkene, çok sayıda eksik değere ve dengesiz bir yapıya sahiptir. Bu çalışma, bahsedilen üç zorluğun üstesinden gelmek için kullandığımız çözümleri adım adım göstermektedir. Ayrıca, borçlunun kredisini zamanında geri ödeyip ödemediğini tahmin etmek de çalışmanın bir parçasıydı. Bu vaka çalışmasında başlangıçta çok sayıda değişkenimiz vardı, bu da 401 değişkendi. Diğerlerinden girdi değişkenlerini belirleyerek ve ardından güçlü korelasyona sahip değişkenleri ve neredeyse tamamen eksik veya sıfır değerlerden oluşan değişkenleri kullanmaktan kaçınmak için bu girdileri inceleyerek bu sayıyı azaltılmaktadır. Eksik değerler

sorununu çözmek için, hangi değişken grubunun hangi müşteriyle ilgili olduğunu yansıtacak şekilde veri kümemizden yedi alt küme oluşturulmuştur. Veri setinin dengesiz doğası sorununun (sırasıyla yaklaşık %96 ve %4 varsayılan olmayan ve varsayılan örnekler) üstesinden gelmek için eğitim setlerindeki örnekleri dengelemek amacıyla üç örnekleme tekniği kullanılmıştır. Daha sonra çıktı değişkenini tahmin etmek için altı basit sınıflandırıcı uygulanmıştır. Bu çalışma sonucunda başlangıçta veri setinde bulunan değişkenlerin çoğunun gereksiz ve önemsiz olduğunu keşfedilmiştir. Ayrıca, neden birçok eksik değere sahip olduğumuza dair yanıtlar bulunmuştur. Bu, tüm değişkenlerin tüm müşterilerle ilgili olmadığını anlamamıza ve eksik değerlerle etkili bir şekilde başa çıkamamıza yardımcı olmuştur. Son olarak, varsayılan tahminler için aynı anda %50'nin üzerinde duyarlılık ve özgüllük elde edilmiştir; burada düşük örnekleme tekniği azınlık sınıfı için en iyi örnekleme tekniğiydi ve sentetik azınlık aşırı örnekleme tekniği ve aşırı örnekleme çoğunluk sınıfı için daha iyi performans göstermiştir.

To Cite: Hajjaoui B. Crucial Challenges in Corporate Credit Risk Assessment: A Case Study. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(2): 834-854.

1. Introduction

As more and more people apply for different types of loans, including personal, student, business, vehicle, home, etc., banks and financial institutions want to ensure that the loans given to their customers or applicants will be repaid on the due date. Before approving a loan for a credit applicant, the credit risk associated with the applicant should be assessed so that the lender's business is not adversely affected. Credit risk can be defined as the probability of loss due to a borrower's default (Weissova et al., 2015). Credit risk assessment is critical for banks in managing and deciding on credits (Abdou and Pointon, 2011). This evaluation involves many operations, including gathering, studying, and classifying variables and credit-related elements (Abdou and Pointon, 2011).

In this article, we focus exclusively on corporate clients and do not consider non-corporate clients. For corporate clients, the objective is to assess a company's creditworthiness, while for non-corporate clients, the aim is to determine an individual's creditworthiness. Thus, the variables used in credit risk assessment differ from one type of customer to another, although some variables may be used independently of the kind of customer.

The main objective of this work is to build models that can help banks and financial institutions measure credit risk. In this article, we answer some questions about how the credit risk of corporate clients can be assessed and to what extent this risk can be measured. Credit evaluation generally depends on comparing the characteristics of new applicants with those of borrowers who have repaid their loans (Abdou and Pointon, 2011). The loan is refused if the features are similar to those of previously defaulting borrowers (Abdou and Pointon, 2011). Otherwise, if these characteristics are identical to those of borrowers who have not defaulted, the loan should be granted (Abdou and Pointon, 2011).

As we have many variables, 401 variables, we propose to classify the variables before using any machine learning classifier to avoid using variables resulting from the credit application evaluation that can influence the default predictions. We generally classify the variables into input, output, information,

and irrelevant, and then further study the 127 input variables, which can be used as features to assess credit risk.

We also distinguish variables with accidentally missing values from those with non-accidentally missing values. This differentiation is essential because most missing values in our dataset do not occur accidentally and indicate a negative or positive situation, depending on the context. Therefore, we suggest separating the customers according to the types of variables available for them by creating seven subsets with no missing values. For variables that occur accidentally, we fill them with a meaningful value whenever possible.

Additionally, we use two simple methods to reduce the number of input variables. The first method is to analyze the variables in terms of missing and zero values and remove those that are nearly empty or mostly filled with zeros. The second method involves studying the correlation between the variables and removing a strongly correlated variable out of two.

We have a binary classification problem, and we work to predict whether the client will default after their loans are approved “1” or not “0”. Due to the unbalanced nature of the dataset, we use under-sampling, oversampling, and synthetic minority oversampling techniques to balance the number of instances of the two classes in the training sets.

We will make the default predictions based on six well-known classifiers in the literature: Random Forest, Naïve Bayes, Logistic Regression, Support Vector Machine, Decision Tree, and K-Nearest Neighbor.

This article demonstrates the challenges encountered in processing and using credit datasets and proposes general methods for overcoming these challenges. Although the variables provided or available to assess credit risk may vary from country to country, this work is still relevant and valid because we treat variables as four groups of data that should be globally accessible: the applicant's data based on the information submitted with the credit application, corporate data, shareholder data, and credit history within the creditor's institution.

This article is composed of five sections. Here is the article’s structure: Section 2 is devoted to providing a description of the dataset and explaining in detail all the techniques used to reach the primary purpose of this work; Section 3 shows the results; Section 4 discusses and interprets the results; and finally, Section 5 summarizes the work done in this article and suggests further possible research work on the same type of dataset.

2. Data and Methods

2.1. Dataset description

The dataset used in this article is a corporate credit dataset from a Turkish financial institution. The data was shared with us subject to the Capital Markets Board of Turkey (SPK) regulations and internal

institution rules. The data was stored on the institution's server, and no sensitive data was used in our analysis that could lead to a conflict with the Personal Data Protection Authority (KVKK).

The dataset consists of 401 variables and 244300 rows. Each row refers to a credit application between January 2012 and February 2023, regardless of whether the credit was approved, rejected, or pending. Pending applications refer to credit applications undergoing financial analysis, being evaluated by the underwriter, those canceled by the applicants or the financial institution, applications not processed, etc. The dataset mainly contains four categories of variables: information, input, output, and irrelevant. Variables classified as information (30 variables) are mostly dates or identifiers of applications, customers, dealers, and shareholders. Irrelevant variables, 208 variables, are initially excluded for several reasons, such as these variables being 100% empty or containing a single category or value. On the other hand, the input variables, 127 variables, include the applicant's data, corporate data, shareholder data, and the applicant's credit history within the creditor's institution.

- *Applicant's data (11 variables)*: refers to information relating to corporate clients provided by the applicant when applying for credit, such as the firm's activity tenure, firm's type (cooperative, sole proprietorship, partnership, etc.), firm's sector (automotive, energy, health, education, tourism, construction, etc.), and amount of credit requested.
- *Corporate data (59 variables)*: can be obtained from the Central Bank of the Republic of Turkey (TCMB) and is in the form of a table called MEMZUÇ. This table contains variables referring to the risk, limit, and overdue amounts of the company applying for a loan.
- *Shareholder data (34 variables)*: can be received from the Credit Registration Office (KKB); for instance, credit card information, scores, customer indebtedness index, loan amounts in different credit products, limits, risks, and delays. It should be mentioned that KKB data is intended for individuals and not companies; in our case, the individuals are the shareholders of the company (corporate client).
- *The applicant's credit history within the creditor's institution (23 variables)*: refers to the current total loan amount, average loan amount at different time intervals, number of days past due, overdue amounts, etc. If the applicant is not a regular customer of the creditor, these records cannot be available.

Finally, we have output variables that result from evaluating the customer's credit application, such as the final decision of approving or rejecting the loan, approved loan amount, approved interest rate, number of installments, and application score.

In this work, we omit all the information and irrelevant variables. We also omit all the output variables except for the binary target variable (default or non-default) we need. In addition, we will only consider approved credit applications and customers whose default or non-default is known: 78747 out of 244300 applications. Sometimes clients' loans are not yet closed, which means that these clients still have months or years to finish repaying all of their installment loans. In such a situation, if no default had occurred by the client until the date when our dataset was retrieved, the label of the output variable is

unknown because that client can still fail to pay their loan as long as the loan is ongoing. To put it differently, customers can default at any time between the loan approval date and the loan closing date. We also remove extreme values from financial variables containing monetary amounts by orders of magnitude. Therefore, we discard 368 observations and base subsequent work on 78379 rows.

2.2. Feature selection

2.2.1. Analysis of missing and zero values in each data group

Our primary issue is that we do not have a group or groups of data for some customers in several cases. However, the absence of at least one data group is significant and justified. Missing values can be due to different reasons, such as the client having just started their business and some information about their firm is unavailable at the time of the credit application. The corporate data variables may be empty for some customers if no record is found for these customers at the TCMB. Additionally, not all customers have a credit history with the financial institution. In other words, if this is a first application, we cannot have the institutional data concerning the current or past loan amount, the arrears of the last month, the last six, or the last 12 months.

We analyze the number of missing values for each data group and eliminate variables with too many missing values. In addition, we eliminate the variables with too many zero values. Indeed, many variables have zero values, and zero as a value is significant in our dataset because it can mean that a customer is not late in paying their loans, which is the case for many customers, or can mean that a customer has no amount of risk, and so on. Thus, some variables may contain tens of thousands of zero values. The main objective of this analysis is to include in our models mainly the variables that work for most customers from each data group. Although other variables with too many missing values may be relevant for some customers, they only concern a minority.

- *Applicant's data group analysis*

The applicant's data group contains 11 input variables. Among these 11 variables, there are 5 variables with no missing values and 6 variables with some missing values. The replacement of missing values was possible with some assumptions for 5 variables, but for the sixth variable, we decided to ignore it because it has a percentage of 93.23% of missing and zero values, which means that it is a poor predictor.

- *Corporate data group analysis*

As stated earlier, the corporate data group has 59 input variables. Figure 1 shows two histograms. The first histogram shows the distribution of percentages of missing values only. The second histogram refers to the distribution of percentages of missing and zero values.

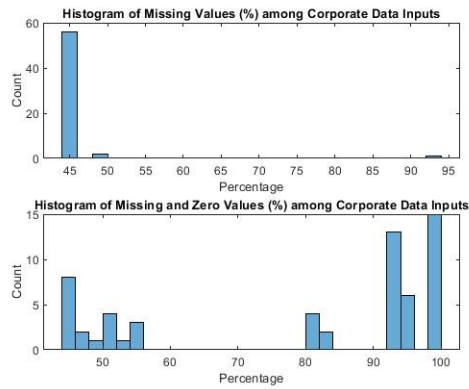


Figure 1. Distribution of the percentages of missing and zero values (corporate data)

From the first plot, we can see that most variables have about 45% missing values; then we exclude any variable with missing values greater than 45%. The second graph shows that many variables are almost filled with zeros or are empty; thus, they cannot be significant. Therefore, we exclude all variables with more than 96% missing or zero values.

- *Shareholder data group analysis*

Shareholder data, as a group, initially consists of 34 input variables. Figure 2 shows the histograms as in Figure 1, but considers only the shareholder data group.

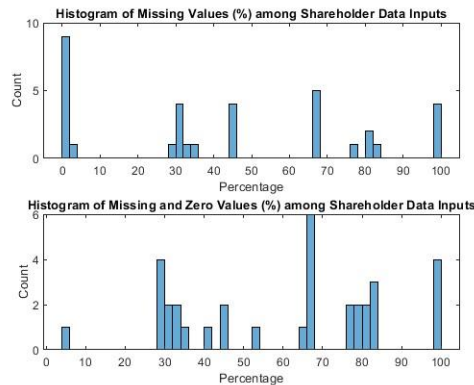


Figure 2. Distribution of the percentages of missing and zero values (shareholder data)

From the first plot in Figure 2, we can see that the variables in this group have different percentages of missing values, which makes it difficult to set a threshold to select or overlook variables. We decided to neglect all variables with more than 40% missing values and those with more than 99% missing and zero values.

- *Credit history data group analysis*

This data group contains 23 variables and has at least 61% missing values for all the variables in this group. And this high percentage was expected because not every credit applicant is a regular customer of the Turkish financial institution. Figure 3 refers to the histograms for this credit history data group in terms of percentages of missing and zero values.

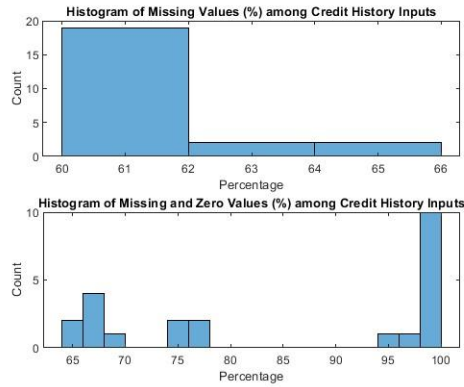


Figure 3. Distribution of the percentages of missing and zero values concerning (credit history)

From Figure 3, the percentages of all missing values for the variables in this group are between 60 and 66%. That means the percentages are very close to each other, so we are not ruling any out. However, when we check the second histogram, we find that some variables are mostly filled with zeros and missing values, so we ignore all variables with more than 97% missing and zero values. In total, we exclude ten variables from this data group.

2.2.2. Correlation analysis

To study the extent to which the variables are correlated, we grouped the input variables (81 remaining after the previous analysis) into 52 subgroups according to their meanings. In other words, we mainly grouped variables that refer to the same thing with a difference in time intervals. We studied the correlation for the subgroups X1 to X19 and ignored the subgroups from X20 to X52 because these subgroups consist of a single variable. Table 1 shows the minimum and maximum correlation coefficients in each subgroup, rounded to three decimal places.

Table 1 shows that the subgrouping was significant since, in most cases, the minimum correlation coefficient within a subgroup was greater than 0.9. As we aim to select the features that can be good predictors, we decided to eliminate certain variables in each subgroup if the correlation coefficient is 0.9 or more between two variables in the same subgroup. We keep the variable or variables with the most recent time interval from the date of application whenever possible.

Table 1. Minimum and maximum correlation coefficients in each subgroup

Data Group	Subgroup	Number of Variables	Subgroup Description	Minimum Correlation Coefficient	Maximum Correlation Coefficient
Applicant's data	X1	2	Collateral	0.637	-
	X2	2	Average amount of cash limit at bank	1.000	-
	X3	2	Average amount of cash limit	0.998	-
	X4	3	Average amount of factoring limit	0.964	0.989
	X5	2	Average amount of foreign exchange cash limit	0.978	-
	X6	3	Average amount of leasing limit	0.967	0.996
	X7	2	Average amount of non-cash limit	0.999	-
Corporate data	X8	2	Average amount of cash risk at bank	1.000	-
	X9	2	Average amount of cash risk	0.999	-
	X10	3	Average amount of factoring risk	0.956	0.988
	X11	2	Average amount of foreign exchange cash risk	0.999	-
	X12	3	Average amount of leasing risk	0.968	0.996
	X13	2	Average amount of non-cash risk	0.999	-
	X14	3	Number of banks the customer works with	0.998	0.999
Credit history	X15	4	Total amount of loan	0.877	0.977
	X16	4	Total amount of arrears	0.732	0.938
	X17	3	Average amount of loan	0.909	0.972
	X18	2	Maximum number of delays in days	0.794	-
Shareholder data	X19	2	Number of credit applications	0.820	-

2.2.3. Summary of feature selection

From the missing/zero values and correlation analysis, we can see that many input variables in the dataset are not significant, and we could reduce the number of features from 127 to 57, which means that 70 variables have been eliminated. In other words, we found that more than 55% of the variables were insignificant or at least could not be good predictors of default among approved credit applications. Table 2 refers to the number of variables (financial and non-financial) after these analyses.

Table 2. Number of input variables (financial and non-financial) in each data group

Data Group	# All Input Variables	# Financial	# Non-Financial
Applicant's data	10	4	6
Corporate data	23	21	2
Shareholder data	17	6	11
Credit history	7	5	2
Total	57	36	21

2.3. Subsets and default

2.3.1. Creating and selecting subsets

Although we reduced the number of variables with too many missing values, we could not avoid having missing values in our dataset because, for some customers, one or more data groups do not concern them. Thus, we propose to use subsets based on the available data group. We first create a subset using only the features from a group or groups of data. Then, we remove rows with at least one missing entry from the subsets. We applied these steps to create 16 subsets with no missing values. Table 3 shows the number of rows cleared of missing values for each of the sixteenth subsets.

Table 3. Number of rows in each subset with no missing values

Subset	Case	Subset	# Rows
1	0000	-	0
2	0001	Applicant's data	78379
3	0010	Credit history	28151
4	0011	Credit history + Applicant's data	28151
5	0100	Shareholder data	45564
6	0101	Shareholder data + Applicant's data	45564
7	0110	Shareholder data + Credit history	7889
8	0111	Shareholder data + Credit history + Applicant's data	7889
9	1000	Corporate data	43188
10	1001	Corporate data + Applicant's data	43188
11	1010	Corporate data + Credit history	8193
12	1011	Corporate data + Credit history + Applicant's data	8193
13	1100	Corporate data + Shareholder data	36595
14	1101	Corporate data + Shareholder data + Applicant's data	36595
15	1110	Corporate data + Personal data + Credit history	6844
16	1111	Corporate data + Shareholder data + Credit history + Applicant's data	6844

From Table 3, we can conclude that we may have 16 subsets, but not all are significant. The applicant's data group does not decrease the number of rows when combined with other data groups. Indeed, we can ignore cases 3, 5, 7, 9, 11, 13, and 15 and maintain cases 4, 6, 8, 10, 12, 14, and 16. The first case is excluded because it does not contain any data groups. In addition, we will not use the second subset because it considers the applicant's data only, which is insufficient to decide about any applicant, meaning we have seven possible combinations of features.

To better understand what was done and the meaning of each subset, we drew the Venn diagram of four circles, referring to the four groups of data we have in our primary dataset (Figure 4). The larger circle in the diagram refers to the applicant's data because each customer has this data group. However, other data groups are available to some customers and unavailable to others. Thus, the three intersecting circles refer to corporate data, shareholder data, and credit history.

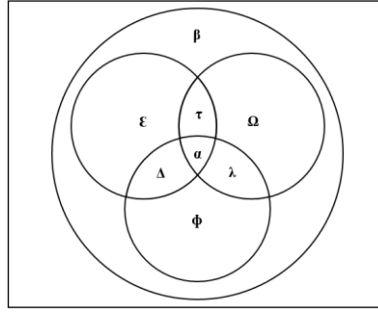


Figure 4. Venn diagram

Table 4 shows each subset in terms of the parameters shown on the Venn diagram.

Table 4. Subsets based on the parameters of the Venn diagram

Subset	Parameters Based on Diagram	Number of Rows
1	$\Omega + \tau + \alpha + \lambda$	43188
2	$\Phi + \Delta + \alpha + \lambda$	45564
3	$\varepsilon + \tau + \alpha + \Delta$	28151
4	$\Delta + \alpha$	7889
5	$\lambda + \alpha$	36595
6	$\tau + \alpha$	8193
7	α	6844
Entire Dataset	$\beta + \Omega + \Phi + \varepsilon + \tau + \alpha + \lambda + \Delta$	78379

2.3.2. Default and non-default in each selected subset

As mentioned in the previous section, we will consider using combinations of features instead of considering all features simultaneously. Table 5 shows the number of rows, non-default and default cases in each subset, and the percentage of default in each subset. This table also demonstrates that each combination results in an imbalanced subset. This type of dataset has some classes, some have few instances, and some have many instances, but the classes with minority cases are often the classes of interest (Zhu et al., 2017). In another definition, an imbalanced dataset is a dataset where the classes are far from available with an equal number of instances (Chawla et al., 2002).

Table 5 also informs us that Subset 3 has the minimum default percentage compared to the other subsets, which is significant because this subset refers to regular customers of the Turkish financial institution. Therefore, if a customer received a loan from the financial institution before their last loan from the same financial institution, then they are less likely to default compared to new customers. However, this does not mean a regular customer will not default after receiving another loan.

Table 5. Non-default and default cases in each subset

No	Subset	# Rows	# Non-default	# Default	Default Percentage
1	Corporate data + Applicant's data	43188	41589	1599	3.70%
2	Shareholder data + Applicant's data	45564	43698	1866	4.09%
3	Credit history + Applicant's data	28151	28072	79	0.28%
4	Shareholder data + Credit history + Applicant's data	7889	7829	60	0.76%
5	Corporate data + Shareholder data + Applicant's data	36595	35270	1325	3.62%
6	Corporate data + Credit history + Applicant's data	8193	8119	74	0.90%
7	Corporate data + Shareholder data + Credit history + Applicant's data	6844	6788	56	0.82%
	Entire Dataset	78379	75515	2864	3.65%

2.4. Credit risk assessment

2.4.1. Sampling methods

Because we have imbalanced subsets, we use under-sampling, oversampling, and synthetic minority oversampling techniques to balance the instances in each subset. We also use random sampling, but only to see the usefulness of other sampling techniques when dealing with an unbalanced dataset.

- *Random sampling:* This simple sampling method was used to randomly divide each subset into a training set (75%) and a test set (25%). Table 6 lists the exact number of default and non-default examples among the training and testing sets for each of the seven subsets when using the random sampling method.

Table 6. Size of training and test sets when using random sampling

Subset	Training set size	Non-default in training set	Default in training set	Test set size	Non-default in test set	Default in test set
1	32392	31192	1200	10796	10397	399
2	34174	32774	1400	11390	10924	466
3	21114	21054	60	7037	7018	19
4	5917	5872	45	1972	1957	15
5	27447	26453	994	9148	8817	331
6	6146	6090	56	2047	2029	18
7	5133	5091	42	1711	1697	14

- *Under-sampling:* is a resampling technique that selects only a few instances from the majority class to obtain a balanced sample of instances (Zhou, 2013). Therefore, under-sampling reduces the number of instances in the majority class (Shelke et al., 2017). This reduction is done randomly, as we use random under-sampling in this work. In this case, the test set (25%) is unchanged; thus, only the training set is balanced using this sampling technique. Table 7 shows the size of the training and test sets when using the under-sampling technique.

Table 7. Size of training and test sets when using under-sampling

Subset	Training set size	Non-default in training set	Default in training set	Test set size	Non-default in test set	Default in test set
1	2400	1200	1200	10796	10397	399
2	2800	1400	1400	11390	10924	466
3	120	60	60	7037	7018	19
4	90	45	45	1972	1957	15
5	1988	994	994	9148	8817	331
6	112	56	56	2047	2029	18
7	84	42	42	1711	1697	14

- *Oversampling*: refers to increasing the number of examples of the minority class that can be obtained by generating new samples or duplicating the original minority class instances (Mohammed et al., 2020). In this work, we randomly duplicate the default instances in the training set to get a balanced dataset, and the test set remains unchanged. Table 8 refers to the number of defaults and non-defaults in the training and test sets when the oversampling method is used.

Table 8. Size of training and test sets when using oversampling

Subset	Training set size	Non-default in training set	Default in training set	Test set size	Non-default in test set	Default in test set
1	62384	31192	31192	10796	10397	399
2	65548	32774	32774	11390	10924	466
3	42108	21054	21054	7037	7018	19
4	11744	5872	5872	1972	1957	15
5	52906	26453	26453	9148	8817	331
6	12180	6090	6090	2047	2029	18
7	10182	5091	5091	1711	1697	14

- *Synthetic Minority Oversampling Technique (SMOTE)*: is widely used in the literature to generate additional samples in cases of data shortages in the minority class (Elreedy and Atiya, 2019). The extra examples are generated with the requirement that they belong to one of the nearest neighbors of the dataset (Elreedy and Atiya, 2019). To synthetically generate a data point, a vector must be selected from the nearest neighbors, and then that vector must be multiplied by a random number between 0 and 1; finally, the product should be added to an unmodified data point in the dataset, and the sum will be the new data point (Shelke et al., 2017). We generate synthetic instances of the minority class using the SMOTE function in the R language. We used SMOTE to create the default cases and added or reduced a few non-default cases to balance the number of instances of each class. Table 9 shows the number of default and non-default instances after using this sampling technique.

Table 9. Size of training and test sets when using SMOTE

Subset	Training set size	Non-default in training set	Default in training set	Test set size	Non-default in test set	Default in test set
1	62400	31200	31200	10796	10397	399
2	64540	32340	32200	11390	10924	466
3	42028	21088	20940	7037	7018	19
4	11803	5908	5895	1972	1957	15
5	51688	25844	25844	9148	8817	331
6	12159	6111	6048	2047	2029	18
7	10137	5097	5040	1711	1697	14

2.4.2. Classifiers

In order to obtain the best possible results, we applied six different classifiers: Random Forest, Naïve Bayes, Logistic Regression, Support Vector Machine, Decision Tree, and K-Nearest Neighbors.

- *Random Forest (RF)*: is a tree-based algorithm that gives the average prediction based on the predictions obtained from an ensemble of trees (Schonlau and Zou, 2020). The use of this algorithm for classification purposes works based on the majority of votes of the constructed trees, with each tree voting for a single class (Ishwaran, 2015). For instance, in the case of a binary classification task, if the majority of the trees vote for the label "1" and not "0", then the predicted label for the case will be "1". These trees must contain some variables for their construction, usually the square root of the total number of variables in a dataset for classification purposes (Probst et al., 2019).
- *Naive Bayes (NB)*: is a simple and computationally inexpensive algorithm (Kaur and Oberai, 2014). This algorithm depends on Bayes' theorem (Langarizadeh and Moghbeli, 2016). As the NB classifier is based on calculated probabilities, it is a probabilistic method to classify instances of different classes (Yager, 2006). Besides, NB is built on the assumption that all attributes are independent of each other (Langarizadeh and Moghbeli, 2016; Chen et al., 2020).
- *Logistic Regression (LR)*: is a powerful tool to study how independent variables affect a dependent variable by quantifying their contribution to the output (Stoltzfus, 2011). LR can only work when the dependent variable has two classes, such as a binary variable (Tripepi et al., 2008).
- *Support Vector Machine (SVM)*: is an algorithm that tries to find a hyperplane that can effectively separate one class from another (Mammone et al., 2009). The optimal hyperplane is the one that can separate instances of two classes with the maximum margin (Hearst et al., 1998; Mammone et al., 2009). SVM can solve linear and nonlinear classification problems through its kernel functions (Mammone et al., 2009). The kernel function is a mathematical scheme that allows the SVM algorithm to project data into a higher dimensional space (Noble, 2006).
- *Decision Tree (DT)*: is based on a recursive process to establish the classification rules (Quinlan, 1990). The repetitive partitioning process is done according to the importance of the

discriminating features (De Ville, 2013). Two measures are commonly used to assess how impure or inhomogeneous the data is, namely the Gini index and the entropy measure (Kingsford and Salzberg, 2008).

- *K-Nearest Neighbor (KNN)*: predicts the outcome based on the proximity of data points (Kurniadi et al., 2018). KNN assumes that if the distance between two objects is short, those objects are more likely to be similar (Meng et al., 2007).

2.4.3. Evaluation metrics

Finally, we use three metrics: sensitivity $[TP / (TP + FN)]$, specificity $[TN / (TN + FP)]$ and accuracy $[(TP + TN) / (TP+TN+FP+FN)]$ to evaluate the performance of each classifier with each sampling method. In our case, the positive class corresponds to instances labeled with 0, while the negative class corresponds to instances labeled with 1. Considering just one of these metrics can be misleading; therefore, we compare the results in the next chapter by considering the three metrics to assess the model's performance. We can have a sensitivity between 90 and 100%, which means that the majority or positive class was well predicted; however, the specificity can be between 0 and 50%, which means that the minority or negative class was not well predicted. For accuracy, it is usually high if the sensitivity is high or low if the sensitivity is low. Thus, accuracy is not a reliable metric for an imbalanced dataset. It is used in this work to check the overall performance of the models, but sensitivity and specificity are used to interpret the results.

3. Results

In this section, we report the best results using each sampling method for each subset, except for random sampling, because no classifier among those used could simultaneously provide a value equal to 50% or more for sensitivity and specificity. However, the other three sampling methods, under-sampling, oversampling, and SMOTE, were able to reduce the bias towards only one of the classes. Although some algorithms led to roughly the same results, we report only one classifier as the best, considering that the two parameters, sensitivity and specificity, are higher together, the better. Table 10 lists the best classifier for each sampling method and the sensitivity, specificity, and accuracy values.

Table 10. Best classifier with each sampling method

Subset	Sampling Method	Best Classifier	Sensitivity	Specificity	Accuracy
1	Under-sampling	RF	71.96%	75.69%	72.10%
	Oversampling	LR	83.44%	52.63%	82.30%
	SMOTE	LR	78.02%	55.64%	77.20%
2	Under-sampling	RF	73.43%	78.33%	73.63%
	Oversampling	SVM	75.01%	69.31%	74.78%
	SMOTE	LR	79.38%	62.45%	78.68%
3	Under-sampling	LR	79.64%	77.78%	79.63%
	Oversampling	DT	87.35%	68.42%	87.30%
	SMOTE	DT	89.54%	63.16%	89.47%
4	Under-sampling	RF	67.14%	66.67%	67.14%
	Oversampling	DT	86.41%	60.00%	86.21%
	SMOTE	SVM	79.56%	66.67%	79.46%
5	Under-sampling	LR	81.44%	66.47%	80.89%
	Oversampling	LR	83.86%	62.84%	83.10%
	SMOTE	LR	81.60%	62.54%	80.91%
6	Under-sampling	RF	68.90%	77.78%	68.98%
	Oversampling	SVM	82.60%	66.67%	82.46%
	SMOTE	SVM	84.48%	72.22%	84.37%
7	Under-sampling	RF	62.05%	78.57%	62.19%
	Oversampling	LR	84.03%	64.29%	83.87%
	SMOTE	LR	87.39%	57.14%	87.14%

4. Discussion

The results reported in Section 3 can be considered insignificant, average, or good, depending on the sampling method and the classifier used. In this section, we compare each sampling technique with the other sampling techniques in terms of their effect on the performance of the six classifiers on the majority class and the minority class.

- *Random sampling*

We can notice from Figure 5 that all the classifiers strongly mispredicted one of the classes, especially the minority class, when using random sampling, with a few exceptions for the NB classifier. In other words, classifiers were biased towards a single class, so none of the results from this sampling technique can be accepted as fair or good.

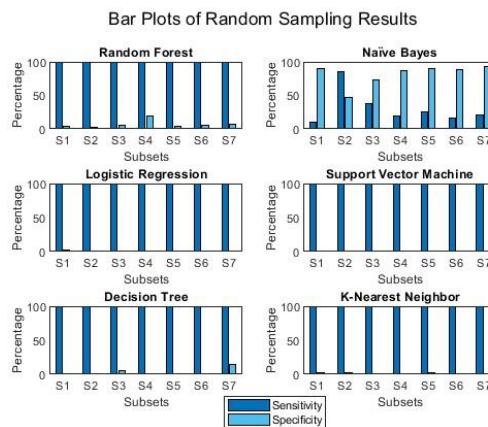


Figure 5. Bar plots of random sampling results with the six classifiers

- *Under-sampling*

The under-sampling method effectively reduced the bias in favor of the minority class compared to random sampling. It gave significantly better results than the previous sampling method (Figure 6). We can also see from the figure that the NB is still biased towards the minority class for most subsets, which is explained by the low sensitivity and medium to high specificity. In contrast, the other classifiers, RF, LR, SVM, DT, and KNN, gave more balanced results when comparing sensitivity to specificity or vice versa.

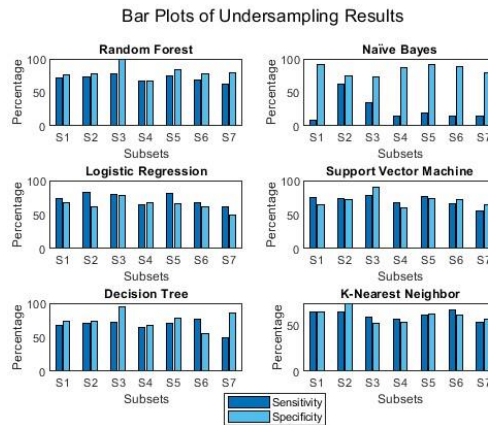


Figure 6. Bar plots of under-sampling results with the six classifiers

- *Oversampling*

The oversampling technique could also increase the classifiers' performance, reduce the bias towards one of the classes, and provide better results than the random sampling technique. However, this fact mainly applies to LR, SVM, and DT classifiers. Random Forest and K-Nearest Neighbor still fail to predict the minority class with the oversampling technique. Moreover, NB still fails to predict most instances of the majority class with this sampling technique, except again for Subset 2. When we compare oversampling to under-sampling, we can say that specificity is often greater than sensitivity when using under-sampling. In contrast, sensitivity was often greater than specificity when using oversampling. In other words, we can say that based on Figures 5 and 6, under-sampling was better at predicting the minority class than oversampling. Still, oversampling was better at predicting the majority class. Nevertheless, it is difficult to decide whether the under-sampling approach is better than the oversampling technique or vice versa, especially since the specificity and sensitivity values are often close to each other, considering the best results obtained from each sampling method and for each of the seven subsets. We must not ignore that the majority class is also important because if we classify a non-default instance as a default instance, the financial institution may lose a customer who could be profitable for its business. On the other hand, if an event of default is mistakenly classified as non-default, it can harm the financial institution.

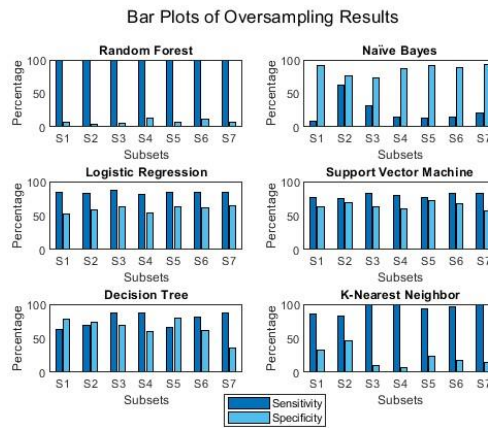


Figure 7. Bar plots of oversampling results with the six classifiers

- *SMOTE*

SMOTE was better at predicting both classes relatively than random sampling; however, this technique that adds synthetic instances of the minority class could not remove the bias towards one class with all classifiers and for all subsets. Figure 8 shows that LR and SVM could simultaneously provide fair sensitivity and specificity for all subsets. Yet, this observation does not apply when checking RF, NB, DT, and KNN subplots. When comparing SMOTE to under-sampling and oversampling, it is again complicated to favor one sampling technique over another because the best results, as reported in Section 3, are very close regarding sensitivity and specificity for each subset.

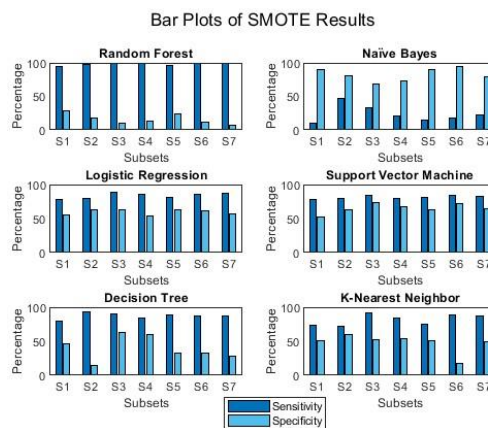


Figure 8. Bar plots of SMOTE results with the six classifiers

Table 11 reports the best combined technique, including the sampling method and classifier, which led to each subset's best sensitivity and specificity. We used Table 10, which includes the best classifier for each sampling method and each subset, to compare the values of these two metrics.

Table 11 shows that oversampling and SMOTE performed better in predicting the majority class, while under-sampling performed better for all subsets in predicting the minority class. This table also tells us that the classifier's performance depends on the sampling method and the subset used. Thus, only the

classifier cannot be judged as bad or good without considering the sampling method used and the dataset type, whether unbalanced or balanced.

Table 11. Best combined technique based on sensitivity and specificity

Subset	Best Technique for the Highest Sensitivity	Best Technique for the Highest Specificity
1	Oversampling + LR	Under-sampling + RF
2	SMOTE + LR	Under-sampling + RF
3	SMOTE + DT	Under-sampling + LR
4	Oversampling + DT	Under-sampling + RF and SMOTE + SVM
5	Oversampling + LR	Under-sampling + LR
6	SMOTE + SVM	Under-sampling + RF
7	SMOTE + LR	Under-sampling + RF

Additionally, for most subsets and processes, NB performed well for the minority class and poorly for the majority class. Therefore, this algorithm predicted that most cases were default instances, and it strongly failed to predict the majority class, which means that this classifier is not reliable in our case.

5. Conclusion

In this article, we based our work on the corporate credit dataset of a Turkish financial institution to assess credit risk and demonstrate the three crucial challenges related to credit datasets. First, the variables in the dataset were broadly categorized into input, output, information, and irrelevant variables. Based on this classification, we have identified the variables to be selected as features to evaluate credit risk. These features were further investigated and reduced based on missing/zero value analysis and correlation analysis. Since we had many missing values in many input variables that did not occur accidentally, we divided our dataset into seven subsets based on the data groups available for each customer.

Then we applied four different sampling methods (random sampling, under-sampling, oversampling, and SMOTE); three considered instance balancing. For each subset, we predicted the output variable that refers to the default or non-default using six classifiers: RF, NB, LR, SVM, DT, and KNN.

With the random sampling technique, most classifiers predicted that all or most cases would belong to the majority class, which was wrong. The other sampling techniques were fundamental to overcoming the problem of biased predictions due to the unbalanced nature of the dataset. Under-sampling, oversampling, and SMOTE reduced the bias toward a single class, but these results vary from classifier to classifier. With these sampling methods and some classifiers, we could simultaneously achieve at least greater than 50% sensitivity and specificity for each subset (Table 10). However, the sensitivity did not exceed 79% when classifiers did not ignore negative or positive instances for any of the seven subsets. We can conclude that the default was insufficiently predicted, which may be due to other measurable or non-measurable factors.

Improving sensitivity and specificity, adding variables from companies' financial statements to our models, and adjusting monetary amounts for the effect of inflation on the local currency should be the main goals of further work on the same dataset type.

Acknowledgements

As this article is part of my master's thesis, I would like to express my thanks and gratitude to my thesis supervisor, Prof. Dr. Ayşe Hümeysra Bilge. Without her continued help and guidance, this work would not have been possible. I would also like to thank the Turkish financial institution, which preferred to remain anonymous, for allowing me to use its corporate credit dataset in this article.

Statement of Conflict of Interest

There is no conflict of interest.

Author's Contributions

The author contributed to this manuscript 100%.

Abbreviations and Symbols

DT	Decision Tree
\mathcal{E}	Applicants s who have credit history and applicant's data only ($ \mathcal{E} = 18913$)
FN	False negatives
FP	False positives
KKB	Kredi Kayıt Bürosu meaning Credit Registration Office in English
KNN	K-Nearest Neighbors
KVKK	Kişisel Verileri Koruma Kurumu meaning Personal Data Protection Authority in English
LR	Logistic Regression
ML	Machine Learning
NB	Naïve Bayes
Φ	Applicants who have shareholder data and applicant's data only ($ \Phi = 7924$)
RF	Random Forest
SMOTE	Synthetic minority oversampling technique
SPK	Sermaye Piyasası Kurulu meaning Capital Markets Board in English
SVM	Support Vector Machine
TCMB	Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası meaning Central Bank of the Republic of Türkiye in English
TN	True negatives
TP	True positives

α	Applicants who have all data groups ($\alpha = 6844$)
β	Applicants with only applicant's data or who have at least one missing entry in each of the remaining data groups ($\beta = 7309$)
Δ	Applicants with shareholder data, applicant's data, and credit history but not corporate data ($\Delta = 1045$)
λ	Applicants with corporate data, applicant's data, and shareholder data but not credit history ($\lambda = 29751$)
τ	Applicants with corporate data, applicant's data, and credit history but not shareholder data ($\tau = 1349$)
Ω	Applicants who have corporate data and applicant's data only ($\Omega = 5244$)

References

- Abdou HA., Pointon J. Credit scoring, statistical techniques and evaluation criteria: a review of the literature. *Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management* 2011; 18(2-3): 59-88.
- Chawla NV., Bowyer KW., Hall LO., Kegelmeyer WP. SMOTE: synthetic minority over-sampling technique. *Journal of Artificial Intelligence Research* 2002; 16: 321-357.
- Chen S., Webb GI., Liu L., Ma X. A novel selective naïve Bayes algorithm. *Knowledge-Based Systems* 2020; 192: 105361.
- De Ville B. Decision trees. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics* 2013; 5(6): 448-455.
- Elreedy D., Atiya AF. A comprehensive analysis of synthetic minority oversampling technique (SMOTE) for handling class imbalance. *Information Sciences* 2019; 505: 32-64.
- Ghosh D., Vogt A. Outliers: An evaluation of methodologies. *Joint statistical meetings, July 2012*, page no: 3455-3460, United States.
- Hearst MA., Dumais ST., Osuna E., Platt J., Scholkopf B. Support vector machines. *IEEE Intelligent Systems and Their Applications* 1998; 13(4): 18-28.
- Hodge V., Austin J. A survey of outlier detection methodologies. *Artificial Intelligence Review* 2004; 22: 85-126.
- Ishwaran H. The effect of splitting on random forests. *Machine Learning* 2015; 99(1): 75-118.
- Kaur G., Oberai EN. A review article on Naive Bayes classifier with various smoothing techniques. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing* 2014; 3(10): 864-868.
- Kingsford C., Salzberg SL. What are decision trees?. *Nature Biotechnology* 2008; 26(9): 1011-1013.
- Kurniadi D., Abdurachman E., Warnars HLHS., Suparta W. The prediction of scholarship recipients in higher education using k-Nearest neighbor algorithm. *IOP conference series: materials science and engineering*, 18 April 2018, page no: 012039, Indonesia.
- Kwak SK., Kim JH. Statistical data preparation: management of missing values and outliers. *Korean*

- Journal of Anesthesiology 2017; 70(4): 407-411.
- Langarizadeh M., Moghbeli F. Applying naive bayesian networks to disease prediction: a systematic review. *Acta Informatica Medica* 2016; 24(5): 364.
- Mammone A., Turchi M., Cristianini N. Support vector machines. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics* 2009; 1(3): 283-289.
- Meng Q., Cieszewski CJ., Madden M., Borders BE. K nearest neighbor method for forest inventory using remote sensing data. *GIScience & Remote Sensing* 2007; 44(2): 149-165.
- Mohammed R., Rawashdeh J., Abdullah M. Machine learning with oversampling and undersampling techniques: overview study and experimental results. 11th international conference on information and communication systems (ICICS), 07-09 April 2020, page no: 243-248, Jordan.
- Noble WS. What is a support vector machine?. *Nature Biotechnology* 2006; 24(12): 1565-1567.
- Probst P., Wright MN., Boulesteix AL. Hyperparameters and tuning strategies for random forest. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery* 2019; 9(3): e1301.
- Quinlan JR. Decision trees and decision-making. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* 1990; 20(2): 339-346.
- Schonlau M., Zou RY. The random forest algorithm for statistical learning. *The Stata Journal* 2020; 20(1): 3-29.
- Shelke MS., Deshmukh PR., Shandilya VK. A review on imbalanced data handling using undersampling and oversampling technique. *Int. J. Recent Trends Eng. Res* 2017; 3(4): 444-449.
- Stoltzfus JC. Logistic regression: a brief primer. *Academic Emergency Medicine* 2011; 18(10): 1099-1104.
- Sun S., Huang R. An adaptive k-nearest neighbor algorithm. Seventh international conference on fuzzy systems and knowledge discovery, 10-12 August 2010, page no: 91-94, China.
- Tripepi G., Jager KJ., Dekker FW., Zoccali C. Linear and logistic regression analysis. *Kidney International* 2008; 73(7): 806-810.
- Walfish S. A review of statistical outlier methods. *Pharmaceutical Technology* 2006; 30(11): 82.
- Weissova I., Kollar B., Siekelova A. Rating as a useful tool for credit risk measurement. *Procedia Economics and Finance* 2015; 26: 278-285.
- Yager RR. An extension of the naive Bayesian classifier. *Information Sciences* 2006; 176(5): 577-588.
- Zhou L. Performance of corporate bankruptcy prediction models on imbalanced dataset: The effect of sampling methods. *Knowledge-Based Systems* 2013; 41: 16-25.
- Zhu T., Lin Y., Liu Y. Synthetic minority oversampling technique for multiclass imbalance problems. *Pattern Recognition* 2017; 72: 327-340.

Farklı Sodyum Bentonit Seviyelerinin Balkabağı Atığı Silajının Kimyasal Bileşimi, Mikrobiyolojik Kompozisyon ve Laktik Asit Seviyeleri Üzerine Etkisi

Erinç GÜMÜŞ¹, Selim SIRAKAYA², Gözde KILINÇ³

¹Aksaray University Eski Vocational School Department of Veterinary, Aksaray

²Aksaray University Aksaray Technical Sciences Vocational School, Department of Food Processing, Aksaray

³Amasya University, Suluova Vocational School, Department of Food Processing, Amasya

¹<https://orcid.org/0000-0002-6839-8428>

²<https://orcid.org/0000-0003-2733-1726>

³<https://orcid.org/0000-0002-8667-3390>

*Sorumlu yazar: erincgumus@aksaray.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 13.08.2023

Kabul tarihi: 17.01.2024

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Balkabağı
Bentonit
Laktik asit
Mikroflora
Silaj

ÖZ

Balkabağı atığı silaj olarak hayvan beslemesinde kullanılabilen ancak düşük kuru madde içeriği nedeniyle silolanma işlemi olumsuz etkilenmekte ve mikotoksinlerin üremesine neden olabilmektedir. Sodyum bentonit (SB), yüksek su absorpsiyon kapasitesine sahip ve ruminantlar ile tek mideli hayvanlar için pelet yem üretiminde kullanılan bir kil mineralidir. Bu çalışmanın amacı, balkabağı atığı silajına iki farklı SB seviyesinin eklenmesinin silaj örneklerinin kimyasal bileşimi, silaj kalitesi, mikrobiyota ve laktik asit seviyeleri üzerine etkisinin incelenmesidir. Balkabağı atıkları, %0, %1 ve %2 oranlarında SB ilave edilerek üç ay boyunca silolanmıştır. Analizlerin sonucunda, SB ilavesinin ham protein, suda çözünür karbonhidrat, Fleig skoru ve laktik asit seviyelerini önemli ölçüde azalttığını, ancak ham kül, kuru madde içeriği ve pH değerlerini arttırdığı görülmüştür. Maya-küf ve laktik asit bakterileri koloni sayıları en yüksek seviyede kontrol grubunda bulunmuştur. Bununla birlikte, en düşük laktik asit bakteri ve maya-küf koloni seviyeleri %1 SB ilave edilen silajlarda görülmüştür. Bu nedenle, SB'nin silaj katkısı olarak kullanılmasının maya ve küf üremesini azaltabildiği, ancak aynı zamanda silajın besin değerini ve laktik asit seviyesini de düşürdüğü belirlenmiştir. Sonuç olarak, çalışmadan elde edilen bulgulara dayanarak balkabağı atığının silolanmasında kullanılan farklı düzeylerdeki SB'nin silajda maya-küf hariç diğer önemli parametreleri negatif olarak etkilediğinden dolayı kullanımı önerilmemektedir. İleride yapılacak araştırmalar, farklı silaj tipleri için optimal SB seviyesini belirleyerek kalite ve raf ömrünü arttırmayı inceleyebileceği düşünülmektedir.

The Effect of Different Sodium Bentonite Levels on Chemical Composition, Microbiological Composition and Lactic Acid Levels of Pumpkin Waste Silage

Research Article

Article History:

Received: 13.08.2023

Accepted: 17.01.2024

Published online: 11.03.2024

Keywords:

Bentonite
Lactic acid
Microbiota
Pumpkin
Silage

ABSTRACT

Pumpkin waste could be used as silage in animal nutrition, but due to its low dry matter content, it negatively affects the ensiling process and may cause the growth of mycotoxins. Sodium bentonite (SB) is a clay mineral with high water absorption capacity and is used in the production of pellet feed for ruminants and monogastric animals. The aim of this study was to investigate the effect of adding two different SB levels to pumpkin waste silage on the chemical composition, silage quality, microbiota and lactic acid levels of silage samples. Pumpkin wastes were ensiled for three months by adding SB at 0%, 1% and 2%. The results of the analyses show that the addition of SB significantly decreased crude protein (CP), water soluble carbohydrate (WSC), Fleig score and lactic

acid levels, but increased crude ash (CA), dry matter content (DM) and pH values. The highest colony counts of yeast-mold and lactic acid bacteria were found in the control group. However, silages supplemented with 1% SB had the lowest levels of lactic acid bacteria and yeast-mold colony levels. Therefore, it was determined that the use of SB as a silage additive can reduce yeast and mold growth, but it also reduces the nutritional value and lactic acid level in silage. In conclusion, based on the findings of the study, the use of different levels of SB in pumpkin waste ensiling is not recommended because it negatively affects other important parameters except yeast-mold in silage. Future research could investigate the optimal level of SB for different silage types to improve quality and shelf life.

To Cite: Gümüş E., Sırakaya S., Kılınç G. The Effect of Different Sodium Bentonite Levels on Chemical Composition, Microbiological Composition and Lactic Acid Levels of Pumpkin Waste Silage. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(2): 855-865.

1. Introduction

The escalating costs of production, growing concerns over environmental degradation, and other factors have resulted in animal nutritionists and producers turning their attention towards the utilization of agricultural by-products and waste materials to meet the nutritional needs of livestock (Ganji Jamehshooran et al., 2022). Pumpkin (*Cucurbita moschata Duschene*) fruit is a rich source of easily digestible carbohydrates, minerals, carotenoids, and vitamins, making it a valuable food for human consumption (Halik et al., 2014). Nonetheless, a significant quantity of pumpkin remains in the fields after the harvest and separation of seeds (Ulger et al., 2020). The leftover material, pumpkin waste, has a high nutritional value and could be utilized as animal feed in both fresh and preserved forms, such as through ensiling, to prolong their shelf life and enable their use in animal diets over extended periods (Łozicki et al., 2015; Ganji Jamehshooran et al., 2022). However, one of the primary challenges associated with ensiling pumpkin waste is its low dry matter content, which can adversely affect the ensiling process and promote mycotoxin production in the resulting silage (Pirinç et al., 2020). To increase dry matter in pumpkin silage, several absorbents were used in early studies such as dried sugar beet (Ülger et al., 2020), pomegranate pulp (Ülger et al., 2020), maize fodder (Ülger et al., 2020), wheat straw (Pirinç et al., 2020; Konca et al., 2021) and alfalfa hay (Ülger et al., 2020). The materials used to increase dry matter in pumpkin silages in previous research were rich in cellulose, which is a natural polymer that facilitates hydrogels with the water content of feed with its hydroxyl groups (Winarti et al., 2018).

Clay minerals, particularly bentonite and montmorillonite, have been commonly employed as binders in pellet feed manufacturing for ruminants and monogastric animals (Damato et al., 2022). Bentonite is commonly used for its high water-absorbing capacity, which is attributed to its surface charge and surface area. Owing to the negative charges on its surface, bentonite exhibits strong attraction to positively charged water molecules, allowing it to hold a significant amount of water (Murray, 2006). However, a very limited number of studies (Woolford et al., 1983; Khorvash et al., 2006) have been carried out to determine the effects of sodium bentonite as an adsorbent in silage production.

Although most cellulose-rich feedstuffs have been used to increase the dry matter content of pumpkin silage and improve silage quality in previous studies, no study has evaluated the effects of inorganic materials on pumpkin silage quality. In this study, we aimed to investigate the effects of adding two different concentrations (1% and 2%) of sodium bentonite (SB) to pumpkin waste silage on its chemical composition, silage quality, microbiota, and lactic acid levels.

2. Material and Methods

Approximately 12 kg of pumpkin waste, which includes the fleshy parts of the skin, seeds, fibrous strands, and some pulp parts of the fruit, was procured from local producers in Aksaray, Türkiye. This waste was brought to the laboratory in 2 h, chopped into pieces measuring 2-4 cm and divided into three parts. One part of the waste was ensiled without any supplementation, whereas the other two parts were ensiled with 1% and 2% SB supplementation, respectively. The silage additive doses were determined based on Fransen and Strubi (1998). All samples were ensiled in polyethylene vacuum bags and the experiment was conducted in four replicates.

Table 1. Chemical structure (DM basis) of fresh pumpkin waste before ensiling

Components	%
Dry matter	9.39
Crude ash	11.31
Soxhlet extract	10.56
Crude fibre	19.17
Crude protein	23.56
Water soluble carbohydrates	5.65

Table 2. Chemical structure of sodium bentonite

Components*	%
Silicon dioxide (SiO ₂)	58.53
Aluminum oxide (Al ₂ O ₃)	14.73
Calcium carbonate (CaCO ₃)	9.95
Iron (III) oxide (Fe ₂ O ₃)	5.09
Magnesium oxide (MgO)	3.18
Sodium oxide (Na ₂ O)	1.76
Potassium oxide (K ₂ O)	1.25
Sulphur trioxide (SO ₃)	0.92
Titanium dioxide (TiO ₂)	0.72
Other Minerals	3.87
Total	100.00

*Provided from manufacturer company

The chemical composition of the pumpkin waste is presented in Table 1, and the SB content is listed in Table 2. The experimental silages were stored for three months. After the bags were opened and 40 g silage samples from each bag were diluted with 360 ml distilled water and filtered with Whatman No.1 paper. The pH of the filtrate was determined using a pH glass electrode (HI 1230 B, Hanna Instruments). The filtrate was also utilized for the analysis of water-soluble carbohydrates, whereas for lactic acid analysis, it was diluted by a factor of 1/100. The Silage Fleig score was calculated using the following equation: $220 + (2 \times \text{DM}\% - 15) - (40 \times \text{pH})$. Water-soluble carbohydrate levels of the silages were determined using the method described by Dubois et al. (1951). The WSC values were multiplied by 10 and divided by the DM. Similarly, the lactic acid content was determined following the method described by Barnett (1951). The obtained values were multiplied by 10 and divided by the DM of the silage samples to determine the lactic acid content (g/kg DM).

Upon opening the silage samples, a 10 g portion was diluted with 90 ml of peptone water for microbiological cultivation using the spread plate technique. The medium was poured into Petri dishes, according to the manufacturer's instructions. Yeast mold, enterobacteria, and lactic acid bacteria were quantified in the samples. The detection of yeast mold, enterobacteria, and lactic acid bacteria colonies was established according to Sirakaya, 2023, while clostridium colonies were determined based on the method provided in The resulting colonies were then counted. Colony-forming units were counted at the end of the incubation period using the 'ImageJ 1.53k' program, and the results are reported in the table on a logarithmic basis.

The chemical compositions of the fresh material and silage were determined according to AOAC (2000). After drying the silage samples at 105°C for 24 h to obtain the dry matter content, the remaining pumpkin waste silages were ground and dried in an oven at 60°C until a constant weight was reached (approximately 48 h). The ground samples were then placed in Ziplock bags for chemical analyses. The samples were then subjected to ash analysis by ashing them in a 550°C ash furnace (NÜVE). The Soxhlet extract was extracted from the samples using N-hexane in a Soxhlet apparatus. The nitrogen (N) content of the samples was determined using Kjeldahl's method, and the resulting N content was multiplied by a factor of 6.25 ($N \times 6.25$) to obtain the crude protein (CP) content. Crude fiber levels were determined according to the method described by Karabulut and Canbolat (2005).

All obtained data were subjected to analysis of variance (ANOVA) using the General Linear Model of SPSS. Significant differences between individual means were identified using Tukey's multiple-range test. Differences were considered significant if $p < 0.05$ or $p < 0.001$. Polynomial contrasts were conducted for wilting duration to assess the linear and quadratic responses of wilting duration on the traits of ensiled oats. Data were analyzed using SPSS (version 22.0, IBM Corp., Armonk, NY, US).

3. Results and Discussion

Table 1 listed the chemical contents of fresh pumpkin waste. According to the analysis, the DM of fresh pumpkin waste was 9.39%, which is acceptable as very low for the silage-making process. Similar to

our results, Ülger et al. (2020) found 8.98% DM in fresh pumpkin residues and Konca et al. (2021) detected 4.70% DM in fresh pumpkin waste. The dry matter content of the fresh material to be ensiled is an important factor during the ensiling process. A high moisture content (above 75 %) is generally considered unfavorable for ensiling because it creates a favorable environment for the growth of *Clostridium* bacteria. Fresh pumpkin has very low dry matter, and most studies on pumpkin silages have focused on reducing the amount of water and increasing DM to improve silage quality (Pirinç et al., 2020; Konca et al., 2021).

The chemical composition of the silage samples was shown in Table 3. No significant differences were found in terms of crude fiber or ether extract ($p>0.05$). However, significant differences were observed in terms of crude protein, crude ash, and WSC content between pumpkin waste silage prepared with different ratios of SB ($p<0.05$). The highest CP and WSC values were observed in silages supplemented with 0% SB. SB supplementation in pumpkin waste silage significantly reduced CP content. In particular, pumpkin waste silage supplemented with 1% SB had the lowest CP level. Similar to our findings, Fransen and Strubi (1998) suggested that, 1% SB supplementation in perennial grass silage slightly reduced CP content. In the present study, the development of *Clostridium* spp. increased in silage samples supplemented with 1% SB. Certain strains of clostridia are known to exhibit high proteolytic enzyme activity, which could potentially result in a reduction in soluble nitrogen levels in silage (Kung et al., 2018). This might explain the lower CP levels observed in pumpkin waste silages supplemented with 1% SB.

In the present study, the incorporation of SB also resulted in an elevation of the crude ash proportion in pumpkin waste silages. Likewise, Woolford et al. (1983) found an increase in the ash content of ryegrass silage with SB supplementation. Another study reported that incorporating 100 g/kg zeolite as a silage additive increased the ash ratio in forage silage (Herremans et al., 2019). Bentonite clays are composed of various minerals including silicon, aluminum, calcium, and sodium (Murray, 2006). The minerals in bentonite can be incorporated into the silage material, contributing to its overall ash content. In the current study, increasing the percentage of SB supplementation led to a significant decrease in the WSC levels in pumpkin waste silage. Theng (2012) reported that the basal hydroxyl surface found in clay minerals has the capability of establishing potent hydrogen bonds with polar groups present in polysaccharides and absorbing them thoroughly.

Table 3. Mean values and analysis of variance results of chemical composition of silage groups (DM basis)

Parameters	SB Supplementation (%)				<i>p</i> ***		
	0	1	2	SEM	Linear	Quadric	Combined
Crude protein, %	23.17 ^a	13.05 ^b	19.66 ^{ab}	1.67	0.309	0.011	0.028
Soxhlet extract, %	11.94	10.95	12.00	0.84	0.979	0.614	0.874
Crude fiber, %	16.69	16.37	15.84	0.23	0.834	0.164	0.352
Crude ash, %	13.41 ^b	15.91 ^a	16.32 ^a	0.47	0.003	0.134	0.007
WSC, %	3.75 ^a	3.00 ^{ab}	2.35 ^b	0.23	0.006	0.888	0.018

*WSC: Water soluble carbohydrates

**Data were analyzed using combined (C), linear (L), and quadratic (Q) regression models of SPSS

a-b Means in the same row with no superscript letters after them or with a common superscript letter are not significantly different ($p < 0.05$).

The DM, pH, and Fleig scores of the pumpkin waste silages were given in Table 4. The results indicated that DM ratio was significantly affected by the SB ratio ($p < 0.05$), with the highest DM content observed in silages prepared with 2% SB. Dry matter level in silage is an important indicator of silage quality. Studies have used different additives to increase the dry matter content to improve the silage quality of pumpkin waste, which contains high amounts of water. Piriñç et al. (2020) and Konca et al. (2021) used straw to increase the dry matter content of pumpkin silages. Additionally, Adamović et al. (2020) reported that the inclusion of 1% pyrophyllite could increase the DM levels in maize silage. Bentonite is utilized in various industries as a water binding agent, owing to its remarkable water retention capacity. This property is attributed to the expansion of the interlayer space between its clay sheets through cation exchange, which enables the material to accommodate more water molecules, thereby enhancing its absorption into the clay structure (Barbanti et al., 1997).

Table 4. Mean values and analysis of variance results of dry matter, pH and Fleig scores of silage groups

Parameters	SB Supplementation (%)				<i>p</i> *		
	0	1	2	SEM	Linear	Quadric	Combined
Dry matter, %	11.70 ^b	12.99 ^{ab}	13.65 ^a	0.33	0.090	0.556	0.025
pH	4.02 ^b	4.40 ^a	4.17 ^b	0.05	0.079	0.001	0.020
Fleig score	67.48 ^a	54.97 ^b	65.36 ^a	2.09	0.557	0.004	0.012

*Data were analyzed using combined (C), linear (L), and quadratic (Q) regression models in SPSS.

a-b Means in the same row with no superscript letters after them or with a common superscript letter are not significantly different ($p < 0.05$).

Moreover, the lowest pH levels were recorded in pumpkin waste silages supplemented with 0% and 2% SB; however, the silages prepared with 1% SB had the highest pH levels in the current study ($p < 0.05$). Similarly, Fleig scores were higher in the silage samples with 0% and 2% SB, whereas the silages

prepared with 1% SB had lower Fleig scores ($p<0.05$). Bentonite is renowned for its capacity to buffer pH via cation exchange and is utilized to regulate ruminal pH in ruminants (Wallace and Newbold, 1991). The production of lactic acid by bacteria is closely linked to the presence of soluble polysaccharides in feed materials (Adamović et al., 2020). Bentonite may establish a strong bond with certain soluble carbohydrates in the plant material, thus reducing their availability for fermentation. As a result, the fermentation process may be slowed, leading to reduced production of lactic acid. Additionally, the pH of pumpkin waste silage supplemented with 2% SB was similar to that of the control group. This could potentially be attributed to the capacity of bentonite to adsorb ammonia on exchange sites (Redding, 2013).

Effects of the inclusion of increasing rates of SB on microbial counts were provided in Table 5. Enterobacteria were not detected in any of the tested silage samples. Similarly, no clostridium colony-forming units were observed in the 0% and 2% SB-supplemented samples. However, silage samples supplemented with 1% SB had a slightly higher count of clostridium colony-forming units. Moreover, mold colonies were not detected in the SB-supplemented silage samples in the current study. Bentonite is known for its mold and mycotoxin absorption ability owing to its high surface area and cation exchange capacity, which enables it to adsorb toxins from feed materials (Murray, 2006; Ghofrani Tabari et al., 2018). In the same study, lactic acid bacterial population decreased linearly with SB supplementation in pumpkin waste silage. It is unlikely that bentonite supplementation would directly inhibit lactic acid bacterial production in pumpkin waste silage. However, as mentioned previously, bentonite absorbs carbohydrates that are essential for lactic acid fermentation (Theng, 2012), which could ultimately lead to a decline in the bacterial population.

Table 5. Effect of SB supplementation on microbiological values of pumpkin waste silage, log cfu g⁻¹

Parameters*	SB Supplementation (%)		
	0	1	2
Clostridia	ND	2.42	ND
Enterobacteria	ND	ND	ND
Lactic acid bacteria	3.68	0.54	ND
Yeast	3.51	2.98	3.49
Mold	0.15	ND	ND

*ND: Not detected

The lactic acid content of the pumpkin waste silage samples was represented in Figure 1. Compared with the control group, the amount of lactic acid in DM was reduced linearly by the addition of SB to pumpkin waste silage ($p<0.05$). Ensiling preserves forage through anaerobic lactic acid fermentation by epiphytic LAB, which converts water-soluble carbohydrates to lactic and acetic acids, leading to decreased pH and inhibition of spoilage microorganisms (Weinberg and Muck, 1996). The nutritional

quality of silage is largely influenced by its lactic acid content, as higher levels of lactic acid are generally desirable because of their inhibitory effect on undesirable microbial growth (Kung et al., 2018). In our study, supplementation of pumpkin waste silages with SB led to a linear decrease in the lactic acid content. This finding is consistent with the results reported by Herremans et al. (2019) who observed a reduction in lactic acid levels in ryegrass and red clover silages supplemented with zeolite, as a silage additive. Similarly, Adamović et al. (2020) reported a decrease in the lactic acid content in maize plant silage with the addition of pyrophyllite. However, it is worth noting that the effects of silage additives on lactic acid production vary. Koljajic et al. (2003) reported an increase in lactic acid production in silage samples when zeolite was added during the ensiling of beet pulp. The population of lactic acid bacteria and lactic acid production are closely associated with the amount of WSC present in silage material (Astuti et al., 2013). In our study, WSC content decreased linearly with increasing SB supplementation in pumpkin waste silages. It has also been reported that aluminosilicates such as zeolites can inhibit certain fermentation processes (Herremans et al., 2019). Moreover, lactic acid content was detected in pumpkin waste silage samples supplemented with 2% sodium bentonite; however, no lactic acid bacteria were detected in the medium. Some filamentous fungi and alkaliphilic lactic acid-producing microorganisms (e.g., *Marinilactibacillus psychrotolerans* and *Alkalibacterium psychrotolerans*) can also produce lactic acid from carbohydrates along with lactic acid bacteria (Calabia et al., 2011). This result might be related with this situation.

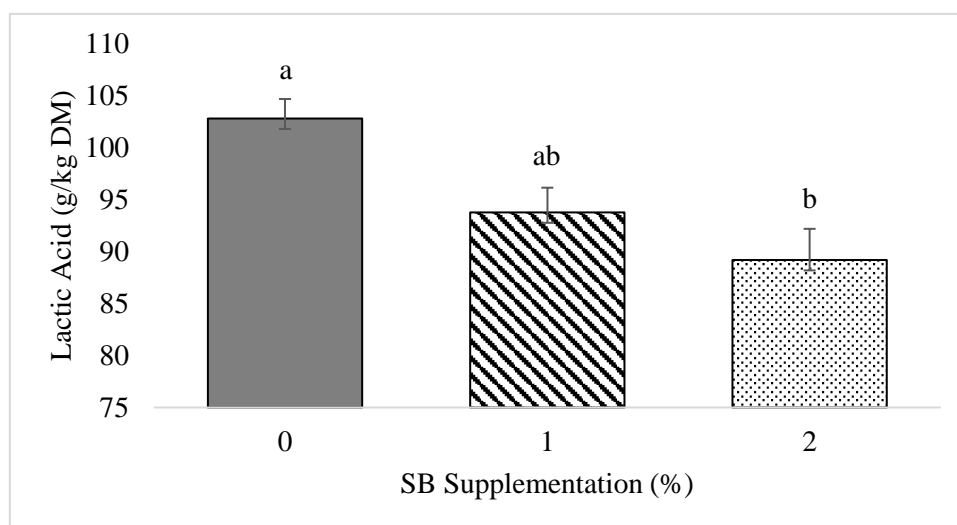


Figure 1. Effect of SB supplementation on lactic acid content of pumpkin waste silage

a-b Means in the same row with no superscript letters after them or with a common superscript letter are not significantly different ($p < 0.05$).

4. Conclusion

The results of this study indicated that the addition of sodium bentonite to pumpkin waste silage affects various aspects of fermentation. Increasing the amount of SB improved the crude ash and dry matter content in pumpkin waste silage. Moreover, supplementation with 1% SB resulted in higher pH values

and lower Fleig scores, likely because of the buffering capacity of bentonite. Furthermore, the adsorption of soluble polysaccharides by bentonite reduced their availability for fermentation, thus slowing down the lactic acid bacteria population and lactic acid production. In conclusion, sodium bentonite supplementation did not improve pumpkin silage quality. In future studies, it would be appropriate to investigate the use of sodium bentonite with different silage additives such as inoculants and water-soluble carbohydrate sources to increase lactic acid production.

Acknowledgments

The CP analyses in this study were conducted at the Hitit University Scientific and Technical Application Research Center (HÜBTUAM). We express our gratitude for their contribution to this study.

Conflict of Interest

The authors of the article declare that there is no conflict of interest.

Author Contributions Statement Summary

The authors declare that they contributed equally to this work.

References

- Adamović M., Stojanović M., Harbinja M., Maslovarić M., Bočarov-Stančić, A., Pezo L. Efficiency investigation of the use of pyrophyllite in ensiling maize plant. *Food and Feed Research* 2020; 47(2): 109–118.
- AOAC. *Official Methods of Analysis of AOAC International 2003; 17th Edition*. Maryland, USA.
- Astuti WD., Widyastuti Y., Ridwan R., Yetti E. Quality of vegetable waste silages treated with various carbohydrate sources. *Media Peternakan* 2013; 36(2): 120–125.
- Barbanti D., D’Orazio M., Versari A. The use of bentonite as a moisture regulating system 1. Study on some sorption properties of bentonites for their potential use in food technology. *Journal of Food Engineering* 1997; 33(1–2): 193–206.
- Barnett AJG. The colorimetric determination of lactic acid in silage. *Biochemical Journal* 1951; 49(4): 527–529.
- Calabia BP., Tokiwa Y., Aiba S. Fermentative production of l-(+)-lactic acid by an alkaliphilic marine microorganism. *Biotechnology Letters* 2011; 33(7): 1429–1433.
- Damato A., Vianello F., Novelli E., Balzan S., Giancesella M., Giaretta E., Gabai G. Comprehensive review on the interactions of clay minerals with animal physiology and production. *Frontiers in Veterinary Science* 2022; 9: 889612.
- Dubois M., Gilles KA., Hamilton JK., Rebers PA., Smith F. A colorimetric method for the determination of sugars. *Nature* 1951; 4265(168): 167–167.

- Fransen SC., Strubi FJ. Relationships among absorbents on the reduction of grass silage effluent and silage quality. *Journal of Dairy Science* 1998; 81(10): 2633–2644.
- Ganji Jamehshooran E., Jafari Khorshidi K., Bayat Kouhsar J. Chemical composition, aerobic stability and fermentation pattern of tomato pomace and pumpkin waste silage using fibrolytic enzymes and lactic acid bacteria. *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture* 2022; 11(1): 47–59.
- Ghofrani Tabari D., Kermanshahi H., Golian A., Majidzadeh Heravi R. In vitro binding potentials of bentonite, yeast cell wall and lactic acid bacteria for aflatoxin B1 and ochratoxin A. *Iranian Journal of Toxicology* 2018; 12(2): 7–13.
- Halik GD., Łozicki A., Koziorzębska A., Dymnicka M., Arkuszewska E. Effect of ensiling pumpkin *Cucurbita maxima* with the addition of inoculant or without it on chemical composition and quality of silages. *Annals of Warsaw University of Life Sciences* 2014; 53: 103–110.
- Herremans S., Decruyenaere V., Beckers Y., Froidmont E. Silage additives to reduce protein degradation during ensiling and evaluation of in vitro ruminal nitrogen degradability. *Grass and Forage Science* 2019; 74(1): 86–96.
- Khorvash M., Colombatto D., Beauchemin KA., Ghorbani GR., Samei A. Use of absorbants and inoculants to enhance the quality of corn silage. *Canadian Journal of Animal Science* 2006; 86(1): 97–107.
- Koljajic V., Djordjevic N., Grubic G., Adamovic M. The influence of zeolite on the quality of fresh beet pulp silages. *Journal of Agricultural Sciences, Belgrade* 2003; 48(1): 77–84.
- Konca Y., Beyzi SB., Kaplan M., Boga M., Kaliber M. Silage quality, aerobic stability, gas production and in vitro digestibility of pumpkin waste silages. 2021 [Preprint]. In review.
- Kung L., Shaver RD., Grant RJ., Schmidt RJ. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science* 2018; 101(5): 4020–4033.
- Łozicki A., Koziorzębska A., Halik G., Dymnick M., Arkuszewska E., Niemiec T., Bogdan J. Effect of ensiling pumpkin (*Cucurbita maxima* D.) with dried sugar beet pulp on the content of bioactive compounds in silage and its antioxidant potential. *Animal Feed Science and Technology* 2015; 206: 108–113.
- Murray HH. Chapter 6 Bentonite applications. In H. H. Murray (Ed.), *Applied Clay Mineralogy* 2020; Vol. 2: pp. 111–130.
- Pirinç A., Özbilgin A., Kahraman O., Polat ES. Çekirdeklik kabak (*Cucurbita pepo* L.) artıkları silajının besin değerlerinin belirlenmesi. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology* 2020; 8(3): 768–772.
- Redding MR. Bentonite can decrease ammonia volatilisation losses from poultry litter: Laboratory studies. *Animal Production Science* 2013; 53(10): 1115.
- Sırakaya S. Chemical, nutritive, fermentative and microbial composition of almond hull silage. *Journal of Applied Animal Research* 2023; 51(1): 17–23.

- Theng BKG. Polysaccharides. *Developments in Clay Science* 2012; Vol. 4: pp. 351–390.
- Ülger İ., Kaliber M., Büyükkiliç Beyzi S., Konca Y. Possible ensiling of pumpkin (*Cucurbitapepo*) residues. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 2020; 44(4): 853–859.
- Wallace RJ., Newbold CJ. Effects of bentonite on fermentation in the rumen simulation technique (Rusitec) and on rumen ciliate protozoa. *The Journal of Agricultural Science* 1991; 116(1): 163–168.
- Weinberg ZG., Muck RE.. New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. *FEMS Microbiology Reviews* 1996; 19: 53-68.
- Winarti C., Kurniati M., Arif AB., Sasmitaloka K., Nurfadila. Cellulose-based nanohydrogel from corncob with chemical crosslinking methods. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 2018; 209: 012043.
- Woolford MK., Wilkinson JM., Cook JE. Investigations on the effect of sodium bentonite and other moisture absorbents on the production of effluent from grass silage. *Animal Feed Science and Technology* 1983; 8(2): 107–118.

Seramik Esaslı Köpük Filtreler ve Uygulamaları: Kısa Bir Derleme

Emine Gizem YILDIZ^{1*}, Nil TOPLAN²

^{1,2} Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 54050, Sakarya

¹<https://orcid.org/0000-0002-7153-8970>

²<https://orcid.org/0000-0003-4130-0002>

*Sorumlu yazar: emine.yildiz20@ogr.sakarya.edu.tr

Derleme

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 26.05.2023

Kabul tarihi: 18.09.2023

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Filtre

Seramik köpük

Gözeneklilik

Yüksek oranda gözeneklilik içeren metal, seramik ve polimerler günümüzde giderek artan bir şekilde yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda bilhassa aşındırıcı - korozyif şartların olduğu yerlerde ve yüksek sıcaklıkta gözenekli seramiğin tercih edildiği uygulamalarda artma söz konusudur. Gözenekli seramikler, metal ve polimerlerle kıyaslandığında yüksek sıcaklık dayanımına ve çevresel kararlılığa ihtiyaç duyulan uygulamalarda avantajlara sahiptir. Gözenekli seramikler, son zamanlarda termal yalıtım malzemelerinde, kemik yerine kullanılan biyo-malzemelerde, polimer ve metal matris kompozit malzemeler gibi dikkat çekici malzemelerde kullanılmaktadır. Bu derleme dikkat çekici özelliklerinden dolayı seramik köpük filtrelerin özelliklerini ve kullanım alanlarını incelemeyi amaçlamıştır. Uygulama alanları açık ve kapalı gözenek yapılarına göre farklılık arz etmektedir. Açık gözenekli seramik malzemeler sıvı metal ve gaz filtrelerinde kullanılırken, kapalı gözenekli seramikler termal yalıtım malzemeleri, refrakter astarları ve hafif yapı malzemelerinde kullanılır. Temel gözenekli seramik üretim metotları kısmi sinterleme, replikasyon yöntemi, doğrudan köpükleştirme yöntemi ve karbon preformlarının CVD yöntemiyle kaplanmasıdır. Gözenekli seramikleri köpük, içi boş küreler, bal peteği ve fiberler gibi pek çok farklı formda üretmek mümkündür. Bu çeşitli formların içinde köpük filtreler en yüksek gözeneklilik oranına sahiptirler.

Ceramic Based Foam Filters and Applications: A Brief Review

Review Article

Article History:

Received: 26.05.2023

Accepted: 18.09.2023

Published online: 11.03.2024

Keywords:

Filter

Ceramic foam

Porosity

ABSTRACT

Metals, ceramics and polymers with high porosity are increasingly used today. In recent years, there has been an increase in applications where porous ceramics are preferred, especially where there are abrasive - corrosive conditions and high temperature. Compared to metals and polymers, porous ceramics have advantages in applications requiring high temperature resistance and environmental stability. Porous ceramics have recently been used in remarkable materials thermal insulation materials, such as bone substitutes biomaterials, and polymer and metal matrix composite materials. This review aimed to examine the properties and usage areas of ceramic foam filters due to their remarkable features. Application areas differ according to open and closed pore structures. Open-pore ceramic materials are used in liquid metal and gas filters, while closed-pore ceramics are used in refractory linings, thermal insulation materials, and lightweight construction materials. The main porous ceramic production methods are partial sintering, replication methods, direct foaming method and coating of carbon preforms by CVD method. It is possible to produce porous ceramics in many different forms such as foam, honeycomb, hollow spheres and fibers. Of these various forms, foam filters have the highest porosity.

1. Giriş

Gözenekli seramikler şekilleri bakımından iki genel kategoride ele alınabilir. Bu kategoriler, köpük (foam) seramikler ve bal peteği şeklindeki (honeycomb) seramiklerdir. Köpük seramikler birbirleri ile temaslı açık boşlukların sürekli bir seramik bağla bağlanmasıyla meydana gelen üç boyutlu gözenekli malzemelerdir. Bal peteği şeklindeki seramikler ise ekstrüzyon veya presleme yöntemiyle elde edilen iki boyutlu gözenekli malzemelerdir. Bilhassa, sıvı filtrasyonundaki uygulamalarda petek şekilli ve köpük seramik malzemelerin farklılaştığı noktalar mukavemet ve geçirgenlik özellikleridir. Köpük seramiklerin yüksek oranda gözenek (%70–90) içermesi sebebiyle geçirgenliği yüksek iken, daha az gözeneklilik oranına sahip olan petek şekilli seramiklerde geçirgenlik düşüktür. Köpük seramikler mekanik özellikleri bakımından incelendiğinde iskelet yapısının seramik ağı incedir ve seramik ağ uçlarında oluşan üçgen şekilli boşluklar içerdiği görülür. Bu özelliklerinden dolayı köpük seramikler petek şekilli seramiklere kıyasla daha düşük mukavemetlidir. Köpük seramikler gözenekli malzemelerin bir sınıfını oluşturmaktadır ve çoğunlukla 10 µm–5 mm aralığında büyük boşluklar içerirler. Bu boşluklar hücre olarak adlandırılır ve seramik duvarla çevrelenir (kapalı hücreli) veya birbirleri ile temas halinde sadece hücre uçlarında (strut) seramik bağla bağlanması ile (açık hücreli) meydana gelebilir. Köpük seramikler üretim yöntemleri bakımından açık veya kapalı gözenek yapılarında üretilebilirler (Tablo 1) (Akpınar, 2009). Uygulama sahaları da bu gözenek yapılarına göre farklılaşmaktadır. Açık gözenekli köpük seramikler sıvı metal filtreler, katalizör taşıyıcısı, gaz filtreler, gözenekli yanma hücreleri, kompozit matris yapısında ve kemik yerine kullanılan malzemelerin yapısında kullanılmaktadır. Kapalı gözenekli seramik köpükler ise hafif sandviç paneller, termal yalıtım malzemeleri, ısıtıcı elemanlar, fırın yardımcı malzemeleri ve darbe adsorblayıcılarda kullanılmaktadır (Şahin, 2010).

Tablo 1. Köpük seramiklerin bazı kullanım alanları (Akpınar, 2009).

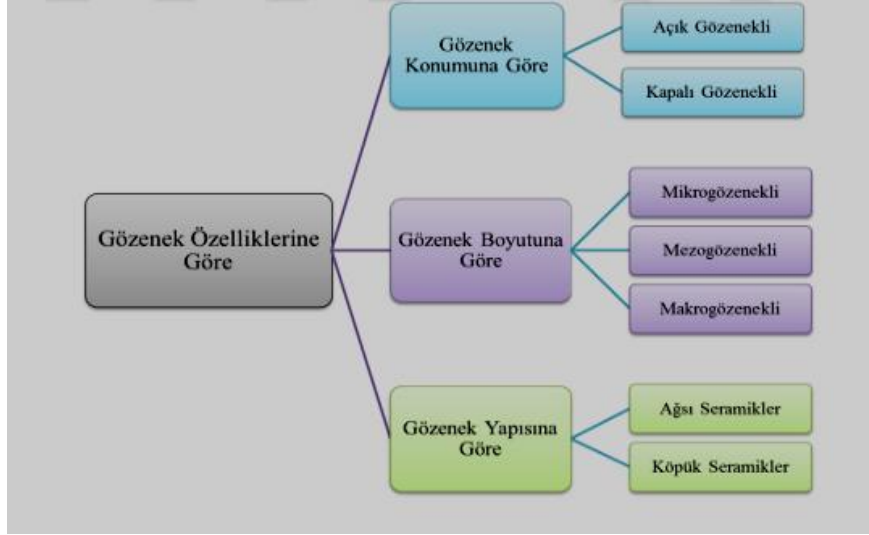
Açık Gözenekli	Kapalı Gözenekli
Gaz filtreler, sıvı metal	Hafif sandviç paneller
Katalizör taşıyıcısı	Fırın yardımcı malzemeler
Gözenekli yanma hücreler	Termal yalıtım malzemeleri
Kemik yerine kullanılan malzemeler	Isıtıcı elemanlar
Kompozit matris yapısı	Darbe adsorblayıcılar

Gözenek boyutunun ve dağılımının denetimi yapılabilen gözenekli malzemeler, yoğun malzemelerle karşılaştırıldığında çeşitli avantajlar sağlayan birçok özelliğe sahiptir. Yoğun malzemeler ile kıyaslandıklarında çok daha çeşitli ve özel davranışlar sergilerler (Kumar ve Kim 2010; Özey, 2018). Bu sebeple günümüzde gözenekli malzemeler pek çok uygulamada çoğunlukla tercih edilmektedir. Yüksek oranda gözenek bulduran seramik malzemelerin, yoğunluk, ısı iletim gibi özellikleri azalırken, geçirgenlik, yüzey alanı gibi özellikleri artmaktadır. Yapıdaki yüksek gözenek miktarı

malzemenin hafif olmasına neden olmaktadır. Seramik malzemelerde gözenek oluşturulmasıyla; yüzey alanı, özgül mukavemet ve geçirgenlik gibi özelliklerinde artış, ısı iletim, yoğunluk, ısı kütlesi ve dielektrik sabiti değerlerinde düşme görülmektedir (Brenzy ve ark., 2006; Studart ve ark., 2006; Özey, 2018). Bu özellikleri gözenekli seramiklerin, polimer veya metal malzemeleri kullanmanın elverişli olmadığı kontrol edilebilir elektriksel özelliklere, yüksek sıcaklık dayanımına, yüksek korozyon ve aşınma direncine gereksinim olan uygulamalarda kullanılmasına olanak sunmaktadır. Malzemelerdeki gözenek özellikleri; gözenek boyutu, yapısı ve konumuna göre değişme göstermektedir. Şekil 1’de gözenekli malzemeler gözenek özelliklerine göre ifade edilmiştir. Gözenek boyutuna göre gözenekli malzemeler makro, mezo ve mikro gözenekli olarak incelenmektedir. Gözenek büyüklüğü 2 nm’den küçük gözenek boyutu içeren seramikler mikro, 2-50 nm olan seramikler ise mezo ve 50 nm’den büyük boyuta sahip seramikler de makro gözenekli seramikler olarak sınıflandırılmaktadır (Kelly, 2006, Özey, 2018). Açık ve kapalı olarak sınıflandırma gözenek konumuna göre iken, ağısı ve köpük sınıflandırma ise gözenek yapısına göre yapılmaktadır.

İlk filtrasyon malzemeleri çelikten imal edilen basit süzgeç tipi (ızgara veya elek benzeri) filtreler ile çelik tellerle örülmüş çelik örgü filtrelerdir. Araştırmaların yeni filtre alternatiflerine yönelmesine; metalik filtrelerin kimyasal kararlılıklarının olmaması, korozyon sorunları, düşük sıcaklıkta sahip oldukları dayanımın aksine bu özelliklerini yüksek sıcaklıklarda koruyamamaları neden olmuştur. Seramikler ise; yüksek sıcaklık kararlılıkları, yüksek ergime sıcaklıkları ve mukavemetleri, eriyik kompozisyonlara karşı inert olmaları, kimyasal olarak kararlılık, yüksek termal şok dayanımları, korozyon dirençleri ve oksit içerikli kompozisyonları sebebiyle cüruf ve oksit temizliğinde etkili olmuşlardır. İmal edilen ilk seramik filtreler, şekil olarak metalik filtrelerle benzerlik göstermektedir. Alümina ve silika karışımı ile presle elde edilmiş tabaka (veya çekirdek) tip filtreler en genel olanlarıdır. Küresel ve lamel grafitli dökme demirler çekirdek filtrelerin en geniş uygulama alanlarıdır. Yeni filtre türlerindeki (köpük filtreler ve hüresel) yüksek eleme verimleri çekirdek filtrelerin uygulama alanlarını sınırlamıştır (Gören ve Maraşoğlu, 1998).

Çelik tellerle örülerek elde edilen örgü filtrelerinin benzeri cam ve refrakterler ile geliştirilerek elde edilmiştir. Alüminyum gibi düşük ergime sıcaklıklarına sahip hafif metallerin filtrasyonunda cam liflerle üretilen örgü filtreler kullanılırken, lamel ve küresel grafitli dökme demirlerin filtrasyonunda ise refrakter örgülerle üretilen filtreler kullanılmaktadır. Ekstrüzyonla üretilen hüresel filtrelerle replikasyon süreci ile imal edilen köpük filtreler sözü edilen diğer filtrelerden daha yüksek filtrasyon verimlerine sahiptir. Sıvı akışını en iyi şekilde homojenleştiren hüresel filtreler diğer filterlere kıyasla bu özelliği bakımından üstünlük gösterir. Köpük filtreler ise eleme verimleri bakımından en iyi filtrelerdir. Tablo 2’de özet olarak filtrelerin filtrasyon amaçlı kullanımlarındaki avantaj ve dezavantajlar ifade edilmiştir (Akpınar, 2009).



Şekil 1. Gözenekli seramiklerin sınıflandırılması (Özey, 2018).

Tablo 2. Filtrelerin avantaj ve dezavantajları (Akpınar, 2009).

	Avantajları	Dezavantajları
Çekirdek Filtreler	<ul style="list-style-type: none"> • Ekonomik ve kolay kullanımı vardır. • Erozyon sorunu olmayıp, metalleri kirletmezler. • Mukavemetleri yüksektir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gözenek boyutu göreceli olarak büyük, gözenekliliği az olması nedeniyle eleme verimi düşüktür. • Fiziksel elemeye sahiptir. • Uygulama sahası belirli boyutlardaki safsızlıkları elemeleri nedeniyle sınırlıdır.
Örgü Filtreler	<ul style="list-style-type: none"> • Yolluk sisteminde kolaylıkla kullanılır. • İstenen boyutlarda kesilir. • Hüresel ve köpük filtreler göre ekonomiktir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eleme verimleri, gözenekleri en büyük boyutlu filtreler olmaları nedeniyle düşüktür. • Distorsiyon sorunları sebebiyle ergime sıcaklığı düşük metaller için uygundur.
Hüresel Filtreler	<ul style="list-style-type: none"> • Sabit hücre geometriye sahip olmaları nedeniyle homojen, güvenli ve türbülansız akış özellikleri mevcuttur. • Distorsiyon sorunu mevcut değildir. • Kimyasal kararlılık, yüksek sıcaklık mukavemeti gösterirler. • Gözenekliliği fazladır. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nispeten pahalıdır ve bu nedenle minimal fakat kalitesi yüksek parçaların dökümünde ekonomiktir. • Sıvı akışının başlatılması ve akışın sürekli kılınmasındaki zorluk hüresel yapılarından kaynaklanmaktadır. • Köpük filtreler göre eleme verimleri genellikle düşüktür.
Köpük Filtreler	<ul style="list-style-type: none"> • Gözeneklilik yüzdesi yüksektir. • Üç boyutlu gözenek temasları dolayısıyla sıvıların akışları dolambaçlı olması safsızlıkların elenme ortamlarını yükseltir. • Derin yatak ve kimyasal filtrasyon özelliğe sahip tek filtredir. • En yüksek eleme verimine sahiptir. • Sıvı akışını başlatabilme kolaylığı veren düşük ısıl kütleye sahiptir. • Gaz kaçışına imkan veren üç boyutlu gözeneklere sahiptir. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pahalıdır. • İnce ağları, keskin köseleri, vardır. Bu da kırılıp ufalanmasına ve dolayısıyla eriyik kirletme potansiyellerine neden olur. • Akış sürekliliği ve filtre ömrü açısından olumsuzluklara yol açabilirler. Bunun nedeni tıkalı gözenekleri ya da filtrasyon sürecinde gözeneklerin tıkanma riskinden kaynaklanmaktadır.

2. Seramik Köpük Filtreler

2.1. Seramik Köpük Filtrelerin Tarihiçesi

Seramik köpük filtreler başlangıçta alüminyum birincil döküm uygulamalarında kullanılmış daha sonra diğer alaşım malzemelerinin dökümünde kullanılmıştır (Baran, 2021). Başlarda alüminyum ve bakır

gibi düşük sıcaklık ve yüksek akıcılığa sahip sıvılara yönelik kullanılan seramik köpük filtreler şimdilerde çok daha kapsamlı sıvı uygulamalarında başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Gören, 1995). 1974'te seramik köpük filtreler dövme alüminyum alaşımlarının imalatında sıvı alüminyum filtrasyonunda kullanılmış, 1976'da ise alüminyum endüstrisinde ticari olarak uygulamaya başlamıştır. 1977'de tek parça kalıpların döküm filtrasyonları alüminyumla beraber başlamış, dökme demirle 1983'de devam etmiştir. Dövme alüminyum dökümlerin %50'sinin üzerinde günümüzde yılda yaklaşık 650.000 seramik filtre kullanımı söz konudur (Akpınar, 2009).

2.2. Seramik Köpük Filtreler ve Özellikleri

Filtreler, yapısında belli boyut ve yoğunlukta gözenekler içeren, yine standart veya isteğe uygun boyutlarda hazırlanabilen, filtrelenmesi istenilen sıvının kimyasal içeriğiyle büyük oranda uyumlu yapısal özelliklere sahip eleyici malzemelerdir (Gören, 1995).

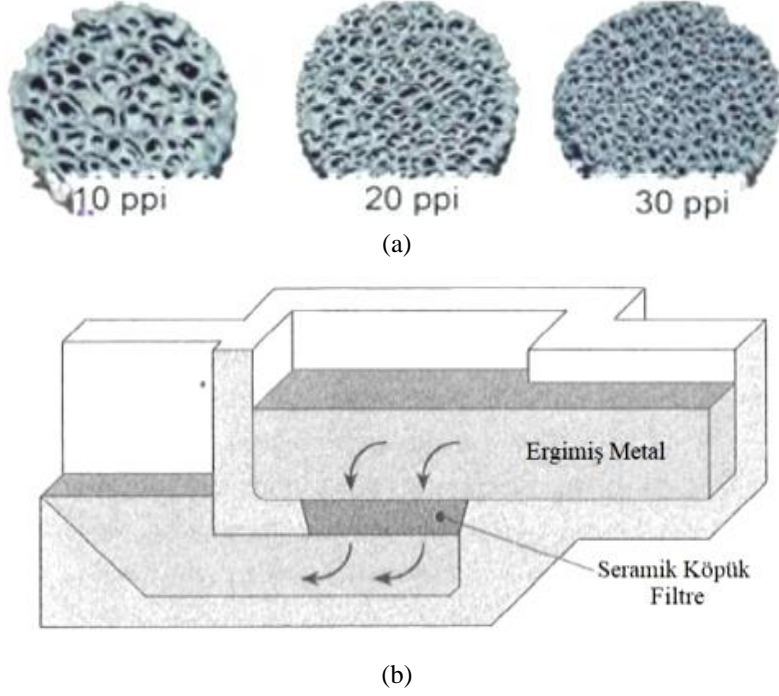
Metalik filtrelerin çok sınırlı filtrasyona uygunluğu ve sıvıyı kirletme gibi potansiyellerinden dolayı çok kısa sürede seramik filtrelere ani geçişler olmuştur. Filtrasyon için kullanılan ilk seramik filtreler belli bir kesit ve bu kesit alan içinde genellikle yuvarlak şekilli delikleri olan basit süzükler şeklinde üretilmişlerdir. Filtrelerin filtrasyon amaçlı kullanımı yaygınlaştıkça çok daha çeşitli sıvı uygulamaları için fikirler ön plana çıkmıştır. Bu amaç ile köpük filtreler üretilmiştir. Seramik köpük filtreler geliştikçe artan filtrasyon verimlerinin yanında, dikkatli ve titiz, profesyonelce çalışma avantajları da sunmuşlardır (Gören, 1995). Seramik köpük filtreler üç boyutlu ağ içinde açık temiz boşluklar içerir (Şahin, 2010).

Seramik köpük filtre malzemesi olarak kullanımları dışında; katalitik yanma, brülör artırıcılar, dizel motor egzozları için kurum filtreleri, katalizör destekleri ve biyomedikal cihazlarda da kullanılabilirler. Yapısal özelliklerine göre seramik köpük filtreler eriyiklerde eksojen ve kalıntıları giderebilir. Aynı zamanda seramik köpük filtreler düşük akış direncine ve yüksek filtrasyon verimine sahiptir. Filtreler, döküm işlemi sırasında direk döküm ünitesinin önüne yerleştirilmektedir (Baran, 2021). Şekil 2'de seramik köpük filtrenin görüntüsü verilmiştir.

Seramik köpük filtreleri kullanarak herhangi bir ek süreç gereksiz döküm süreci içinde filtrasyon başarılı şekilde yapılabilmektedir. Seramik köpük filtreler en son oluşabilecek safsızlıkların önüne geçebilmek ve filtrasyon sıvısının en az yön değişimi ile kalıba akmasını sağlayabilmek için kalıp boşluğuna olabildiğince yakın yerleştirilir (Gören, 1995).

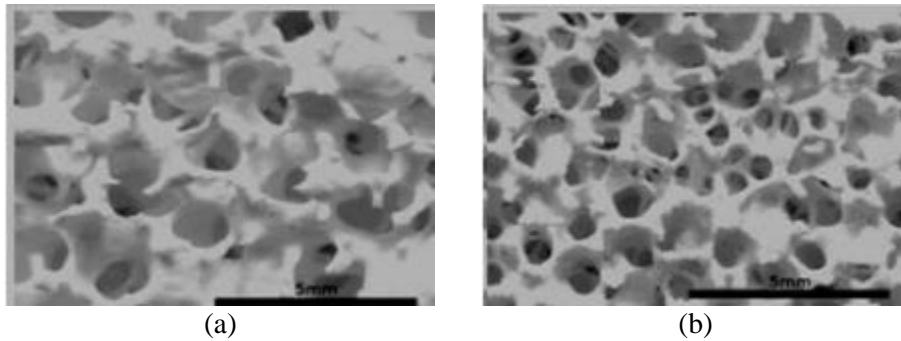
Filtrasyon verimliliği Şekil 3'ten de görülebileceği gibi filtre malzemesinin ppi'sinin yanı sıra çıkarılacak parçacıkların boyut dağılımına da bağlıdır. Ppi, seramik köpüğün üretimindeki plastik malzemenin inç başına düşen ortalama gözenek sayısı ile elde edilmektedir. Seramik köpük filtreler hava geçirgenliğine göre farklı ppi kategorileri ile ifade edilmektedir. Tipik ticari seramik köpük filtrelerin boyutları 10-80 ppi arasındadır. Endüstriyel dökümhanelerde istenen döküm hızını elde etmenin yanında minimum düzeyde kabul edilebilir filtrasyon verimliliğine ulaşmak için en çok kullanılan filtreler 20-40 ppi seramik köpük filtrelerdir. 10-20 ppi gözenek boyutlu filtreler ise zayıf partikül tutma yeteneğine sahiptir ve çoğunlukla hapsedilmiş yığınların, yüzey kaynaklı oksitlerin ve

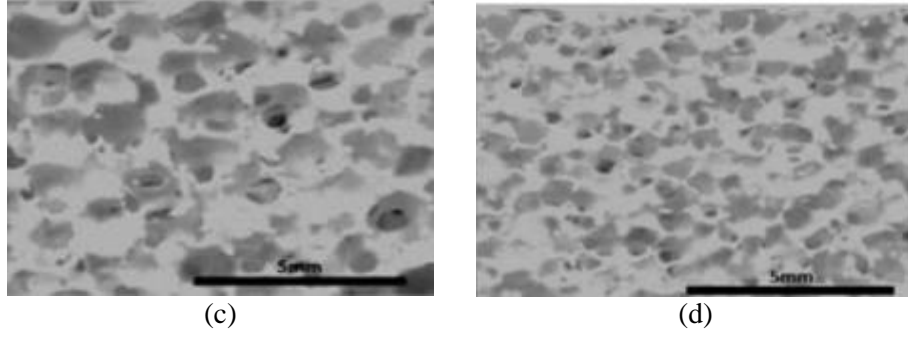
eritme, tutma, taşıma esnasında meydana gelen diğer büyük partiküllerin filtrasyonunda kullanılmaktadır. Yüksek gözenek yoğunluğuna sahip 60-80 ppi gözenek boyutundaki filtreler ise sadece yüzey bakımından kritik ekstrüzyon ve tabaka ürünleri gibi yüksek kalite ürünlerine ulaşmakta kullanılmaktadırlar. Şekil 3'te 30, 40, 50 ve 80 ppi gözenek boyutlarındaki seramik köpük filtreler görülmektedir (Baran, 2021; Olson ve ark., 2005).



Şekil 2. a. Metal döküm işlemindeki seramik köpük filtre (Kumru, 2019).
b. Seramik köpük filtre ve döküm kabı (Gören, 1995).

Filtre amacı ile geliştirilen seramik köpük filtreler açık poroziteli bir yapıya sahiptir. Yılmaz ve Çalışkan, (2019)'in çalışmasında ergimiş metal filtrasyonunda kullanılmak üzere poliüretan köpük (PUF) kullanılarak replikasyon yoluyla açık gözenek yapısına sahip silisyum karbür esaslı seramik filtre üretmişlerdir. (Doğan ve ark., 2022).





Şekil 3.a) 30 ppi, b) 40 ppi, c) 50 ppi ve d) 80 ppi gözenek boyutlarındaki seramik köpük filtreler (Baran, 2021).

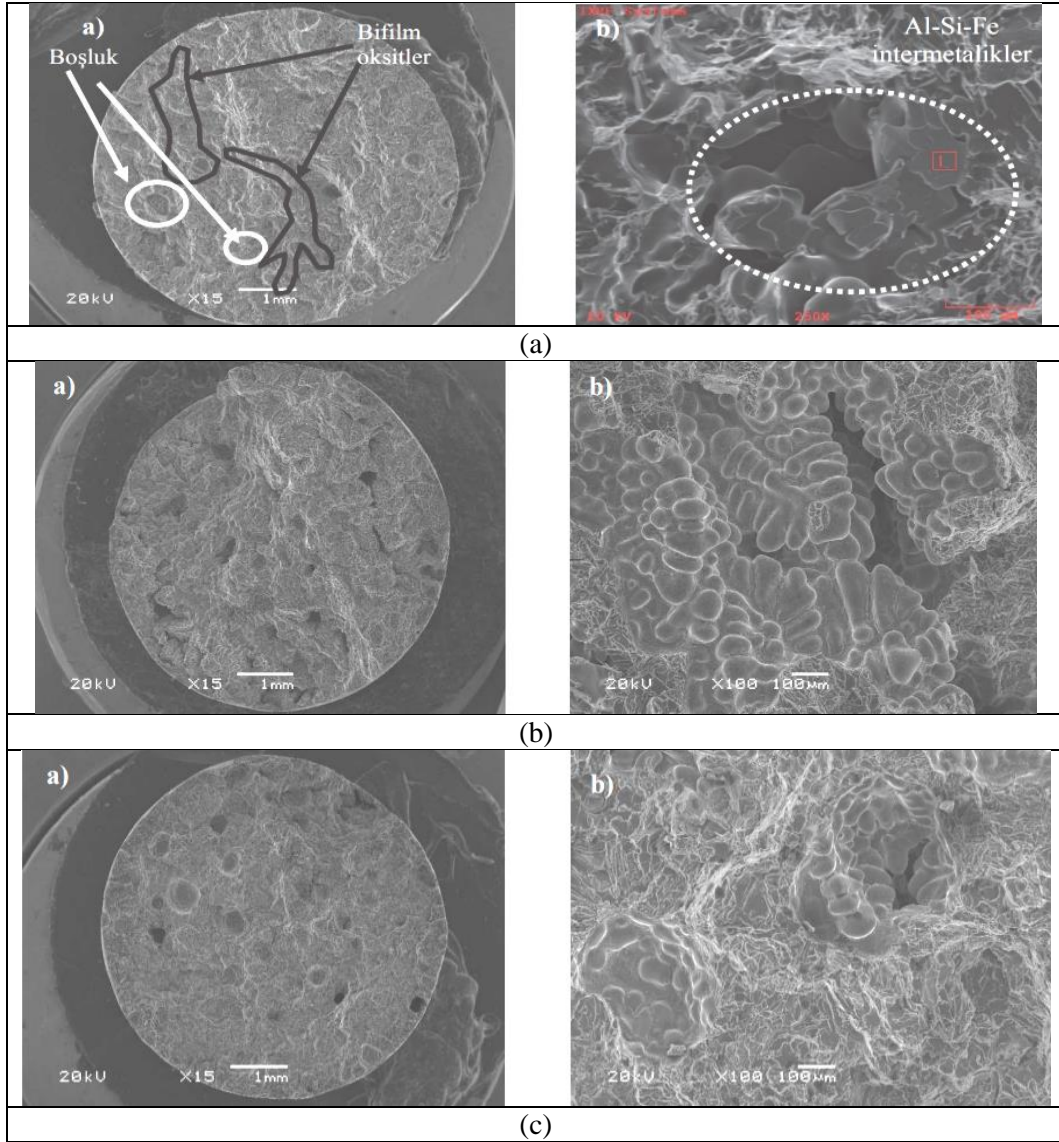
Seramik köpük filtrelerdeki yapı sıvının akması için eşsiz, dolambaçlı bir yol oluşturur, bu yol da inklüzyonları yakalamak ve ergimiş metalin kalıp boşluğuna temiz ve laminar olarak girişine izin vermektedir. Önemli filtre parametrelerinden bazıları gözeneklilik, kıvrımlı yapı, özgül yüzey alanı ve gözenek çapıdır. Alaşımın tipi, tane inceltici, dökümün hızı ve metal sıcaklığı gibi parametreler filtreleme işlemini etkilemektedir. Filtrelerden önce ilave edilen tane inceltici filtrasyon verimliliğini olumsuz etkileyen bir durumdur. Seramik köpük filtrelerin maliyeti, kullanım rahatlığı ve makul performans özellikleri onları genellikle dökümde en iyi filtreler olarak kabul edilmelerindeki etkenlerdir. Bu filtrelerin asıl avantajları; en zorlu döküm uygulamalarında yüksek filtrasyon verimliliği, türbülans azaltma, refrakterlik ve erozyona karşı direncidir (Baran, 2021).

Seramik köpük filtreler endüstride çoğunlukla folyodan kalın levhalara ve biyet imalatına kadar birçok alanda kullanılmaktadırlar. Hedeflenen inklüzyon konsantrasyonuna ve yakalanması amaçlanan inklüzyon boyutlarına uyumlu farklı kalınlıklarda üretilmektedirler. Büyük boyutlardaki inklüzyonları 10 ppi yakalarken, daha ince inklüzyonları ise 70 ppi yakalayabilmektedir. Filtrenin üst yüzeyinde filtreleme yapmak seramik köpük filtrelerin çalışma prensibi değildir. Sıvı metalin filtrede tıkama yapmadan filtrenin içinden geçmesi filtrenin iyi inklüzyon yakalama yeteneğine ulaşmasını sağlar (Yorulmaz, 2016).

Filtresiz, 20 ve 30 ppi filtreli dökülmüş Al-Si-Mg alaşımlarının kırık yüzey SEM görüntüleri Şekil 4'te görülmektedir. Şekil 4'te de görüleceği gibi filtresiz Al-Si-Mg alaşımı kırık yüzeyinde yaşlı oksit filmlerin dendritler arasında sıkışmıştır ve dinamik yük altında kopma gerçekleşmiştir. 20 ve 30 ppi seramik köpük filtreleri kullanan Al-Si-Mg alaşımının kırık yüzeylerinde farklı boyutta boşluk hataları mevcuttur. 20 ppi seramik köpük filtre kullanılarak dökülmüş Al-Si-Mg alaşımında daha büyük boşluklar yapıda bulunmaktadır. 30 ppi seramik köpük filtre kullanıldığında kırık yüzeyde daha ufak ve küresel boşluklar mevcuttur (Tuncay ve Özyürek, 2014).

Seramik köpük filtreler metal dışı kalıntıları temizlemesiyle döküm metallerinin imalatında verimlilikteki ve kalitedeki artışa katkı sağlamaktadır. Otomotiv sanayisinde Avrupa'da sıvı metal filtreleri araç başına ortalama 4,5 filtre kullanılırken, Ferrari firmasında araç başına bu oran 70 filtreye varmaktadır. Dökme demir filtrasyonunda yılda 140 milyon filtre, çelik dökümde yılda 2 milyon filtre

ve alüminyum dökümde yılda 20 milyon filtrede filtre malzemesi olarak gözenekli seramikler kullanılmaktadır. Yılda %3,5 oranı ile giderek pazar payında artış söz konusudur (Jaunich ve ark., 2004).



Şekil 4. a. Filtresiz dökülmüş Al-Si-Mg alaşımın **b.** 20 ppi ve **c.** 30 ppi seramik köpük filtre ile dökülmüş Al-Si-Mg alaşımının çekme numunesi kırık yüzey SEM görüntüleri (Tuncay ve Özyürek, 2014).

Seramik köpük filtrelerin katı yakıt proses teknolojileri, çöp yakma prosesleri ile dizel yakıt dumanlarının filtrasyonunda avantajlar sunması yüksek sıcaklarda bile yüksek performansta partikül kontrolüne sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. İleri seviyede partikül uzaklaştırmada gözenekli filtrelerin başarı ile kullanılmasında ve uygulamasındaki ölçüt seramik malzemenin kimyasal, termal ve mekanik dayanımının yanında entegre proses özelliklerinin yüksek güvenliğine ve uzun vadeli yapısal dayanıklılığına (>10,000 saat) bağlıdır. Filtreler partikül eleme yeteneğini ve yüksek akış kapasitesini korurken aynı zamanda da akışkan gazın kimyasal değişikliklerine, basınç ve sıcaklık değişikliklerine karşı dayanıklı olmalıdır. Alümina, kordiyerit, mullit, silisyum karbür, silisyum nitrid

içeren malzemeler bu tip uygulamaların temel malzemeleridir (Montanaro ve ark., 1998). İki fazlı, üç boyutlu bağlı kompozitlerin metal infiltrasyon tekniğiyle üretimi açık gözenekli seramik köpük filtrelerin başka uygulamalarına örnek verilebilir. Kompozit malzemedeki takviye elemanının dağılımının kontrolü seramik köpük kullanımı ile etkin olarak sağlanır (Peng ve ark., 2000).

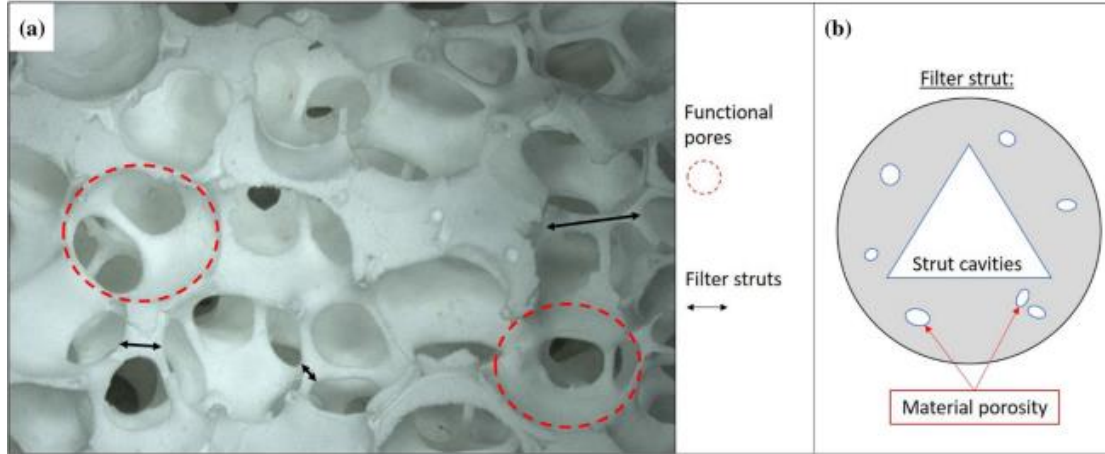
Tablo 3. Bazı seramik köpük filtrelerin fiziksel özellikleri (Gören, 1995).

Köpük Malzeme	Gözenek sayısı (ppi)	Ağ kalınlığı, (µm)	Birim yığın yoğunluğu (g/cc)	Birim gözeneklilik (%)
NCL MULLİT	10	686	0,44	78
	20	508	0,47	77
	30	279	0,45	81
98 ALUMİNA	10	508	0,51	82
	20	356	0,61	80
	30	254	0,66	77
ZTA ALUMİNA	10	432	0,57	85
	20	330	0,61	83
	30	229	0,69	80
Zirkonya (PSZ)	10	432	0,57	85
	20	330	0,61	83
	30	229	0,69	80
LD	10	457	0,93	81
	20	356	1,18	77
	30	254	1,12	76

İleri pek çok üretim sistemleri verimliliği artmak ve geliştirmek için döküm hatalarını bütünüyle bertaraf etmeye yöneliktir. Bunun için, hatasız metal döküm verimliliği amacıyla metal dışı kalıntıların eriyikten giderilmesi gereklidir. Bu işlev için seramik köpük filtre kullanımı en etkili yöntemlerden biridir. Burada filtre boyutları 18 ile 66 cm² aralığındadır ve filtreler 5 cm standart kalınlıktadır. Filtre kullanımı dökme demir parçalarının imalatında ikinci büyük öneme sahiptir. Seramik köpük filtre kullanılarak yapılan filtreleme ile dökme demir parçalarının %50'sinden fazlası imal edilmektedir. Farklı filtre boyutlarında (35 cm² ile 150–300 mm ve kalınlıkları 13–32 mm) yıllık olarak yaklaşık 400.000.000 filtre kullanılmaktadır. Rutin olarak seramik köpük filtre ile filtrelenen metal ürünleri arasında çelik döküm, alüminyum döküm, yüksek sıcaklık süper alaşımlarının ve bakır alaşımlarının dökümü gibi metal ürünleri yer almaktadır (Akpınar, 2009).

Köpük malzemelerde PSZ (Mg) yüksek performanslı, stabilize ajan olarak magnezyumun kullanıldığı kısmen kararlı zirkonyayı; ZTA ise bir mullit bağlayıcı sistem ile zirkonya toklaştırmacı alümina köpükleri tanımlamaktadır (Gören, 1995).

Filtrasyon, alüminyumdaki metalik olmayan inklüzyonların giderilmesinde genel bir şekilde kullanılan bir proses bölümüdür ve filtreleme ortamı olarak genellikle seramik köpük filtreler (CFF'ler) kullanılır (Bergin ve ark.,2021).

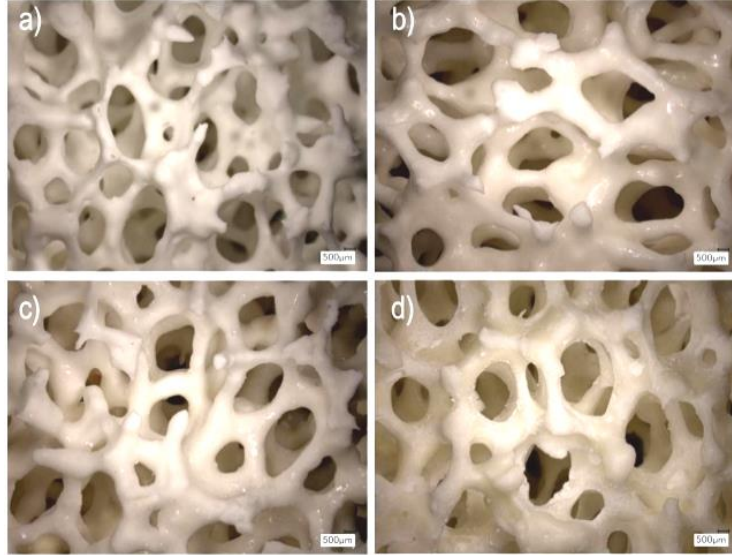


Şekil 5. Seramik bir köpük filtredeki gözeneklerin şematik gösterimi: (a) işlevsel gözeneklerin ve filtre desteklerinin işaretlendiği bir filtrenin fotoğrafı ve (b) bir filtre desteğinin dikme boşluğu ve malzeme gözenekliliği (Bergin ve ark.,2021).

Seramik köpük filtrelerin temel özelliği gözenekliliktir. Bunlar;

- (1) fonksiyonel gözeneklilik (dikmelerle çevrili gözenekler),
- (2) malzeme gözenekliliği (dikmelerdeki gözenekler) ve
- (3) dikme boşlukları (polimerik köpüğün ayrışmasının bir sonucu) olarak üç temel kategoride sınıflandırılabilir (Şekil 5).

Çoğu refrakter malzeme gibi, seramik köpük filtreler de çoğunlukla tek kullanımlık uygulamaları nedeniyle geçerli olan maliyete duyarlıdır. Bununla birlikte, sinterleme sıcaklığını ve dolayısıyla enerji tüketimini azaltan inorganik bir bağlayıcının eklenmesiyle üretim maliyetlerinde bir azalma mümkündür. Sıcak gaz filtrasyonu gibi diğer uygulamalarda seramik köpük filtre üretimindeki zorluğun, çoğu durumda filtrelerin maruz kaldığı sert ve aşındırıcı koşullara dayanabilecek uygun bir bağlayıcı bulmakta yattığı bulunmuştur. Erimiş alüminyum filtrasyonu alanında, yaygın olarak kullanılan fosfat bağlı seramik köpük filtrelerin, magnezyum (Mg) içeren alaşımları süzerken daha az dirençli olduğu bilinmektedir (Bergin ve ark. 2021). Şekil 6’da lityum içeren bir yüzeye sahip alümina bazlı seramik köpük filtreler görülmektedir.



Şekil 6. Alümina köpüklerin ışık mikroskopik görüntüleri (a) referans olarak kaplamasız saf alümina, (b) 1400°C’de termal işlem görmüş spodümen 1 kaplamalı alümina, (c) 1400 °C’de termal işlem görmüş spodümen 2 kaplamalı alümina ve (d) 1600°C’de sinterlenmiş lityum alüminat kaplamalı alümina (Voight ve ark.,2022).

2.3. Köpük Filtrelerde Filtrasyon Süreci

Köpük filtreleri diğer filtrelerden üstün kılan en mühim özellikleri yüksek filtrasyon verimleridir. Yüksek gözeneklilikleri, metalik sıvı kütlesini parçaladığından akışı nispeten kolaylaştırmakta, sıvının filtreden dolambaçlı akışı safsızlıkların elenme ortamını artırmaktadır. Seramik filtreler sıvı yapısındaki safsızlıkları iki temel mekanizma ile gidermektedir. Bunlar derin yatak filtrasyonu ve fiziksel elemadır (Gören, 1998).

2.3.1. Fiziksel eleme

Filtre gözeneklerinden daha iri olan safsızlıklar, filtrenin temas yüzeylerinde fiziksel olarak süzülür. Zamanla filtrenin yüzeyinde elenen safsızlıklar bir kek tabakası oluşturur ve ikincil bir filtre görevi üstelenir. Daha ufak safsızlıkların elenmesinde oluşan kek tabakası bir avantaj gibi görünse de, bu kek tabakasının teşekkülü filtrasyon uygulamalarında tercih edilmez. Oluşan keklerin filtreden geçen sıvı miktarını azaltması nedeniyle filtre ömrünü negatif olarak etkilemektedir. Çekirdek, hücreli ve örgü filtreler fiziksel eleme mekanizmalı filtrelerdir (Er, 2004).

2.3.2. Derin yatak filtrasyonu

Filtre gözeneklerinden daha küçük safsızlıklar filtre içinde çeşitli ortamlarda elenir. Bu tür küçük parçacıkların elenmesi için tek filtre alternatifi köpük filtrelerdir. Ani yön değişimleri köpük filtrelerin dolambaçlı yollarındaki safsızlıklar tarafından karşılanamaz. Safsızlıklar filtre hücresinde parçacık hız ve sıvı dağılımları gibi faktörlerle filtrenin çukur ve çatlak yerlerinde yığılma ve çökme, efektif gözenek aralıklarında sıkışma ve yüzey kuvvetleri ile yüzeye tutunma şeklinde elenirler. Bu filtrelerin içerisinde metalik sıvılar gözeneklerin birbirleriyle dolambaçlı ortamlarında devamlı yön değiştirerek ilerlerler. Sıvıların bu dolambaçlı akışları, safsızlıklarla temas edecek olan filtre yüzeyinin ve

ortamlarının artmasına neden olur. Safsızlıklar filtrelerin çukur ve dar yerlerinde fiziksel olarak süzülür. Metalik olmayan safsızlıklar ise; yüzey ve ısı enerjileri dolayısıyla sıvı ile ıslatılmayan yüzeylerde kimyasal etkiyle tutulur. Filtre yüzeylerine zayıf olarak tutunan bir kısım safsızlıklar, sıvının sürüklenme etkisiyle taşınabilir bile çok sayıda gözenek ortamında fiziksel olarak elenmektedir. Köpük filtreler genellikle oksit yüzeylere sahip olduklarından, oksit safsızlıkların kimyasal tutunma ile (yüzey kuvvetleri ile) elenme oranı yüksektir (Er, 2004).

2.4. Seramik Köpük Filtrelerin Avantajları ve Dezavantajları

Seramik köpük filtre kullanmanın avantajları aşağıda sunulmuştur;

- Cüruf, kum, oksit filmler, seramik inklüzyonlar gibi yabancı maddelerin süzülerek metalden uzaklaştırılması,
- Sakin dolun sayesinde türbülanslı akışın laminar akışa çevrilmesi ve metalin yeniden oksitlenmesini minimuma indirilmesi,
- Model plakası üzerinde daha çok kullanım alanı ve daha minimum metal döngüsü, modelin hazırlanması amacıyla geniş levha alanına sahip olması
- Yolluk sisteminde kalıp erozyon riskinin azalması
- Yolluk sisteminin basitleştirilmesi, sıkı-kısa ve direk birleştirme sistemi,
- İnsan faktörü etkilerinin azaltılması (dökümcü deneyimi, niteliksiz işgücü, proses emniyeti)
- Döküm parçasının fiziksel özellikleri ve yüzey kalitesinde artış, döküm malzemesinin özelliklerinin geliştirilmesi,
- Yüksek filtrasyon verimliliği nedeniyle metalik olmayan kalıntıların mühim miktarda azaltılması,
- Döküm maliyetinde azalması,
- İşlenebilirlik nedeniyle işleme süresinin kısılması, işleme maliyetinin azalması ve aletlerin aşınmasının geciktirilmesi (Şahin, 2010; <https://lma.com.tr>).
- En yüksek gözeneklilik yüzdesi olan filtre olması
- Safsızlıkların elenme ortamlarını arttırmaları üç boyutlu gözenek temasları sebebiyle sıvıların akışlarının dolambaçlı olmasına neden olmalarıdır. Inklüzyon eleme verimi yüksek olması
- Kimyasal ve derin yatak filtrasyon özelliği olan tek filtreler olmaları.
- Sıvı akışını başlatabilme fırsatı veren düşük ısı kütleye sahip olmaları
- Gaz kaçışına imkan vermeleri üç boyutlu gözeneklere sahip olması
- Kontrollü sıvı akışı sağlamaları, akışı homojenleştirilmesi
- Döküm malzemesinde seramik köpük filtrelerin kullanımı ile %80 oranında hataların engellenmesi (Gören, 1995; Er, 2004; Tuncay ve ark., 2014).

Seramik filtrelerin özellikle de köpük filtrelerin bazı dezavantajları da vardır.

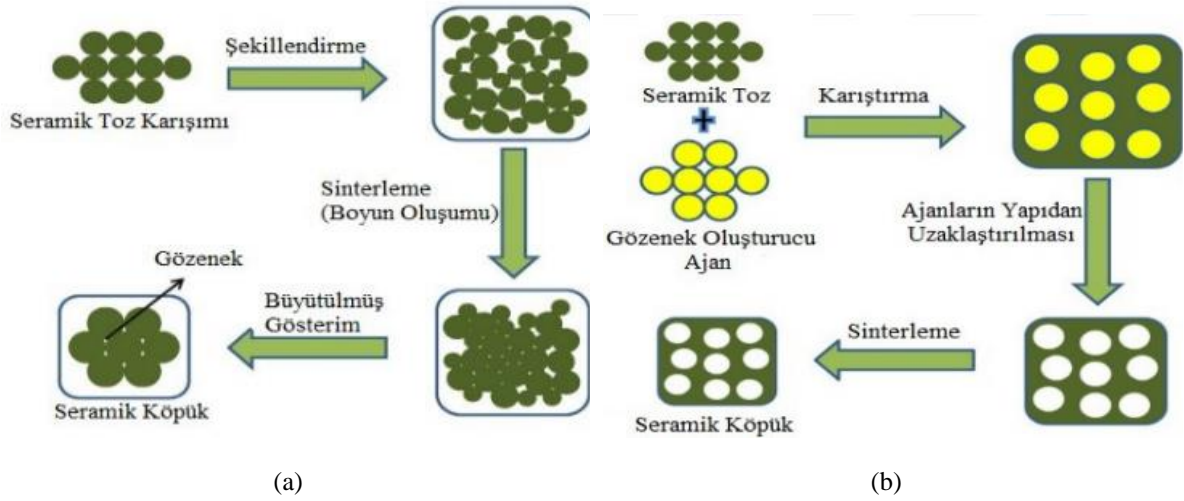
- Bir döküm için köpük filtrelerin yalnızca bir defa uygulanması ve atılması, bunun ekstra bir maliyet getirmesi(Gören, 1995).
- Köpük filtrelerin pahalı olması
- Tıkalı gözenekleri ya da filtrasyon süresince gözeneklerin tıkanma riski dolayısıyla filtre ömrü ve akış sürekliliği açısından olumsuzluklara yol açabilmeleri (Er, 2004; Akpınar, 2009).

2.5. Seramik Köpük Filtrelerin Üretim Yöntemleri

Kısmi sinterleme, kurban şablon, karbon preformlarının CVD yöntemiyle kaplanması, bonding yöntemi, polimer sünger (replikasyon) yöntemi, doğrudan köpükleştirme yöntemi köpük seramik üretim yöntemlerinin başlıcalarıdır (Şahin, 2010).

2.5.1. Kısmi sinterleme

Kısmi sinterleme yöntemi, gözenekli seramiklerin imalatında çok kullanılan metotlardan biridir. Metodun proses diyagramı Şekil 7.a.'da görülmektedir. Metotta toz seramik partikülleri tamamen yoğunlaştırılmadan öncesinde sinterleme işlemi sona erdirilmekte ve böylece gözenekli bir yapı oluşturulmaktadır (Baran, 2021). Bu teknikle oluşturulan gözenekli seramikler azami %60 gözenekliliğe sahiptir (Yılmaz ve Çalışkan, 2019).



Şekil 7. a. Kısmi sinterleme ve b. Kurban şablon yöntemlerine ait proses şemaları (Baran, 2021).

2.5.2. Kurban şablon

Kurban şablon metodunda, uygun değerde gözenek oluşturan ajanın seramik toz karışımına eklenmesi ve sinterleme öncesinde veya sinterleme sırasında buharlaştırması ya da yakılması ile seramik filtre imal edilmektedir. Gözeneklilik %15-95 arasında değişen yöntemin üretim şeması Şekil 7.b.'de gösterilmektedir.

Elde edilen gözenekli seramikteki gözeneklilik, kullanılan ajanların miktarına, şekil ve boyutuna göre değişir. Aynı zamanda ajanlar düzenli gözenek dağılımını sağlamak amacıyla homojen bir şekilde

karıştırılmalıdır. Doğal ve sentetik malzemeler gözenek oluşturuca ajan olarak kullanılmaktadır. Tablo 4'te gözenek oluşturan ajanlar görölmektedir.

Tablo 4. Gözenek oluşturuca olarak kullanılan malzemeler (Baran, 2021).

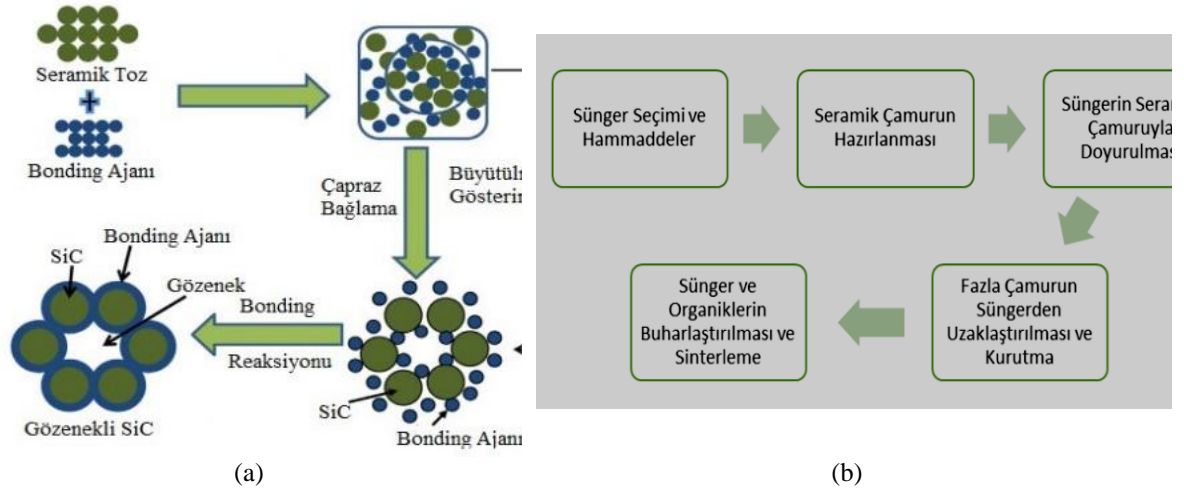
Gözenek oluşturan malzemeler	
Sentetik maddeler	Polimer tanecikleri
Doğal maddeler	Nişasta, selüloz, pamuk
Metalik, inorganik maddeler	Nikel, karbon, uçucu kül, cam parçaları
Sıvı maddeler	Su, jel, emülsiyonlar

2.5.3. Karbon preformlarının CVD yöntemiyle kaplanması

Karbon preformların CVD/CVI metoduyla kaplanması; termoset polimer (polikarbosilan/ polisilan) köpüklerin pirolizi aracılıyla karbon iskelet yapısının oluşturulması ve bu yapılar farklı oksit dışı seramiklerin CVD/CVI yöntemleri ile kaplanması temelinden oluşmaktadır. Bu metod, bir CVD reaktörü icap eder ki köpükler sistem içerisinde altlık olarak bu reaktörden yararlanır. Piroliz yapılmış köpükler sistem içerisindeki reaktant gazlarla tekdüze kaplanırlar. Aynı büyüklükte gözeneklerin denetlenerek imalatı mümkündür ve sinterleme prosesi çoğunlukla yüksek sıcaklıklar ve uzun süreler gerektirir (Akpınar, 2009).

2.5.4. Bonding yöntemi

Silisyum karbür, replika, kurban şablon, direkt köpükleştirme ve kısmi sinterleme yöntemlerinin tamamında 1500 °C ve üzeri sıcaklıkları kullanmaktadır. Bu durum silisyum karbürün yapısındaki güçlü kovalent bağdan kaynaklanmaktadır. Bonding yöntemi SiC seramiklerinin biraz düşük sıcaklıklarda üretilmesini sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Metotta silisyum karbür için ön seramik polimerleri birinci olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde gözenekli silisyum karbür seramiklerinin işleme sıcaklığının düşürülmesi ve bununla birlikte oksidasyon direncinin iyileştirilmesi amaçlanır. Silisyum karbürün üzeri bağlayıcı ajanlarla kaplanır ve işlem kısmi sinterleme işlemine benzer olarak gerçekleştirilir. Gözenekli SiC üretiminde kordiyerit ($2Mg.2Al_2O_3.5SiO_2$), mullit ($3Al_2O_3.2SiO_2$), silika (SiO_2), silisyum oksikarbür (SiOC) ve frit fazları bonding ajanları olarak kullanılmaktadır. Bonding tekniğiyle gözenekli SiC seramiklerinin üretimi Şekil 8.a'da görölmektedir (Baran, 2021; Kim, 2013).

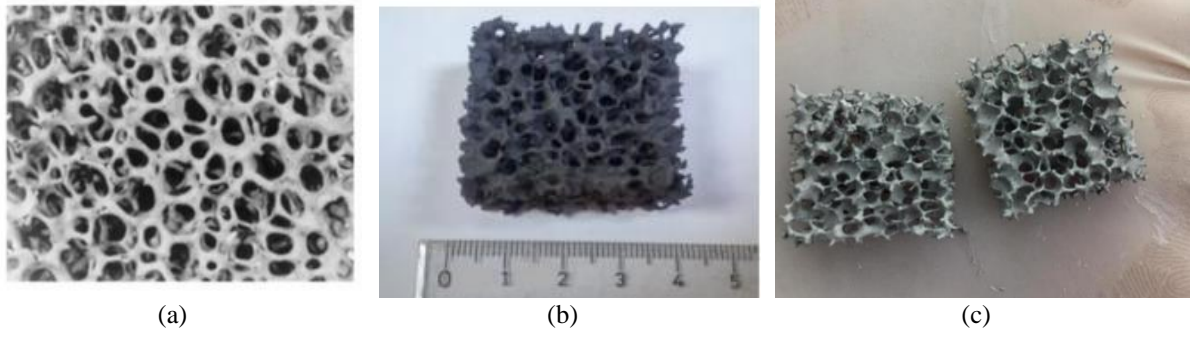


Şekil 8. a. Bonding yöntemi (Baran, 2021; Studart, 2006) b. Replikasyon proses şeması (Aydın, 2022).

2.5.5. Polimer sünger (replikasyon) yöntemi

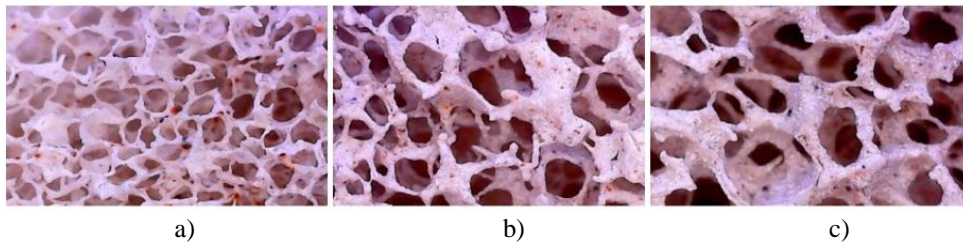
Açık gözenekli seramiklerin üretimindeki son nokta replikasyon yöntemidir (Akpınar, 2009). Filtre kullanımları için açık gözenekli seramik üretimi gerçekleştirilmelidir. Bu yöntem (Şekil 8.b.) (Özey, 2018), modern köpük seramiklerin üretiminde de yaygın olarak kullanılan yöntemdir (Şahin, 2010).

Köpük filtreler belirli gözenek açıklığına sahip süngerler sayesinde açık gözenekli olarak üretilen süngerlerdir (Aydın, 2022). Bu imalat uygulaması açık hücreli bir polimer köpüğünün seramik çamurlarıyla kaplanmasından oluşur. Fazla çamurun polimerden uzaklaştırılması, takibinde sinterlenmesi ve polimerin yanmasıyla seramik köpük yalnız bir adımda üretilir (Yılmaz ve Çalışkan, 2019). Seramik partiküller uygulama alanına ve son ürünün hedeflenen özelliklerde olmasına göre belirlenirler. Sıvı metal filtrasyonu için uygulanacak bir seramik filtre üretiminde yüksek sıcaklıklara karşı ve kimyasallara karşı dayanıklı mullit gibi seramik malzemelerin tercih edilmesi örnek verilebilir (Özey, 2018). Bu metotta altlık malzeme tercihi için poliüretan (PU), polistiren (PS), polivinil klorür (PVC) ve selüloz gibi çeşitli polimer malzemeler uygulanmaktadır. Organik köpüğün özelliklerinin tekrarlanabilirliği son derece önemlidir. Sıkıştırılmayı takiben geriye dönebilmelidir. Sinterleme işleminin sonunda seramik köpüğün hasar oluşturmadan temiz ve büsbütün yanması gereklidir. Örnek olarak, Amerika Birleşik Devleti'nde yapılan bir çalışmada organik altlık malzeme olarak %97 boşluk hacimli birbiriyle bağlantılı, açık hücreli bir poliüretan köpük kullanılmıştır. Seramik çamur hazırlandığında polimer köpüğe emdirilmesi suretiyle yapılı ve poliüretanın yüzeyleri kaplanır. Köpük çamura daldırılır ve sıkıştırmak suretiyle havası alınır. Seramik çamurun içindeyken, köpüğün tekrar genişmesine imkân tanır ve köpüğün açık hücreleri tarafından çamur emilir. Arzu edilen kaplama yoğunluğunu sağlamak amacıyla bu adım birkaç defa yinelenebilir. Köpük dengeli bir biçimde kaplandığında, fırında kurutulur ve seramik yapıya çevrilir. Ardından organik katkıları seramik çamurdan uzaklaştırmanın yanı sıra seramik kolların içindeki polimeri yakmak amacıyla sinterleme işlemi uygulanır. Sinterleme işleminden sonra üretilen son seramik köpük Şekil 9.a'da gösterilmektedir (Scheffler ve Colombo, 2005).



Şekil 9. a. Replikasyon yöntemi ile üretilmiş (Scheffler ve Colombo, 2005) b. Sinterlenmiş seramik köpük (Yılmaz ve Çalışkan, 2019) ve c. Replikasyon prosesi uygulanmış sünger (Aydın, 2022).

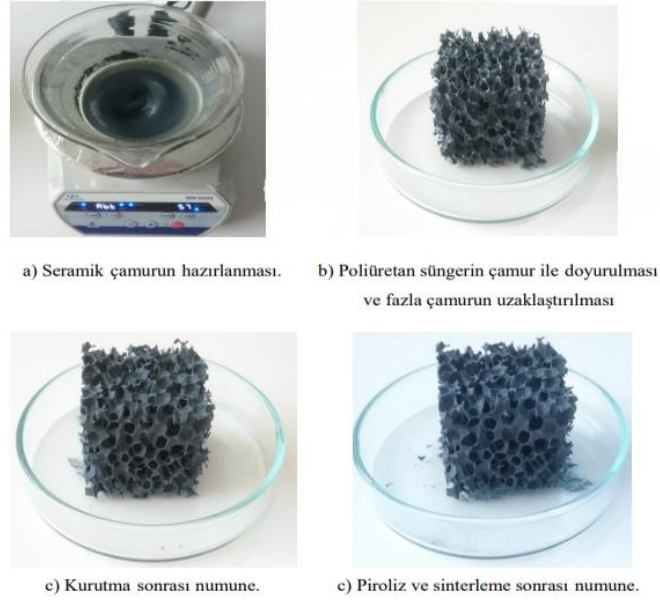
Yılmaz ve Çalışkan çalışmalarında alüminyum matrisli kompozit üretiminde kullanılmak amacıyla silisyum karbür seramik preformların üretiminde çeşitli kimyasal katkı malzemeleriyle elde edilen seramik çamurdan replikasyon yöntemiyle makroporoz seramik köpük üretimi gerçekleştirilmiştir. Partikül formda SiC ana malzeme olarak, MAS sıvı faz oluşturucu katkı malzemesi olarak kullanılarak replikasyon yöntemi ile elde edilen seramik köpüğün preform yapısı $>1000^{\circ}\text{C}$ sıcaklıklarda 1-3 saat sinterlenmiştir (Şekil 9.b.) (Yılmaz ve Çalışkan, 2019). SiC esaslı seramik köpük filtreleme alternatif olarak döküm prosesinde kullanılmak üzere daha az maliyetli ve yerli alümina esaslı seramik filtreleri replikasyon yöntemini kullanarak üreten çalışmalar da vardır (Şekil 9.c) (Kunduraci ve Aydın, 2022). Şekil 10'da replikasyon yöntemi ile elde edilmiş numunelerin birbirleriyle temas halinde açık gözenekler içerdiği ve bu gözeneklerin devamlı bir seramik bağ ile bağlanarak oluştuğu ve üç boyutlu gözenekli bir yapıda olduğu tespit edilmiştir. Müllit seramiklerin replikasyon yöntemiyle üretiminde kullanılan polimerik sünger ve seramik çamur emdirildikten sonra süngerin yok edilmesiyle ortaya çıkan seramik köpük Şekil 11'de görülmektedir.



Şekil 10. a) 1350°C , b) 1300°C , c) 1250°C 'de ısıtım işlemi gören numunelerin optik mikroskop görüntüleri (Aydın, 2022).



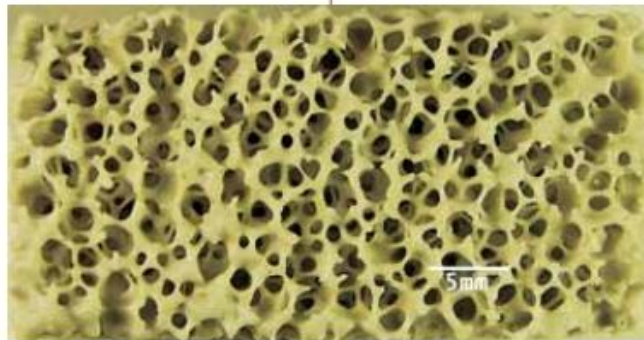
Şekil 11. Kullanılan polimerik sünger ve çamurun emdirilmesini takiben kurutulmuş gözenekli seramik numunelerin makro görüntüleri (Özey, 2018).



Şekil 12. 10 ppi poliüretan süngerle elde edilen silisyum karbür köpük filtre (Baran, 2021).

Replikasyon yöntemi ile SiC-bentonit esaslı seramik köpük filtre üretiminin aşamaları Şekil 12’de görülmektedir. Replikasyon yöntemi adımlarına uygun olarak seramik çamur hazırlanmış, sünger hazırlanan çamur ile doyurulmuş, kurutulmuş, piroliz ve sinterleme işlemlerinden sonra SiC köpük filtre elde edilmiştir.

Başka bir çalışmada (Akpınar, 2009) yine replikasyon yöntemi kullanılarak kordiyerit esaslı silisyum karbür katkılı seramik köpük filtre üretilmiştir. Magnezya, kaolen, kuvars ve SiC karışımlarından hazırlanan seramik solüsyonlar replikasyon yöntemiyle üretilmiş ve sprey tekniği ile şekillendirildikten sonra 1350 °C’de 1 saat sinterlenmiştir (Şekil 13).

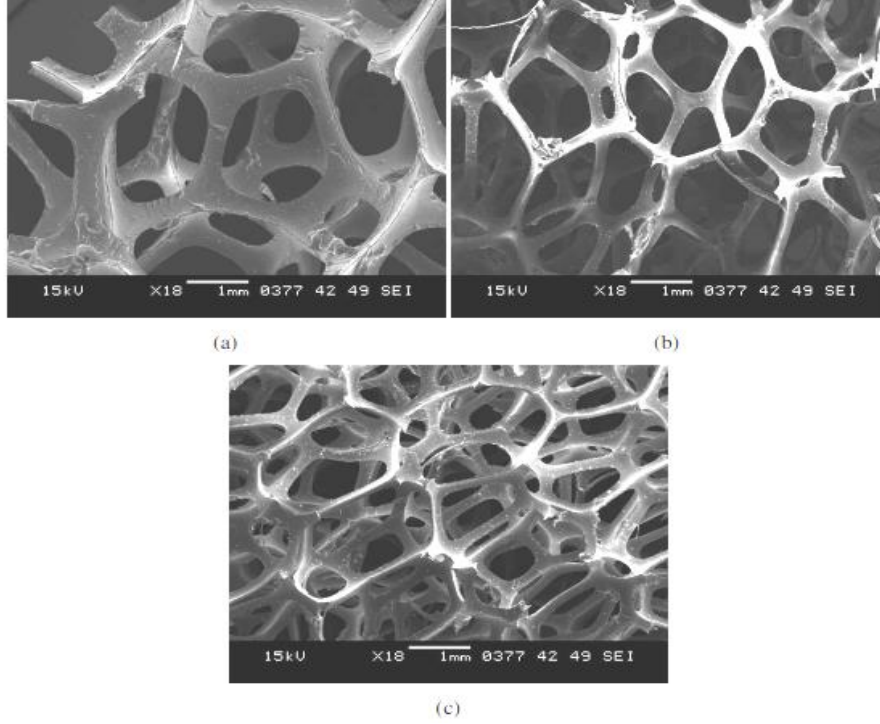


Şekil 13. Kordiyerit esaslı filtre numunenin sinterleme sonrası görüntüsü (Akpınar ve ark.,2009).

Tablo 5. A serisi süngerlerin SEM incelemesiyle tespit edilen yapısal parametreleri (Akpınar, 2009).

Özellik	A ₁	A ₂	A ₃
Gözenek yapısı	Açık	Açık	Açık
Gözenek yoğunluğu (PPI)	10	20	30
En büyük gözenek boyutu (mikron)	3100	1670	1340
En küçük gözenek çapı (mikron)	741	549	413
Yüzey pürüzlülüğü	Pürüzlülük düşük	Pürüzlülük düşük	Pürüzlülük düşük
Ortalama strut kalınlığı (mikron)	415	196	186
Ortalama gözenek boyutu (mikron)	1898	1127	885
Strut şekli	İçi dolu	İçi dolu	İçi dolu

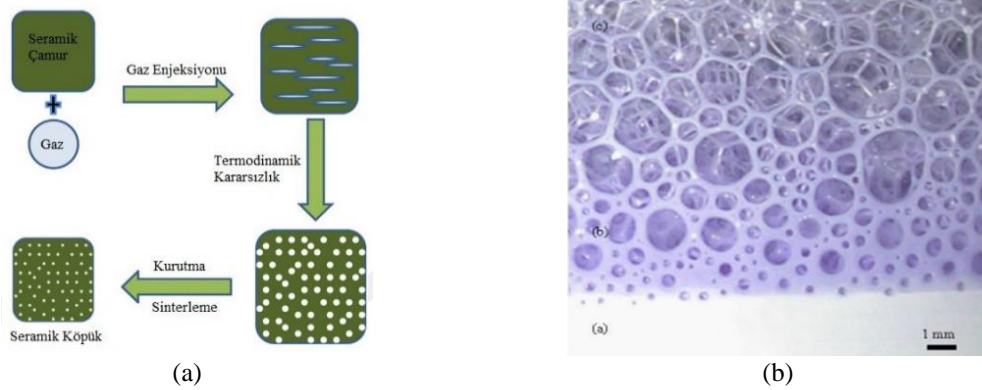
Replikasyon yönteminde kullanılan polimer süngerlerin SEM görüntüleri Şekil 14’te, özellikleri ise Tablo 5’te verilmektedir. Şekil 14’de A serisine ait sünger malzemelerin SEM mikrograflarının incelenmesiyle tamamının bütünüyle açık gözenekli ve strut biçiminin içi dolu olduğu fark edilmiştir (Akpınar, 2009).



Şekil 14. A serisine ait poliüretan süngerlerin SEM mikrografları, a) 10 ppi boyutu, b) 20 ppi boyutu, c) 30 ppi boyutu (Akpınar, 2009).

2.5.6. Doğrudan köpükleştirme yöntemi

Doğrudan köpükleştirme yöntemiyle; seramik bileşenlerin farklı organik bileşenlerle karıştırılmasıyla malzeme içerisinde gaz kabarcığı meydana gelmesi ile (mekanik karıştırma, köpükleştirici katkı, gaz enjeksiyonu vb.) köpük yapı oluşur. Nihai gözenekli seramik malzeme kurutulmanın ardından sinterlenir. Bu prosesle açık ve kapalı gözenekli köpükler üretilebilirse de kapalı gözenekli seramik malzemelerin üretimi daha fazladır (Akpınar, 2009).



Şekil 15.a. Doğrudan köpükleştirme prosesi b. Gaz kabarcıklarının çekirdeklenmesi (Baran, 2021)

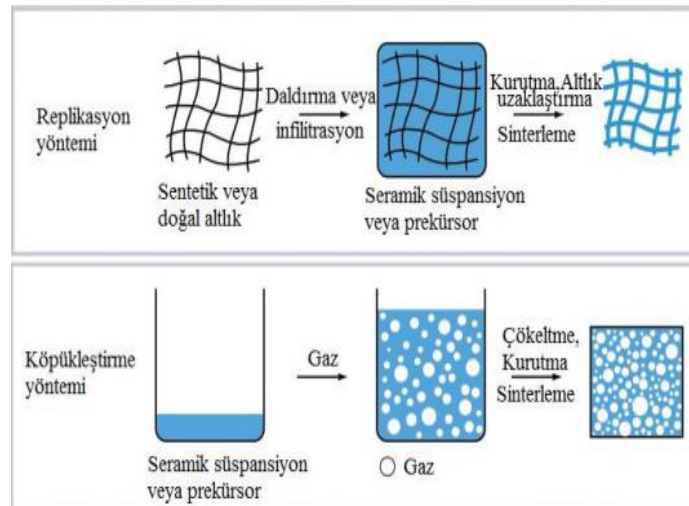
Gaz kabarcıkları öncelikle küre şeklinde çekirdeklenmekte takiben çok yüzlü hücreler olarak gelişmektedir. Şekil 15.b’de gaz kabarcıklarının ilk olarak küre şeklinde çekirdeklenmesinin akabinde çok yüzlü hücreler olarak büyümesi görülmektedir (Baran, 2021).

2.6. Replikasyon ve doğrudan köpükleştirme yöntemlerinin karşılaştırılması

Doğrudan köpükleştirme yöntemi ile elde edilen köpük seramiklerin replikasyon yöntemi ile elde edilen ağ yapılı köpük seramiklere kıyasla bazı faydaları mevcuttur. Belirli biçimlerde, birleşimde ve yoğunluktaki yapının köpükleştirme yöntemiyle rahatlıkla üretilebilmesi bunlardandır. Küçük gözenek çaplı kapalı gözenekli seramikler replikasyon yöntemi ile elde edilememektedir. Replikasyon yöntemiyle elde edilen köpük seramikler, tekdüze ve büyük oranda gözenek yapısında olmalarına rağmen, küçük gözenekler içermezler. Köpükleştirme yöntemi ile elde edilen seramiklerin mikrometre mertebesinde küçük gözenekler içermesi geniş bir yüzey alanına imkan verir. Fakat bu malzemelerin gözeneklilik oranları düşüktür. Bilhassa sıvı metal filtrasyonu için geniş yüzey alanına ve büyük oranda gözenekliliğe gereksinim duyulur. Replikasyon ya da doğrudan köpükleştirme yöntemleri toplam hacimde %70’den % 90’lara ulaşan oranlarda gözenekliliğe sahip seramik yapı oluşumuna olanak sağlamaktadırlar. Bu üretim yöntemleri ise köpük seramiklerin özelliklerinde ve hücre morfolojisinde çeşitlilik oluşturur. Replikasyon yöntemiyle üretilen köpük seramikler, köpük seramiklerle kıyaslandığında yüksek geçirgenlikte ve düşük mekanik mukavemettedirler. Bütün köpük seramiklerin en mühim özelliklerinden biri olan bağıl yoğunlukları (bulk yoğunluğu/katı yoğunluğu) karakteristik olarak 0,3’ün altındadır (Akpınar, 2009; (Dhara ve ark.,2005). Tablo 6’da bazı köpük seramik üretim yöntemlerinin kıyaslanması görülmektedir.

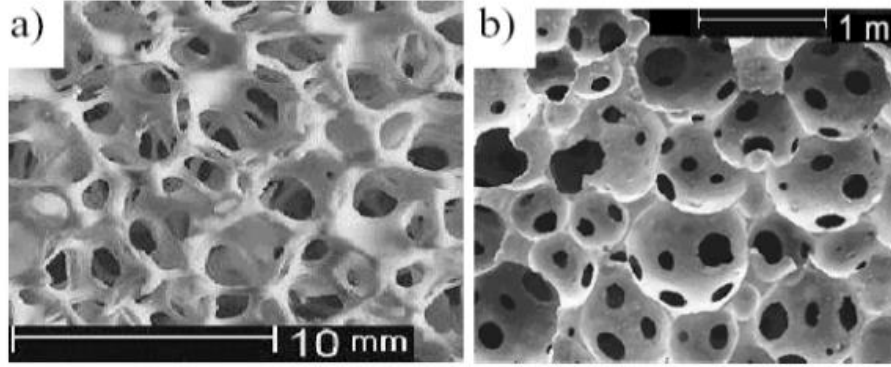
Tablo 6. Köpük seramiklerin üretim metotlarının kıyaslanması (Akpınar, 2009).

Üretim Yöntemi	Gözenek Dağılımı	Gözenek Büyüklüğü	Mekanik Özellikler	Maliyet
Doğrudan Köpükleştirme	Açık ve kapalı Gözenekli	Kontrolü zor	Mikron mertebesinde	Pahalı
Replikasyon	Açık Gözenekli	Üniform	Milimetre mertebesinde	Ucuz

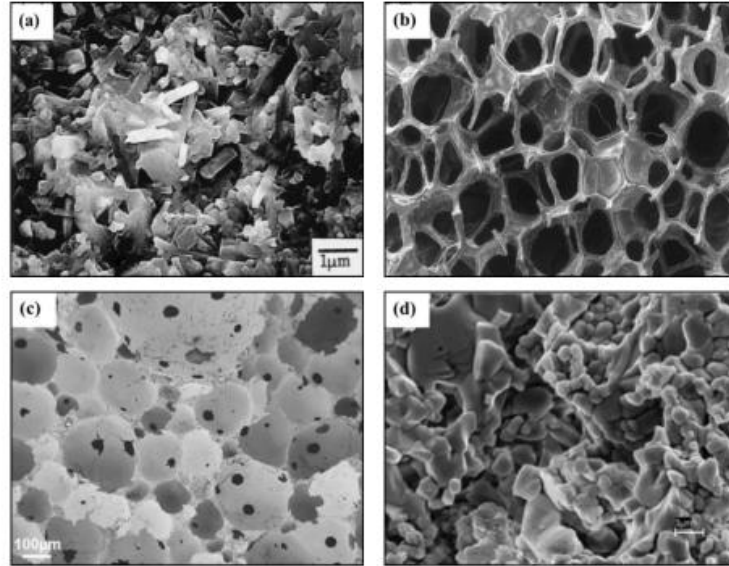


Şekil 16. Replikasyon ve köpükleştirme yöntemiyle seramik köpük üretimi (Akpınar, 2009).

Şekil 17 replikasyon ve direk köpükleştirme metotlarıyla elde edilmiş köpük seramik filtrelerin görüntüleri verilmiştir. Şekil 17 a’da replikasyon yöntemiyle elde edilen birbirine bağlantılı açık hücreli seramik ağ yapısı görülürken 17 b’de ise doğrudan köpükleştirme yöntemi ile elde edilen açık ve kapalı gözenekli hücre yapısı görülmektedir. Şekil 18’de temel gözenekli seramik üretim yöntemleriyle elde edilen bazı malzemelerin içyapıları ifade edilmiştir ve filtre amacıyla kullanıma uygun açık gözenek yapısının polimerik sünger yöntemi ile sağlanabildiği görülmektedir (Akpınar, 2009).



Şekil 17. (a) Replikasyon yöntemiyle imal edilen SiC köpük seramik filtre (b) silikon reçinenin doğrudan köpükleştirilmesi ile hazırlanan SiOC seramik filtre (Akpınar, 2009).



Şekil 18. Temel gözenekli seramik üretim yöntemleriyle üretilen seramikler (a) kısmi sinterleme ile elde edilen Si_3N_4 , (b) polimerik sünger ile elde edilen $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$ köpük, (c) doğrudan köpükleştirmeyeyle elde edilen Al_2O_3 ve (d) nişasta eklenmesiyle elde edilen Al_2O_3 (Tarhan, 2015).

2.7. Seramik Köpük Filtrelerin Uygulama Alanları

Seramik köpük malzemeler günümüzde hem filtreleme hem de yalıtım amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Doğan ve ark., 2022). Günümüz dökümhanelerinde, kaynaklı tamirlerine izin verilmeyen veya oldukça zor olan, uçak ve otomotiv sanayilerine yönelik birçok hassas parçaların üretilmesinde en çok kullanılan seramik filtreler; seramik köpük filtrelerdir. Seramik köpük filtreler, alüminyum gibi hafif metallerin ve 1800°C 'lere varan yüksek ergime sıcaklık metallerin dökümünde

yaygın olarak kullanılmaktadır. Seramik köpük filtrelerin en yaygın kullanım alanları; sıcak gaz ve ergimiş metal filtreleri, petrokimya endüstrisinde kullanılan katalitik destekler ve dizel motor egzoz filtreleridir (Er, 2004). İlerleyen uygulamalar içerisinde elektronik ve biyomedikal alanlar da bulunmaktadır (Akpınar, 2009).

3. Sonuç

Bu çalışmada, seramik köpük filtreler ve özellikleri ele alınmıştır. Seramik köpükler açık gözenekli yapıya sahip olmaları nedeniyle filtreleme uygulamalarında kullanım alanı bulmaktadır. Metaller ve polimerler ile kıyaslandıklarında ise yüksek sıcaklık dayanımları ile avantajlı olmaktadır. Bu filtreler metal dökümlerinde kullanıldıklarında daha temiz ve hatasız parçalar elde edilebilmektedir. Tek kullanımlık olmalarına rağmen petrokimya endüstrisi, elektronik ve biyomedikal alanlar gibi geniş bir uygulama alanına sahiptirler. Seramik köpük filtreler üretimde verimliliğe ve kalitede artışa katkı sağlamaktadır. Aynı zamanda pazar payı artarak devam etmektedir. Pazar payının artması seramik köpük filtreler konusuna ilginin hala devam ettiğini göstermektedir.

Yeni çalışma yapacak araştırmacılara öneri olarak;

- Filtre için gerekli açık gözenek yapısını elde etmek ve nihai ürünün gözenek boyutunun kullanılan polimerik sünger ile belirlenmesiyle istenilen özelliklere sahip filtre polimerik sünger yöntemi ile endüstriyel açıdan daha verimli ve uygun şekilde üretilebilir.
- Filtreler döküm gibi yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanıldıklarından dolayı filtre malzemeleri yüksek sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Bu yüksek sıcaklıklarda çalışmaya uygun seramik malzemelerin köpük filtre üretimi için tercih edilmesi tavsiye edilir. Aynı zamanda seramik köpük filtreler kimyasal değişikliklere, basınç ve sıcaklık değişikliklerine karşı dayanıklı olması gerektiğinden alümina, kordiyerit, mullit, silisyum karbür, silisyum nitrür içeren malzemeler filtre üretimi için tavsiye edilir.
- Köpük filtreler yüksek gözeneklilik oranına ve en yüksek eleme verimine sahip olan filtrelerdir ve metal dışı kalıntıları temizlemesiyle döküm metallerinin imalatında verimlilikteki ve kalitedeki artışa katkı sağlamaktadır. Döküm işleminde kullanılan seramik köpük filtrelerden yüksek verim elde etmek için filtrenin kalıp boşluğuna olabildiğince yakın yerleştirilmesi tavsiye edilir.

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

- Akpınar S., Altun A., Önel K. Kordiyerit esaslı silisyum karbür katkılı köpük filtrelerin karakterizasyonu ve bazı mekanik özelliklerinin belirlenmesi. Türkiye Seramik Federasyonu Dergisi 2009; 29: 140-146.
- Akpınar S. Kordiyerit mullit esaslı karbür katkılı sıvı metal filtreleri. Dokuz Eylül Üniversitesi, Doktora Tezi, sayfa no:4-38, İzmir, Türkiye, 2009.
- Aydın T., Kunduraci N. Yeni nesil alümina esaslı seramik köpük filtre üretimi. International Journal of Engineering Research & Development (IJERAD) 2022; 14(2): 861–866.
- Baran G. Replikasyon yöntemi ile SiC-Bentonit esaslı seramik köpük filtre üretimi. Yalova Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:15-17, Yalova, Türkiye, 2021.
- Bergin A., Voigt C., Fritsch R., Akhtar S., Arnberg L., Aneziris CG., Aune RE. Experimental study on the chemical stability of phosphate-bonded Al₂O₃-based ceramic foam filters (CFFs). Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science 2021; 52(4): 2008-2025.
- Brenzy R., Green DJ. Mechanical behaviour of cellular ceramics. Materials Science and Technology ed. R.W. Kahn, P. Haasen ve Kramer, E.J., vol. 11, Structure and Properties of Ceramics, Ed. M. Swain, Würzburg Germany, VCH Publishers INC, 2006.
- Dhara S., Pradhan M., Ghosh D., Bhargava P. Nature inspired novel processing routes for ceramic foams. Advances in Applied Ceramics 2005; 104(1): 9-21.
- Doğan B., Aydın T. SiC, MgCO₃ ve Li₂CO₃ ilavelerinin seramik köpükler üzerine etkisinin incelenmesi. International Journal of Engineering Research & Development (IJERAD) 2022; 14(2): 867–871.
- Er S. Silisyum karbür esaslı seramik köpük filtre üretimi. Anadolu Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 4-10, Eskişehir, Türkiye, 2004.
- <https://lma.com.tr/tr/demirdisi-grubu-urunleri/seramik-kopuk-filtreler/> Erişim tarihi:19.04.2023
- Gören R. Seramik döküm filtreleri ve alümina bazlı köpük filtre üretimi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 16-61, İstanbul, Türkiye, 1995.
- Gören R., Marsoğlu M. Metalik eriyiklerin temizlenmesinde filtreler ve köpük filtre üstünlükleri. Metal Makina Dergisi 1998; 56-64.
- Jaunich H., Aneziris CG., Hubalkova J. Innovative filter and feeder approaches for advanced metal casting technologies. Interceram Refractories Manual 2004; 18-21.
- Kelly A. Why engineer porous materials. Phil. Trans. R. Soc. A. 2006; 364: 5-14.
- Kim Y., Eom J., Kim Y., Raju S. Processing and properties of macroporous Silicon carbide ceramics : A Review Journal of Asian Ceramic Societies Processing and properties of macroporous silicon carbide ceramics : A review. Integrative Medicine Research 2013; 1: 220–242.
- Kumar BM., Kim YW. Processing of polysiloxane-derived porous ceramics: A review, Science and Technology of Advanced Materials, 2010; 11: 044303.

- Kumru C. Farklı hammadde ve tekniklerle seramik rulo/köpük filtre üretimi ve karakterizasyonu. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 1, Afyon, Türkiye, 2019.
- Montanaro L., Jorand Y., Fantozzi G., Negro A. Ceramic foams by powder processing. *Journal of European Ceramic Society* 1998; 18: 1339-1350.
- Olson RA., Martins LCB. Cellular ceramics in metal filtration. *Advanced Engineering Materials* 2005; 7: 187-192.
- Özey N. Gözenekli müllit seramiklerin üretimi ve karakterizasyonu. Bursa Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:15,21, 23, Bursa, Türkiye, 2018.
- Peng HX., Fan Z., Evans JRG. Factors affecting the microstructure of a fine ceramic foam. *Ceramics International* 2000; 26: 887-895.
- Scheffler M., Colombo P. Cellular ceramics. *Structure, Manufacturing. Properties and Applications* 2005; 670.
- Studart AR., Gonzenbach UT., Tervoort E., Gauckler LJ., Processing routes to macroporous ceramics: A review. *Journal of the American Ceramic Society* 2006; 89: 1771-1789.
- Şahin A. Uçucu kül katkılı camsı köpük malzemelerin üretim imkânlarının araştırılması. Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:27-36, Sakarya, Türkiye, 2010.
- Tarhan ŞB. Karbotermal indirgeme nitrürleme yöntemi ile dizel partikül filtre (DPF) üretimine yönelik Si_3N_4 esaslı malzeme geliştirilmesi. Anadolu Üniversitesi, Doktora Tezi, sayfa no:8, Eskişehir, Türkiye, 2015.
- Tuncay T., Özyürek D. Al-Si-Mg döküm alaşımlarında filtrasyonun mekanik özelliklere ve mikroyapıya etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2014; 29(2): 271-279.
- Voigt C., Schramm A., Nel BF., Schmid E., Malczyk P., Lkova JH., Stelter M., Charitos A., Aneziris CG. Preparation of ceramic foam filters with a Lithium-containing surface. *Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science* 2022; 53(4): 2349-2363.
- Yılmaz E., Çalışkan F. Farklı bağlayıcı ve sinterleme katkılarının SiC seramik prefom mikroyapısı üzerine etkisi. 7th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 22-24 November 2019 (ISITES2019 Sanliurfa - Turkey). doi:10.33793/acperpro.02.03.145.
- Yorulmaz A. Direkt soğutmalı döküm yönteminde sıvı metal kalitesi ve döküm şartlarının nihai ürün kalitesine etkisi. İstanbul Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 35, İstanbul, Türkiye, 2016.

Dijital Tekstil Baskı Makine Özelliklerine Genel Bir Bakış

Fusun DOBA KADEM^{1*}, Şehpal ÖZDEMİR²

^{1,2}Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, Adana

¹<https://orcid.org/0000-0002-7764-5910>

²<https://orcid.org/0000-0002-0914-9296>

*Sorumlu yazar: fusunkadem01@gmail.com

Derleme Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 03.10.2022

Kabul tarihi: 21.09.2023

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Tekstilde dijital baskı
Dijital baskı makineleri
CMYK renk sistemi
Inkjet baskı

ÖZ

Dijital baskı, tekstil yüzeyinin bilgisayar destekli bir yazılımdan faydalanarak bölgesel renklendirmesinin (baskı) yapılmasıdır. Tekstilde dijital baskı günümüzde, gelişen moda akımlarının etkisiyle en çok tercih edilen baskı türü olma yolunda hızla ilerlemektedir. Dijital baskı, kısa metraj üretime uygun, baskı kalitesi yüksek ve çevreci bir baskı çeşididir. Atık su ve enerji tasarrufu sağlamaktadır. Dijital baskıda %95 oranında daha az su ve %30 oranında da az elektrik kullanılmaktadır. Çalışmanın amacı; tekstil sektöründe hızla gelişen bir alt grup olan dijital baskıda en yaygın kullanılan baskı makinelerinin teknolojik olarak ulaştığı noktayı ortaya koymaktır. Bu kapsamda tekstil dijital baskı makinesi üreticilerinin mevcut ürün grupları incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Buna göre; çözünürlük oranı azaldıkça makine üretim hızı artmaktadır. Makinelerde kullanılan renk sayısı son teknolojilerle 12 adede kadar çıkabilmektedir. Dispers mürekkepler, dijital baskı makinelerinde ilk kullanılan mürekkepler iken, zamanla tüm mürekkep türleri uygulanmaya başlanmıştır. Makinelerde baskı yapılabilecek kumaşların kalınlığı 1mm'den 15 mm'ye kadar geniş bir aralıkta çalışabilmektedir. Dijital baskı makineleri, nihai ürün grubunun özelliklerine göre istenilen kumaş eninde baskıya imkân vermektedir.

An Overview of Digital Textile Printing Technologies

Review Article

Article History:

Received: 03.10.2022

Accepted: 21.09.2023

Published online: 11.03.2024

Keywords:

Digital printing in textile
Digital printing machines
CMYK color system
Inkjet printing

ABSTRACT

Digital printing is the regional coloring of the textile surface using computer-aided software. Digital printing in textile is advancing rapidly to become the most preferred type of printing with the effect of developing fashion trends. Digital printing is suitable for short-film production, it is a print type with high print quality and ecologic. It provides waste water and energy saving. Digital printing uses 95% less water and 30% less electricity. The aim of the study is to reveal the technological reach of the most commonly used printing machines in digital printing. In this context, the current product groups of textile digital printing machine manufacturers were examined and evaluated. According to this; as the resolution rate decreases, the machine production speed increases. The number of colors used in the machines can reach up to 12 with the latest technologies. While disperse inks were the first inks used in digital printing machines, all types of inks are now being applied. The thickness of the fabrics can be worked in a wide range from 1mm to 15mm. Digital printing machines allow the desired fabric width to be printed according to the properties of the final product group.

1. Giriş

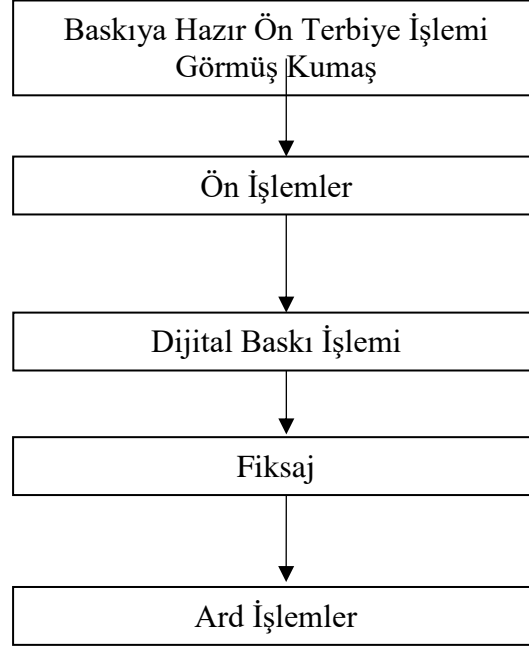
Türkiye’de tekstil ve hazır giyim sektörü ekonomik kalkınma sürecinde önemli rol oynayan bir sanayi dalıdır. Türkiye İhracatçılar Meclisi tarafından açıklanan verilere göre, 2023 yılı Ocak-Mart dönemi Türkiye’nin hazır giyim ve konfeksiyon ihracatı 2022 yılının aynı dönemine göre %4,4 artış ile 5,2 milyar dolar olmuştur. Hazır giyim ve konfeksiyon sektörü 2023 yılının ilk üç ayındaki 5,2 milyar dolarlık ihracat değeri ve genel ihracat içindeki %8,5’lik payıyla; %14’lük paya sahip olan otomotiv sektörü ve %12,1’lik paya sahip olan kimyevi maddeler sektörünün ardından üçüncü sıradadır (İstanbul Hazır Giyim ve Konf. İhracatçı Birlikleri, 2023). Bu veriler göz önüne alındığında gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, ekonomilerini dinamik tutabilmek için lokomotif sektörlerle gereken önemi vermek durumundadır. Tüm ülkelerde tekstil ve hazır giyim sektörü önemini korumaktadır, gelecekte de koruyacaktır. Bu nedenle sektördeki rekabet gücünü korumak ve geliştirmek için katma değerli ürün üretimi tek seçenek olarak görülmektedir.

Tekstil ürünleri üzerinde renkli desenler elde etmek amacıyla yapılan bölgesel boyamalara baskı denilmektedir (Tekstil sayfası, 2018). Global Baskı Federasyonu (FESPA)’ya göre; 165 milyar dolarlık tekstil pazarında, dünyada yılda 30 milyar m² baskı işlemi yapılmaktadır (Dijiport Media, 2021).

Baskı işlemi çok çeşitli yöntemlerle uygulanabilmektedir. Rotasyon, filmdruck, transfer, rulo baskı gibi çeşitli konvansiyonel yöntemlerin yanı sıra son yıllarda makine üreticilerinin dikkatlerinin merkezine geçmeye başlayan dijital (ink-jet) baskı yöntemi de geniş kullanım alanı bulmaktadır. Dijital baskı, tekstil yüzeyinin bilgisayar destekli bir yazılımdan faydalanarak bölgesel olarak renklendirmesinin yapılmasıdır. Tekstilde dijital baskı günümüzde, gelişen moda akımlarının etkisiyle en çok tercih edilen baskı türü olma yolunda hızla ilerlemektedir. Konvansiyonel yöntemlere kıyasla birçok avantajı bulunan dijital baskı sistemleri, günümüzde dünya genelindeki toplam tekstil baskı pazarının yaklaşık %5,7’sini kapsamaktadır. Küresel Dijital Tekstil Baskı Pazarı 2018’de 1,670 Milyon ABD Doları değerindedir ve 2019’dan 2026’ya kadar %14,16’lık bir CAGR(Compound Annual Growth Rate=Bileşik Yıllık Büyüme Hızı)’de büyüyerek 2026’ya kadar 4.727,6 Milyon ABD Dolarına ulaşması beklenmektedir (Verified Market Research, 2019). Endüstri 4.0 devrimi ile dijitalleşmenin başladığı günümüz piyasasında dijital baskı teknolojileri, 3D baskı teknolojileri, giyilebilir elektronikler gibi çalışmalar rağbet görmüştür (Vanderploeg ve ark., 2017; Shahrubudin ve ark., 2019; Hossain ve ark., 2020; Ismar ve ark., 2020).

Dijital baskı işlemi ve konvansiyonel baskı işlemlerinin işlem adımları arasında da önemli farklılıklar mevcuttur. Kumaşların dijital olarak basılmadan önce ön işleme tabi tutulması gerekir ve bu işlemin içeriği mürekkeplere ve baskı yapılan yüzeye bağlıdır. Ön işlemde, mürekkep kumaş üzerine ulaştığında yayılmasını, dağılmasını ve kirletmesini önleyen kimyasallar ve pH kontrol eden

kimyasallar kullanılmaktadır. Bu ön işlem adımı sonrasında belirlenmiş desen kumaşa yazıcı kafaları vasıtasıyla aktarılmaktadır. Günümüzde çoğu dijital baskı makinesinde, makineye entegre kurutucu sistemler mevcuttur. Bu işlemden sonra doymuş buhar uygulanarak fikse işlemi gerçekleştirilmekte ve tutunmamış kimyasalların uzaklaştırılması için bir yıkama işlemi yapılmaktadır. Son işlem olarak da kurutma yapılarak üretim gerçekleştirilmektedir. Genel olarak analiz edildiğinde, konvansiyonel sistemlerde baskı işleminde kumaş üretimi için haftalar gerekirken, dijital baskı sistemlerinde bu süre saatlerle ifade edilebilmektedir. Şekil 1’de dijital baskı temel işlem adımları görülmektedir.



Şekil 1. Dijital baskı proses adımları

Dijital baskı işleminin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Baskı kalitesi yüksektir. Yüksek çözünürlükte baskılar elde edilebilir.
- Makine parkı için daha az alan gerekmektedir. Ayrıca baskı işlemi talep üzerine yapılabildiğinden stoklanma gereksinimi ortadan kalkar. Böylece stok alanına da ihtiyaç duyulmaz.
- Daha ekolojik bir baskı yöntemidir. Atık su ve enerji tasarrufu sağlamaktadır. Dijital baskıda %95 oranında daha az su ve %30 oranında da az elektrik kullanılmaktadır.
- Konvansiyonel sistemlerle kıyaslandığında, mürekkep tam olarak gerektiği kadar tüketilir, atık ve/veya fazla ürün sorunu oluşmaz ve mürekkep tüketimi önemli ölçüde düşüktür. Bu da kurutma işlemi için daha düşük enerji ve atık suda daha az kirlilik anlamına gelmektedir.
- Desen, renk ve tasarım çeşitliliği sınırsızdır.
- İşlem kolaylığı sağlamaktadır. Konvansiyonel yöntemlerde baskı öncesi hazırlık işlemleri oldukça fazla zaman almaktadır ve maliyetlidir.
- Uygun boya/kumaş kombinasyonu yapıldığında mükemmel renk ve ışık haslığı sağlamaktadır.
- Kısa metraj ve numune üretim olanağı mevcuttur.

Bütün bu avantajlı yönlerine karşın, dijital baskının bazı dezavantajlı yönleri de mevcuttur.

-Yazdırma hızı nispeten daha yavaştır.

-Tüketim olarak daha az mürekkebe ihtiyaç duyulmakla birlikte, birim maliyet açısından mürekkep maliyetleri yüksektir.

-Basılı tekstil üretimi yapan firmaların çoğunun mevcut durumda konvansiyonel sistemlere sahip olduğu düşünüldüğünde, yeni teknoloji dijital baskı sistemlerine dönüşüm, ilk kurulum değeri yüksek olduğu için maliyetli ve zor olmaktadır.

- Partikül boyutunun büyük olmasından dolayı bazı metalik renkteki mürekkepler bu yöntem ile basılamamaktadır (Kiatkamjornwong ve Noguchi, 2019).

Bu konuda literatürde teknik ve üretim ile ilgili çalışmalar daha yaygın olarak yer almaktadır. Konu güncelliğini korumakta ve sürekli gelişmekte olduğu için çalışmalar günden güne artmaktadır. Dijital baskı ile ilgili yapılan akademik çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Atkı sıklığı değerlerinin dijital baskılı kumaşların baskı kalitesi üzerindeki etkisini araştıran Hajipour (2017), %100 PES hammaddeden çözgü sıklığı 75 tel/cm, atkı sıklığı da 22-24-26-28 ve 30 atkı/cm olan kumaşları üretmiş, her kumaş 5 tekrarlı olarak dijital baskı işlemine tabi tutulmuştur. 1 mm, 2 mm ve 4 mm kalınlığındaki çizgiler, 4 defa hem atkı yönünde hem çözgü yönünde olacak şekilde basılarak desen oluşturulmuştur. Sonuçlardan, çözgü ve atkı yönlerindeki baskı çizgi kalınlığının sıklık arttıkça arttığı ve dolayısıyla baskı kalitesinin düştüğü ortaya çıkmıştır. Baskılı kumaşlarda dikey kılcallık tayini de yapılmış, fakat bu değer ile baskı kalitesi arasında ilişki tespit edilememiştir. En iyi baskı kalitesinin, çözgüde 22 ve atkıda 22 tel/cm sıklık değerlerinde üretilen kumaşlara ait olduğu vurgulanmıştır (Hajipour ve ark., 2017).

Dijital baskı işlemiyle renklendirilen 100% pamuk bezayağı dokuma kumaşlarla ilgili çalışmada Asif (2017), ön işlem patında 3 farklı kıvamlaştırıcı kullanmıştır. Çalışmada, kuru ve yaş sürtme haslığı ve yıkama haslığı test sonuçları değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, en iyi sonucu Prepajet Uni isimli kıvamlaştırıcı kimyasal vermiştir. Sodyum alginat kıvamlaştırıcının en kötü haslık değerlerine sahip olduğu görülmüştür (Asif MS, 2017).

Şahin ve Açıkgöz 2018 yılında binder çözeltilerinin pamuklu kumaşa uygulanan dijital baskı işleminin renk haslığı değerleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak yıkama haslıklarının 4/5, ışık haslıklarının 5, sürtme haslıklarının da 3 ile 4/5 arasında olduğu analiz edilmiştir. En iyi haslık sonuçları %25 binder ve %12 katalizör kullanılarak hazırlanan reçete ile muamele edilen kumaşlarda ortaya çıkmıştır (Şahin ve Açıkgöz, 2018). 2009 yılında yayınlanan Selçuk'un yüksek lisans tez çalışmasında, dijital baskıda kumaşa uygulanan ön işlemlerin baskı kalitesine etkisi araştırılmıştır. Bulgular değerlendirildiğinde alkalinin 20 g/l oranında kullanılmasının en iyi renk ve haslık sonucunu verdiği görülmüştür. Üre miktarı arttıkça renk verimi de artmıştır. Ancak optimum değer üre için 100 g/l olarak verilmiştir. Kıvamlaştırıcı miktarının artması renk verimini ciddi derecede arttırmıştır. Bu çalışmada kıvamlaştırıcı kimyasalı için optimum değer 100-125 g/l arasında değişmiştir (Selçuk, 2009).

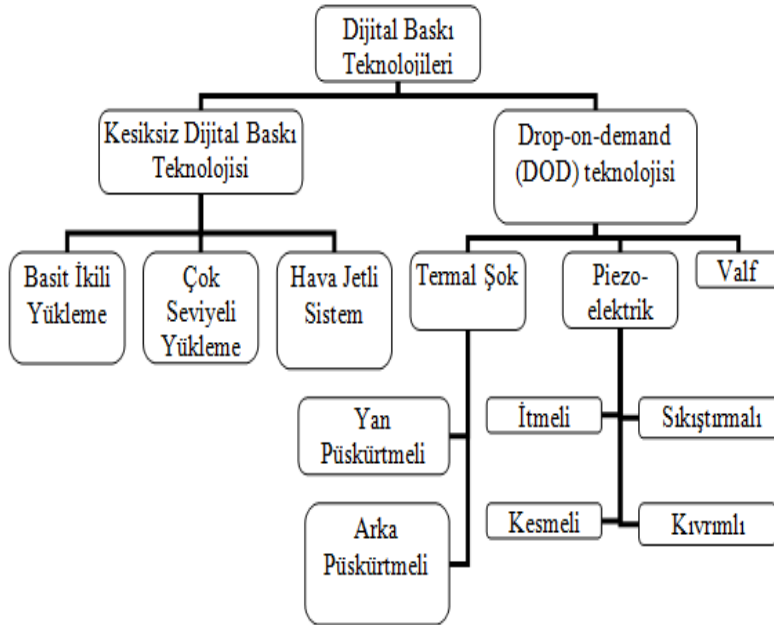
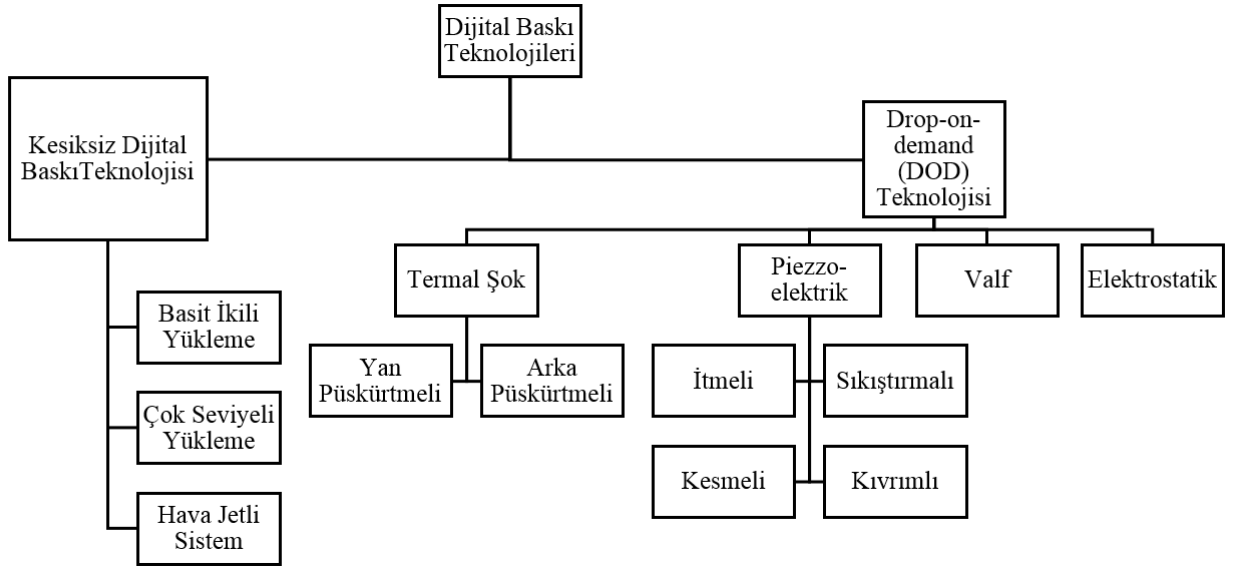
Kiatkamyornwong ve ark., 2005 yılında dijital baskı ile şablon baskı yöntemlerinin baskı kalitesi özelliklerini incelemiştir. %100 pamuk kumaşa hem dijital baskı ile hem de şablon baskı ile 4 renk baskı yapılmıştır. Baskı patlarının reolojik özellikleri ile birlikte kumaşların eğilme dayanımı, sürtme haslığı ve hava geçirgenliği değerleri ölçülmüş, SEM analizleri ve spektrofotometrik renk analizleri yapılmıştır. 4 uygulamanın ilkinde ön işlemsiz tek geçiş dijital baskı, ikincisinde ön işlemlili tek geçiş dijital baskı, üçüncüsünde ön işlemlili 3 geçiş dijital baskı ve sonuncusunda da ön işlemsiz şablon baskı yapılmıştır. Sürtme haslığı test sonuçları değerlendirildiğinde dijital baskı yönteminin şablon baskıdan daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Kumaşların tutum açısından değerlendirmeleri yapıldığında, eğilme dayanımı değerleri şablon baskılı kumaşlarda daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca dijital baskılı kumaşların hava geçirgenliği daha iyi çıkmıştır (Kiatkamjornwong ve ark., 2005).

2. Dijital Baskı Teknolojileri

Dijital baskı makineleri, baskı kafası (Printer), yazılım (software) ve mürekkep (ink) olmak üzere 3 temel bileşenden oluşmaktadır. Dijital tekstil baskısının ilk uygulaması STORK firması tarafından ITMA'91'de saatte 1 metrekare kumaş basabilen bir sistemle başlamıştır (Dijiport Media, 2021). Dijital tekstil baskı mürekkebi pazarında faaliyet gösteren kilit oyuncular arasında DowDuPont Inc., BASF SE, Jay Chemical Industries Ltd., SPG Baskıları, Global Imaging ve Huntsman Corporation bulunmaktadır.

Makinelere fiyatı etkileyen faktörler; baskı kafası (Epson, Fujifilm, Kyocera, vb.), hız ve makine gövdesi kalitesi (elektrikli ve diğer mekanik parçalar dahil) olarak sıralanabilmektedir.

Dijital baskı makineleri kullanılan teknolojilere göre sınıflandırılmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Dijital baskı makine çeşitleri

2.1. Kesiksiz İnk-Jet Sistemler

Kesiksiz ink-jet, en eski teknolojidir. Bu teknolojilerin ortak özelliği mürekkep damlalarının (veya akımının) devamlı olarak püskürtülmesidir. Püskürtülen mürekkebin basılacak desene uygun olarak kumaş üzerine saptırılması farklı yöntemlerle yapılmaktadır.

2.1.1. Basit ikili yükleme

Bu yöntemde mürekkep damlaları şarj elektrotunda sabit gerilim altında yüklenerek yüklü ve yüksüz olmak üzere iki çeşit mürekkep damlası elde edilmektedir. Daha sonra saptırma plakaları arasından geçerken yüklü olan damlalar sapar ve materyale ulaşır, yüksüz olanlar sapmaz ve geri besleme haznesinde toplanırlar.

2.1.2. Çok seviyeli yükleme

Bu yöntemde mürekkep damlalarına farklı seviyelerde yükleme yapılmaktadır ve damlalar saptırma plakaları arasından geçerken sahip oldukları yük seviyesine göre farklı açılarda sapmaya uğramaktadır.

2.1.3. Hava jetli sistemler

Hava jetli sistemlerde diğer iki teknolojideki saptırma plakalarının yerini basınçlı hava almaktadır. Desene bağlı olarak basılmaması gereken bölgelerde hava valfleri açılarak, mürekkep saptırılmaktadır.

2.2. Drop-on-demand (Kesikli) Teknolojisi

Damlaların, desene göre gereken durumlarda üretildiği sistemlerdir. Püskürtme başlığı arkasındaki haznede bulunan mürekkep, ani bir şekilde, mekanik, elektriksel veya termal şok yardımı ile damlalar halinde püskürtülmektedir.

2.2.1. Termal şok teknolojisi

Termal ink-jet sisteminde damlalar ani bir şekilde oluşturulan yüksek sıcaklığın etkisiyle meydana gelmektedir.

2.2.2. Piezoelektrik teknolojisi

Burada mürekkep damlaları termal şoktaki rezistans ısıtma yöntemi yerine düze çevresine yerleştirilen piezoelektrik elemanların titreşimiyle oluşturulmaktadır. Oldukça fazla sayıda firmanın kullandığı yaygın bir sistemdir.

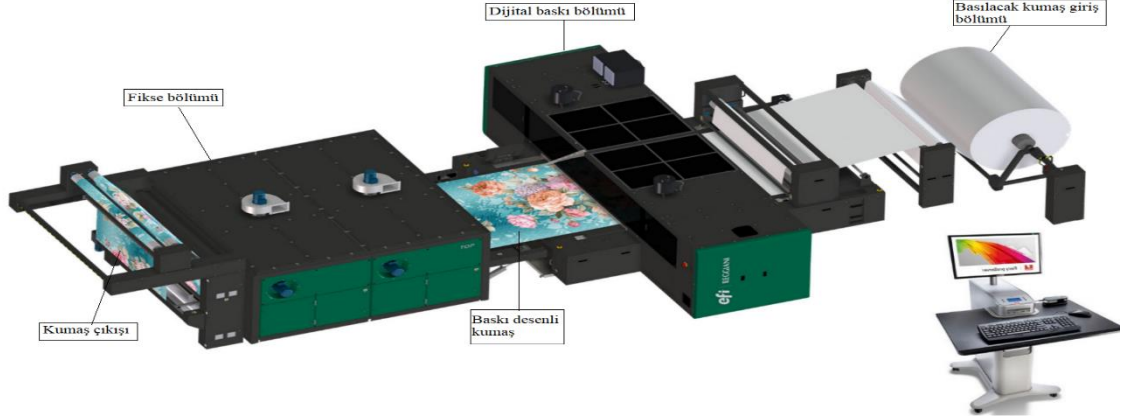
2.2.3. Elektrostatik sistemler

Elektriksel olarak iletken mürekkeplerin kullanıldığı bu prensip, DOD(Drop-on-demand) sistemler arasında en az öneme sahip yöntemdir.

2.2.4. Valf sistemleri

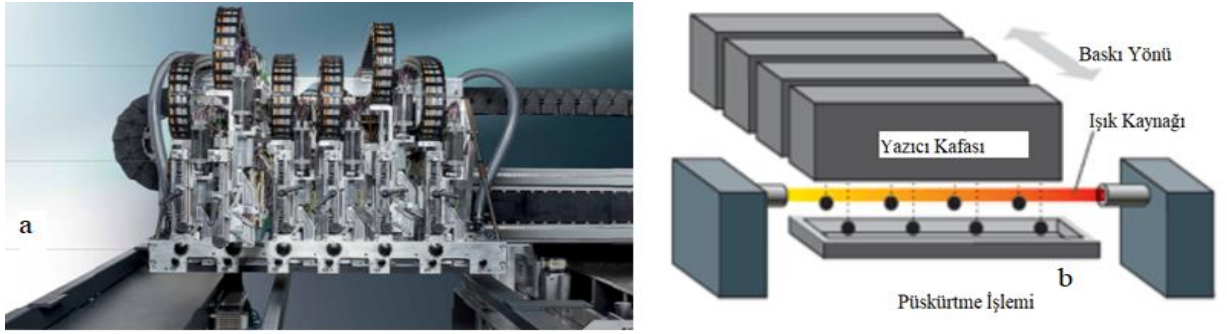
DOD yöntemleri arasındaki en basit sistemdir. Mürekkep, düze çıkışına yerleştirilen valflerle kontrol edilmektedir (Ütebay, 2010; Kanık-BUTEKOM, 2015).

Şekil 3'te dijital baskı makinesi bölümleri görülmektedir. Baskıya hazır kumaş dijital baskı makinesinin kumaş giriş kısmından girerek dijital baskı bölümüne geçmektedir. Bilgisayar yazılımı ile hazırlanan desenin baskı makinesine iletilmesi ile baskı işlemi gerçekleşmektedir. Baskı makinesine entegre ısıtıcı ile ilk ıslaklığı alınan kumaş, renklerin sabitlenebilmesi için fikse bölümünde fikselenmektedir.



Şekil 3. Dijital baskı makinesi bölümleri (Efi, 2021)

Şekil 4'te ise baskı makinesinde püskürtme işleminin nasıl olduğu ifade edilmektedir. Boyarmadde içeren mürekkep, yazıcı kafalarından hareketli bant üzerindeki kumaşa püskürtülmektedir.



Şekil 4. Baskı yazıcısı görseli(a) ve yazdırma işlemi (b)

3. Bulgular ve Tartışma

Tekstil ürünlerinde dijital baskı, kumaş baskı alanının en hızlı büyüyen pazarlarından birini kapsamaktadır. Avrupa'da bu pazarda İtalya ve Türkiye başı çekerken, Çin'de de dijital baskıcılığın çok yaygın kullanımı bulunmaktadır. Bu çalışmada, tekstil sektöründe hızla gelişen bir alt grup olan dijital baskıda en yaygın kullanılan baskı makinelerinin teknolojik olarak ulaştığı noktanın, marka, model, kullanılan teknoloji, mürekkep türleri, nozzle sayısı, baskı eni, basılabilecek maksimum kumaş kalınlığı, çözünürlük/hız ve renk sayısı bakımlarından karşılaştırılarak ortaya konulması hedeflenmiştir. Bu kapsamda her geçen gün önem kazanarak konvansiyonel baskının yerine geçmeye başlayan ve geleceğin teknolojisi olarak görülen dijital baskının endüstrideki önemli teknoloji markalarının mevcut ürün grupları incelenmiş, kumaşa direkt baskı yapılan makineler ve teknolojileri değerlendirilmiştir.

3.1. Makine- Kumaş Özellikleri

Belirlenen bazı markaların güncel ürünlerinden bazılarının kumaş baskı eni ve kullanılabilecek maksimum kumaş kalınlığı verileri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Makine- kumaş özellikleri analizi (Kornit, 2021; Efi, 2021; Konica Minolta, 2021; Mimaki, 2021; Mutoh, 2021; SPG Prints, 2021)

Marka	Model	Baskı Eni mm	Kumaş Kalınlığı (Max.mm)	
REGGIANI (İtalya)	VOGUE	1800	-	
	POWER	1850	-	
	BOLT	1950	-	
	TOP	1800	2400	-
		3400		
	COLORS	1800	2400	-
		3400		
KONICA MINOLTA (Japonya)	NASSENGER 10	1850	8	
	NASSENGER 8	1850	15	
	NASSENGER PRO 60	1850	3	
	NASSENGER PRO 120	1850	3	
	NASSENGER PRO 1000	1850	8	
MIMAKI (Japonya)	TX-300P-1800	1920	1	
	TX-300P-1800B	-	1	
	JV-34-260	-	-	
	TX-500-1800B	-	5	
	JV 300	130	1361	1
		160	1610	
KORNIT (İsrail-Amerika)	PRESTO	1800	10	
MUTOH (Amerika)	VJ-1938TX	1910	3,5	
SPG PRINTS (Hollanda)	JAVELIN	1850	-	
		3200	-	
	PIKE	-	-	

Dijital baskı makinelerinde baskı kalitesini etkileyen çözünürlük, hız, kullanılacak renk sayısı gibi birçok parametre vardır. Çözünürlük inçteki damla sayısı / Dot per inch (dpi) ile ifade edilir. Makinelerin çözünürlük ve baskı kalitesi özellikleri Tablo 3’te gösterilmiştir.

Tablo 2. Makine- baskı kalitesi özellikleri analizi (Kornit, 2021; Efi, 2021; Konica Minolta, 2021; Mimaki, 2021; Mutoh, 2021; SPG Prints, 2021)

Marka	Model	Kullanılan Teknoloji	Mürekkep türleri	Nozzle sayısı	Çözünürlük/hız	Renk Sayısı
REGGIANI	VOGUE	-	Reaktif Dispers	-	Max. Çözünürlük 2400 dpi MAX HIZ 325 m ² /h	
	POWER	-	Reaktif Dispers Asit Pigment Süblimasyon	-	Max. Çözünürlük 2400 dpi MAX HIZ 190 m ² /h	
	BOLT	SINGLE PASS	Reaktif Dispers Asit Pigment Süblimasyon	-	Max. Çözünürlük 600*4800 dpi MAX. HIZ 90m/d	
	TOP	-	Reaktif Dispers Asit Pigment Süblimasyon	-	Max. Çözünürlük 2400 dpi MAX HIZ 1600 m ² /h	8
	COLORS	-	Reaktif Dispers Asit Pigment Süblimasyon	-	Max. Çözünürlük 2400 dpi MAX HIZ 564 m ² /h	12
KONICA MINOLTA	NASSENGER 10	Drop-On-Demand-Piezzo Ink-Jet	Reaktif Dispers Asit	1024	230 m ² /h 450 m ² /h 580 m ² /h	8
	NASSENGER 8	Drop-On-Demand-Piezzo Ink-Jet	Reaktif Dispers Asit	1024	-	-
	NASSENGER PRO 60	Drop-On-Demand-Piezzo Ink-Jet	Reaktif Dispers Asit	512	-540*360 dpi hız: 60 m ² /h -540*540 dpi hız: 40 m ² /h -540*720 dpi hız: 30 m ² /h -900*720 dpi hız: 20 m ² /h	9
	NASSENGER PRO 120	Drop-On-Demand-Piezzo Ink-Jet	Reaktif Dispers Asit	1024	-540*360 dpi hız: 120 m ² /h -540*720 dpi hız: 60 m ² /h -540*1080 dpi hız: 40 m ² /h -900*720 dpi hız: 40 m ² /h	9
	NASSENGER PRO 1000	Drop-On-Demand-Piezzo Ink-Jet	Reaktif Dispers Asit	1024	-540*360 dpi hız: 1000 m ² /h -540*720 dpi hız: 600 m ² /h -900*360 dpi hız: 730 m ² /h -900*720 dpi hız: 420 m ² /h	9

Tablo 2 devamı. Makine- baskı kalitesi özellikleri analizi (Kornit, 2021; Efi, 2021; Konica Minolta, 2021; Mimaki, 2021; Mutoh, 2021;SPG Prints, 2021)

Marka	Model	Kullanılan Teknoloji	Mürekkep türleri	Nozzle sayısı	Çözünürlük/hız	Renk Sayısı
MIMAKI	TX-300P-1800	Drop-On-Demand-Piezzo Ink-Jet	Süblimasyon Dispers Pigment Reaktif Asit	-	360-1440 dpi Max. Hız 66 m ² /h	-
	TX-300P-1800B	Drop-On-Demand-Piezzo Ink-Jet	Süblimasyon Dispers Pigment Reaktif Asit	-	360-1440 dpi Max. Hız 53 m ² /h	-
	JV-34-260	Drop-On-Demand-Piezzo Ink-Jet	Dış Ortama Dayanıklı, Düşük Solvent İçeren Mürekkepler	-	1440 dpi Max. Hız 29,9 m ² /h	-
	TX-500-1800B	Drop-On-Demand-Piezzo Ink-Jet	Süblimasyon Reaktif	-	360-1200 dpi Max. Hız 140 m ² /h	-
	JV 300	130 ----- 160	Drop-On-Demand-Piezzo Ink-Jet	-	360-1440 dpi Max. Hız 105,9 m ² /h	4,6,7, 8
KORNIT	PRESTO	Drop-On-Demand-Piezzo Ink-Jet- Single Pass	Pigment	-	-800*400 dpi hız: 266 m ² /h -1000*400 dpi Hız: 230 m ² /h -600*800 dpi hız: 150 m ² /h -1000*800 dpi Hız: 116 m ² /h	-
MUTOH	VJ-1938TX	Drop-On-Demand-Piezzo Ink-Jet	Pigment Reaktif Dispers Asit	1440	Max. Hız 40 m ² /h	4
SPG PRINTS	JAVELIN	-	Reaktif Asit Süblimasyon	-	Max. Hız 550 m ² /h Max. Çözünürlük 1200*1200 dpi	6
	PIKE	-	-	-	Max. Hız 40 m/dk Max. Çözünürlük 1200*1200 dpi	9

4. Sonuç

Çalışmada, dijital tekstil baskısında sektörde en yaygın kullanılan baskı makinelerinin teknolojik özellikleri araştırılmıştır. Bu kapsamda tekstil dijital baskı makinesi üreticilerinin mevcut ürün grupları incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Bu sayede, tekstil sektöründe hızla gelişen bir alt grup olan dijital baskıda en yaygın kullanılan baskı makinelerinin teknolojik olarak ulaştığı noktanın, marka, model, kullanılan teknoloji, mürekkep türleri, nozzle sayısı, baskı eni, basılabilecek maksimum kumaş kalınlığı, çözünürlük/hız ve renk sayısı bakımlarından karşılaştırılarak ortaya konulması

hedeflenmiştir. Bu çalışmanın literatüre diğer bir katkısı da bu konuda çalışma yapmak isteyen araştırmacılara genel teknik bilgi akışı sağlamaktır.

Dijital baskı, dokuma, örme ve her tür tekstil yüzeylerine verimli bir şekilde uygulanabilmektedir. Çözünürlük oranı azaldıkça, makine üretim hızı artmaktadır.

Makinelerde kullanılan renk sayısı son teknolojilerle 12 adede kadar çıkabilmektedir. Dispers mürekkepler, dijital baskı makinelerinde ilk kullanılan mürekkepler iken, zamanla tüm mürekkep türleri uygulanmaya başlanmıştır. Makinelerde baskı yapılabilecek kumaşların kalınlığı 1mm'den 15 mm'ye kadar geniş bir aralıkta çalışabilmektedir. Dijital baskı makineleri, nihai ürün grubunun özelliklerine göre istenilen kumaş eninde baskıya imkân vermektedir.

Nozzle sayısı incelendiğinde ise genellikle 1024 nozzle kullanılan makineler yaygınlaşmıştır. Ayrıca Piezzo-elektrik sistemlerin en çok tercih edilen teknoloji olduğu gözlenmiştir.

Farklı tasarım seçeneklerinin geniş bir yelpazede renklendirme olanaklarını ortaya koyabilmesi ve günümüz modasının sunduğu kişiye özel tasarım ayrıcalığını tüketicilere hızlı bir şekilde yaşatabilmesi, dijital baskıyı daha fazla tercih edilir kılmaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

Asif MS. Digital printing on textiles: evolution, progression and techniques. In M. I. Kiron (Ed.), Textile Learner. Karachi, Pakistan. 2017.

Dijiport Media. <https://www.dijiportmedya.com/endustri-guncel/165-milyar-dolarlik-sektor-daha-yesil-olacak-h1888.html> Erişim Tarihi: 20.08.2021

Efi. Efi Dijital baskı cihaz kataloğu. <https://www.efi.com/products/inkjet-printing-and-proofing/> Erişim Tarihi:20.08.2021

Hajipour A., Shams-Nateri A. The effect of fabric density on the quality of digital printing on polyester. Fibers and Polymers 2017; 18; 2462-2468.

Hossain MDS., Tianzhi L., Yang Y., Jason Y., Je-Hyeong B., Stan SK. Recent advances in printable thermoelectric devices: materials, printing techniques, and applications. RSC Advances. 2020;10; 8421-8434. 10.1039/C9RA09801A.

<https://tekstilsayfasi.blogspot.com/2018/06/baski-nedir.html> Erişim Tarihi: 19.11.2019

Ismar E., Kurşun S., Kalaoglu F., Koncar V. Futuristic clothes: Electronic Textiles and Wearable Technologies. Global Challenges 2020; 4, 1900092.

- İstanbul Hazır Giyim ve Konf. İhracatçı Birlikleri Ocak-Aralık Raporu, <https://www.ihkib.org.tr/fp-icerik/ia/d/2021/01/18/hazirgiyim-ve-konfeksiyon-sektoru-ocak-aralik-2020-202101181031290760-3A350.pdf> Erişim Tarihi:21.06.2023
- Kanık M.,- BUTEKOM. Dijital ve rotasyon baskıda yenilikler eğitim kitapçığı. Butekom, 2015.
- Kiatkamjornwong SP., Noguchi P. Comparison of textile print quality between inkjet and screen printings. *Surface Coatings International Part B: Coatings Transactions*, 2005;88(1):25-34. doi:10.1007/bf02699704<https://www.quora.com/What-are-the-benefits-of-digital-fabric-printing> Erişim Tarihi: 19.11.2019
- Konica Minolta. Konica Minolta Dijital Baskı Cihaz Kataloğu, https://www.konicaminolta.com/inkjet/textile_printers/index.html Erişim Tarihi:20.08.2021
- Kornit. Kornit Dijital Baskı Cihaz Kataloğu. <https://www.kornit.com/printing-segment/df-roll-to-roll/> Erişim Tarihi:20.08.2021
- Mimaki. Mimaki Dijital Baskı Cihaz Kataloğu. <https://www.mimaki.com.tr/products/tekstil-baski-makineleri/> Erişim Tarihi:20.08.2021
- Mutoh. Mutoh Dijital Baskı Cihaz Kataloğu. <https://mutoh.eu/en/products/direct-textile> Erişim Tarihi:20.08.2021
- Selçuk E. Ink jet baskıda kumaşa uygulanan ön işlemlerin baskı kalitesi üzerine etkilerinin araştırılması. Yüksek lisans tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 83 s, 2009.
- Shahrubudin N., Lee TC., Ramlan R. An overview on 3D printing technology: Technological, Materials, and Applications. *Procedia Manufacturing*, 2019;35:1286-1296.
- SPG Prints. SPG Print Dijital Baskı Cihaz Kataloğu, <https://www.spgprints.com.tr/%c3%bcr%c3%bcnler/bask%c4%b1-ekipmanlar%c4%b1/dijital-tekstil> Erişim Tarihi:20.08.2021
- Şahin UK., Açıkgöz H. Effects of binder solution on color fastness of digital printed cotton fabric. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018:460, 012038.
- Ütebay B. Pamuklu kumaşlara uygulanan ink-jet baskı işleminde renk verimine etki eden faktörlerin incelenmesi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 2010.
- Vanderploeg, A., Lee S., Mamp M. The application of 3D printing technology in the fashion industry. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 2017; 10(2): 170-179.
- Verified Market Research. https://www.verifiedmarketresearch.com/product/digital-textile-printing-market/?utm_medium=PK&utm_source=Quora Erişim Tarihi: 19.11.2019.

Mikroplastiklerin İnsan Sağlığı ve İmmün Sistem Üzerine Etkileri: Yaşamın Erken Döneminde Maruziyet

Gamze DOĞDU^{1*}, Şeyda KARABÖRK², Mustafa DİLEK³

¹Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 14030, Bolu

²Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Tıbbi Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, 14030, Bolu

³Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Anabilim Dalı, 14030, Bolu

¹<https://orcid.org/0000-0002-0278-8503>

²<https://orcid.org/0000-0002-9026-4485>

³<https://orcid.org/0000-0002-3802-0336>

*Sorumlu yazar: gamzedogdu@ibu.edu.tr

Derleme

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 17.04.2023

Kabul tarihi: 24.09.2023

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Mikroplastikler

İnsan maruziyeti

Yenidoğan

İmmün sistem

Erken gelişim dönemi

Çevre kirliliği

ÖZ

Mikroplastikler (MP'ler), potansiyel çevresel ve insan sağlığı riskleri oluşturmaları nedeniyle akademik, sosyal ve politik tartışmaların önemli konularından biridir. Hamilelik, bebeklik ve çocukluk dönemleri çevresel maruziyet açısından hassas dönemlerdir. Bununla birlikte, nano- ve mikroplastiklere (NMP'ler) maruz kalmanın sağlık üzerindeki etkileri geniş ölçüde araştırılmamıştır ve erken yaşamda maruz kalmanın etkilerine yönelik spesifik yöntemlerle yapılan çalışmalar literatürde sınırlıdır. MP'lerin başta yeni doğanlar olmak üzere çocuklar üzerindeki toksikolojik etkilerine yeterince dikkat edilmediği göz önünde bulundurularak bu derlemede konunun öneminin vurgulanması, gerekli önlemlerin alınması, toplumun ve konuyla ilgili sektörlerin bilinçlendirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca, bu farkındalık sayesinde, yaşamın erken dönemlerinde plastiğe maruziyetin azaltılmasına yönelik fırsatlara vesile olacak tedbirlerle yönelik öneriler sunulmaktadır.

Effects of Microplastics on Human Health and the Immune System: Exposure in Early Life

Reviews

Article History:

Received: 17.04.2023

Accepted: 24.09.2023

Published online: 11.03.2024

Keywords:

Microplastics

Human exposure

Newborn

Immune system

Early development stage

Environmental pollution

ABSTRACT

Microplastics (MPs) are one of the important topics of academic, social, and political debates as they pose potential environmental and human health risks. Pregnancy, infancy, and childhood are sensitive periods for environmental exposure. However, the effects of exposure to nano- and microplastics (NMPs) on health have not been studied to a large extent, and studies with specific methods for the effects of exposure in early life are limited in the literature. Considering the lack of attention to the toxicological effects of microplastics on children, especially newborns, this review aims to emphasize the subject's importance, take necessary precautions, and raise awareness of society and related sectors. In addition, through this awareness, it offers suggestions for measures that will lead to opportunities to reduce exposure to plastic in the early stages of life.

To Cite: Doğdu G., Karabörk Ş., Dilek M. Mikroplastiklerin İnsan Sağlığı ve İmmün Sistem Üzerine Etkileri: Yaşamın Erken Döneminde Maruziyet. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(2): 902-923.

1. Giriş

Küresel plastik kirliliği, son 70 yıldan beri dünya çapında artan plastik üretimi sonucu günümüzde en ciddi çevre ve sağlık endişelerinden birini oluşturmaktadır (Campanale ve ark., 2020; Moreau ve ark.,

2021; Song ve ark., 2021; Callaghan ve ark., 2022). Küresel plastik üretimi 2019 yılında 368 milyon metrik tona (Mt) ulaşmış olup bunun 20 yıl içinde iki katına çıkacağı tahmin edilmektedir (Lebreton ve Andrady, 2019; PlasticsEurope, 2020). Birleşmiş Milletler (BM) Genel Kurulu'nun 70/1 sayılı kararı olan 2030 Gündemi'nin içerisinde yer alan 17 adet Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinden (SDGs) birisi olan plastiklerin çevreden uzaklaştırılması ve plastik üretimine bağlı sağlık risklerinden kaçınılması, özellikle hedeflerden 1, 2, 3, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14 ve 15 ile ilişkilidir (Walker, 2021). Mikroplastikler (MP'ler), boyutları 5 mm'den küçük ve dünyanın hemen her köşesinde bulunan plastik parçacıklardır (Carbery ve ark., 2018). Plastikler, hidrokarbonlardan ekstrakte edilen monomerlerin polimerizasyon işlemi tarafından oluşturulan sentetik organik polimerlerdir (Rios ve ark., 2007). Plastik veya sentetik organik polimerler, kömür, doğal gaz ve ham petrol gibi doğal, organik polimer malzemeler tarafından izolasyon veya polikondenzasyon prosesleriyle meydana gelirler (Phuong ve ark., 2016). Plastikler fiziksel ve kimyasal parçalanmaya karşı dirençli olduklarından dolayı kararlı bir yapıya sahiptir. Ayrıca, düşük yoğunlukları ve maliyetleri ile birleştiğinde korozyon direnci, onları muazzam çeşitlilikteki tüketici ürünlerinde kullanıma uygun hale getirir (Kannan ve Vimalkumar, 2021). MP'lerin, ağır metaller, polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH), poliklorlu bifeniller (PCB), organoklorlu pestisitler (OCP) ve farmasötikler ve ilaç endüstriyel katkı maddeleri olarak kullanılan polibromludifenil eterler (PBDE'ler) gibi bromlu alev geciktiriciler, kurşun ısı stabilizatörleri ve ftalat plastikleştiriciler gibi kirleticilerden oluşan bir kokteyl olan eser konsantrasyonlarda kimyasal kirleticileri absorbe ettiği bilinmektedir (Halden, 2010; Lithner ve ark., 2011; Rochman ve ark., 2015; Brennecke ve ark., 2016; Camacho ve ark., 2019). Plastik atıklar, kişisel bakım ürünlerindeki mikro boncuklar ve giysilerdeki sentetik lifler gibi çeşitli kaynaklardan gelmektedirler. Tüm bu özelliklerinin yanı sıra, MP'lerin son yıllarda çevre ve halk sağlığı açısından çeşitli tehditler oluşturduğu da bilinmektedir (Çelik ve ark., 2022). Özellikle MP'ler, iklim değişikliği, özellikle yaşamın erken dönemi olarak tarif edilen yenidoğanlar ve bebekler birbiriyle yakından ilişkili önemli konular olarak son yıllarda gündemde hararetle tartışılmaktadır (The Guardian, 2020; Open Access Government, 2022; Euronews.green, 2021).

Öncelikle "yenidoğan (infant)" ve "bebek (baby)" arasındaki temel farklılıkların tanımlanması yenidoğan (infant) bebekler üzerindeki MP'lerin etkilerinin tartışılması öncesinde oldukça önemlidir. Her ne kadar "yenidoğan (infant)" ve "bebek (baby)" terimleri küçük çocukları anlatmak için atıfta bulunurken kullanılsa da anlamlarında ve kullanımlarında ince farklılıklar bulunmaktadır. "Yenidoğan", bir çocuğun yaşamının ilk 4 haftasına (~ 28 gün) denk gelen en erken aşamasını ifade ederken, "bebek" yaklaşık iki veya üç yaşına kadar olan küçük çocukları ifade edebilen daha geniş bir terimdir. Her iki terim de yaşamın erken evrelerinde genç, bağımlı ve gelişmekte olan bireyleri tanımlamak için kullanılmaktadır (<https://www.who.int/westernpacific/health-topics/newborn-health>). Yenidoğanlar hem MP'lerin hem de iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı oldukça hassas oldukları için toplumun en savunmasız üyeleridir. MP'ler üzerine yapılan araştırmalar, MP'lerin balık ve kabuklu deniz hayvanları gibi canlılar tarafından alınabileceğini ve dokularında birikerek potansiyel

olarak insan sağlığı için risk oluşturabileceğini göstermiştir (Smith ve ark., 2018). Ayrıca, musluk suyunda, şişelenmiş suda ve hatta soluduğumuz havada bile MP'lerin bulunması da insanların plastik maruziyeti risklerini giderek arttırmaktadır (Zhang ve ark., 2020). Bunların yanı sıra, MP'lerin vücuttaki hormonları düzenleyen endokrin sistemi bozabileceği ve potansiyel olarak bebeklerde gelişimsel ve üreme sorunlarına neden olabileceği gösterilmiştir. Fakat nano ve mikroplastiklere (NMP'ler) maruz kalmanın sağlık üzerindeki etkileri henüz büyük ölçüde araştırılmamış veya bu konuda spesifik olarak belirlenmiş metotlarla yapılan özellikle erken yaşam maruziyeti açısından incelemelere literatürde yeterince rastlanılmamıştır (Sripada ve ark., 2022). Hamilelik, yenidoğan dönemi, bebeklik ve çocukluk, çevresel maruziyet için hassas dönemlerdir. Yenidoğanın MP'lere maruz kalmasının etkileri, devam eden bir araştırma konusudur ve sonuçların boyutu henüz tam olarak anlaşılammış olsa da, birkaç potansiyel etki tanımlanmıştır (Amran ve ark., 2022):

*Gelişimsel ve Üremeyle İlgili Endişeler: Yenidoğanın MP'lere maruz kalması, üreme ve endokrin sistemlerinin gelişimini etkileyebilmektedir. Bu parçacıklar, hormonal dengeyi bozabilecek, potansiyel olarak gelişimsel anormalliklere ve yaşamın ilerleyen dönemlerinde üreme sorunlarına yol açabilecek çeşitli katkı maddeleri, kimyasallar ve kirleticiler içerdiklerinden bu etkilerden söz edilebilir.

*Enflamasyon ve Bağışıklık Yanıtı: Yenidoğanların bağışıklık sistemleri hala gelişmektedir ve MP'ler vücutta enflamasyonu tetikleyebilir. Bu parçacıklara maruz kalmak, bağışıklık sistemi işlev bozukluğuna yol açarak yenidoğanları enfeksiyonlara ve uzun süreli bağışıklıkla ilgili kalıcı bozukluklara karşı daha duyarlı hale getirebilir.

*Nörolojik Etkiler: Erken yaşıta MP'lere maruz kalma, potansiyel nörolojik etkilerle ilişkilendirilmiştir. Bazı araştırmalar, bu parçacıkların nöral gelişimi ve davranışı etkileyebileceğini, potansiyel olarak öğrenme güçlüklerine, bilişsel bozukluklara ve değişen beyin işlevlerine yol açabileceğini öne sürmektedir.

*Gastrointestinal Problemler: Yenidoğanlar genellikle doğal bir keşif davranışı olarak nesnelere ağızlarına sokarlar. MP'ler yutulursa, potansiyel olarak gastrointestinal rahatsızlığa, iltihaplanmaya ve tahrişe neden olabilirler. Ayrıca, bu parçacıklar vücuda sızabilen zararlı kimyasalları da taşıyabilmektedirler ve bu durumda yine gastrointestinal sistem üzerinde sıkıntılara yol açabilmektedir.

*Endokrin Bozunma: MP'ler, bilinen endokrin bozucular olan ftalatlar ve bisfenoller gibi kimyasallar içerir. Bu maddeler de hormonların düzgün çalışmasına müdahale edebilmektedir ve metabolik bozukluklar ve gelişimsel anormallikler de dahil olmak üzere bu durum bir dizi sağlık sorunuyla ilişkilendirilmiştir.

*Potansiyel Uzun Vadeli Etkiler: Yenidoğanın MP'lere maruz kalması, yaşamın ilerleyen dönemlerinde ortaya çıkmayabilecek uzun vadeli sonuçlar doğurabilir. Bu parçacıklar zamanla dokularda birikebildikleri için kanser, kardiyovasküler hastalıklar ve metabolik bozukluklar gibi kronik sağlık sorunlarına katkıda bulunabilirler. Bu nedenle MP'lerin vücutta nasıl biriktiğinin tespiti

ve/veya bu birikimin nasıl önlenebileceğine dair alınacak önlemler ve yapılacak deneysel çalışmalar da yine önem arz etmektedir.

*Nesiller Arası Etkiler: MP'lere yenidoğan maruziyetinin etkilerinin maruz kalan neslin ötesine geçebileceğine dair artan bir endişe vardır. Araştırmalar, bu parçacıkların gen ifadesini düzenleyen epigenetik modifikasyonları etkileyerek gelecek nesilleri etkileyip etkilemeyeceği üzerinde yoğunlaşmaktadır. Özellikle kadmiyum, MP'ler ve bu iki karışıma maruz kalmanın *Daphnia magna* adı verilen bir tür su piresinin hayatta kalması, büyümesi, beslenme ve yaşam öyküsü üzerindeki etkileri üzerinde yol almaktadır. Mikroplastiklere maruz kalma, çevresel değişikliklere duyarlılığı nedeniyle ekotoksikoloji çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bir model organizma olan *Daphnia magna* MP konusunda sıklıkla çalışılan bu canlı gibi suda yaşayan organizmalar üzerinde MP'ler çeşitli etkilere sahip olabilmektedir (Amran ve ark., 2022).

Bu hususta yaşanan tüm endişeleri gidermek için, yenidoğanların mikroplastik maruziyetini en aza indiren stratejiler uygulamak önem arz etmektedir. Plastik atıkları azaltmak, su ve hava filtreleme sistemlerini geliştirmek ve tüketici ürünlerinde MP'lerin kullanımına ilişkin düzenlemeleri uygulamak için bu uygulamaların hayata geçirilmesi gerekmektedir.

Yukarıda bahsedilen tüm bu nedenler çerçevesinde bu derleme çalışmasındaki asıl amaç, MP'lerin kısaca çevre ve insan sağlığı üzerine ciddi etkilerine kısaca değinerek MP'ler ile ilgili çocuklar özellikle de yenidoğanlar üzerinde yapılan toksikolojik araştırmalara henüz yeterince odaklanılmadığı düşünülerek bu konunun öneminin vurgulanması ve gerekli önlemlerin alınması ile, konu ile ilgili sektörler, karar vericiler ve toplumun her kesiminde ferdin bilinçlendirilmesini sağlamaktır. Bu sayede, yaşamın erken dönemlerinde plastiğe maruziyetin azaltılması için fırsatlara vesile olacak tedbirlere yönelik öneriler sunmaktır.

1.1. Mikroplastiklerin Tanımı ve Çevresel Etkileri

MP terimi, ilk olarak Thompson ve ark. (2004) tarafından bilimsel olarak çok küçük plastik parçacıkları ve lifleri olarak tanımlanır. MP'ler, "suda çözünmeyen, çevreye ve/veya biyolojik sistemlere girdikten sonra, biyotik ve abiyotik ayrışma yoluyla ve dönüşüm süreçleriyle küçük parçacıklara bölünerek, düzenli veya düzensiz şekilli ve boyutu 1 µm ila 5 mm arasında değişen sentetik katı parçacıklar veya polimerik matrisler" olarak tanımlanmaktadır (Frias ve Nash, 2018).

Plastikler ortamda bozulma devam ettikçe, plastik atık kütesinin ve/veya MP oranının 2060 yılına kadar %13'e ulaşacağı ve artmaya devam edeceği tahmin edilmektedir (Sharma ve ark., 2020). MP'ler çevresel kaynaklarına göre birincil veya ikincil olarak sınıflandırılır. Birincil MP'ler, kasıtlı olarak <5 mm boyutlarda üretilerek yüz temizleyicilerdeki mikro boncuklar/fırçalar, duş jelleri ve ovma süngerleri (bulaşık yıkama) ve ayrıca giysilerden mikrofiberler (bulaşık bezleri ve havlular) gibi uygulamalarda kullanılır. İkincil MP'ler ise plastik polimerlerden aşınma, korozyon, foto oksidasyon (kimyasal) ve biyolojik dönüşüm ve erozyon dahil olmak üzere normal ayrışma süreçleri yoluyla meydana gelirler (Kannan ve Vimalkumar, 2021).

Günümüzde en az 45 farklı plastik türü ticari kullanımdadır. Bunlar; polipropilen (PP), polietilen (PE), polietilen tereftalat (PET), polistiren (PS), poliüretan (PU), polivinil klorür (PVC) ve polikarbonat (PC)'tır (Li vd., 2016).

MP'ler çevrede yüzlerce ve hatta plastiğin özelliğine göre binlerce yıl kararlılık gösterebilirler. MP'ler esas olarak kara kökenli kaynaklardan üretilip (~%80), ayrıca deniz kaynaklı kaynaklardan (~%20) da oluşmakta olup (Barboza ve ark., 2019, Zhang ve ark., 2021b), hafiflik, dayanıklılık, batmazlık, şekil ve renk özelliklerinden dolayı uzun mesafeler boyunca hareket edebilmektedir (Karbalaei ve ark., 2018). Bunların yanı sıra, MP'ler okyanuslarımızda, nehirlerimizde ve depolama sahalarımızda biriktiğinden, plastik kirliliği dünya çapında büyüyen bir endişe kaynağıdır (Sana ve ark., 2020).

MP'ler tek başlarına önemli bir çevresel tehdit oluşturup, plastik parçacıklar ayrıca katkı maddeleri ve diğer üretim sırasında polimerlere dahil edilen performans arttırıcı kimyasalları da serbest bırakabilmekte ve böylece önemli riskler de oluşturmaktadır. Plastik ürünlerin ayrıca 40.000'den fazla kimyasaldan oluşan bir kokteyl içerdiği ve bazı plastiklerin kimyasallarının %80'inden fazlasını suya sızdırdığı ve canlıların maruz kalma potansiyelinin de vurgulandığı bildirilmiştir (Zimmermann ve ark., 2020; Zimmermann ve ark., 2021). MP'lerin çevresel kirleticilerle etkileşime girerek bu kirleticilerin taşıyıcıları gibi hareket etmesi, MP'lerin ikincil kirlilik yaratmasına neden olmaktadır ve böylece biyotayı ve ilgili ekolojik işlevi tehdit ederler. Diğer bir ifadeyle, MP'ler ekosistemlerde toksik kimyasallar taşırlar, böylece taşıyıcı vektörler olarak hizmet ederler (Campanale ve ark., 2020). Son yıllarda bazı çalışmalar MP'lerin organik ve inorganik kirleticilerin taşıyıcısı olarak rol oynadığını belirtmiştir (Wagner and Lambert, 2018; Li ve ark., 2018; Kinigopoulou ve ark., 2022). MP'ler, boyalar, ağır metaller, vb. gibi diğer kimyasal kirleticilerle etkileşime girebilmektedir. Bu etkileşimler, MP'lerin, yüzeylerine tutunan organik ve inorganik kirleticilerin birikmesi ve taşınması için vektörler olarak hareket etmesine izin verir. Sonuç olarak, MP'ler çevredeki diğer kirleticilerin biyolojik birikimini yoğunlaştırarak kirlilik potansiyellerini etkiler. MP'ler organik kirleticileri adsorbe edebilir ve/veya absorbe edebilir ve böylece MP'nin sorpsiyon potansiyeli artar (Ricardo ve ark., 2021). Birçok çalışma, yüzey suyu da dahil olmak üzere tortu, atık su, deniz suyu, agroekosistemler, Arktik ve Antarktika deniz buzu, atmosfer, şişelenmiş içme suyu ve belirli gıda ürünleri gibi çeşitli çevresel matrislerdeki MP'lerin her yerde ortaya çıktığını bildirmiştir (Cincinelli ve ark., 2017; Campanale ve ark., 2020; Kannan ve Vimalkumar, 2021). MP'ler üzerine yapılan araştırmalar, başlıca gıda ve su kaynaklarına ve MP'lerin okyanustan insanlara besin zinciri yoluyla transferine odaklanmıştır. Örneğin, hayvanların çevredeki MP'leri yutması (suyun plastik atıklarla kirlenmesi sonucu balıkların bu plastikleri yutarak bünyelerine alması ve besin zinciri yoluyla MP'lerin insanlara taşınması), gıda üretimi sırasında kirlenme ve/veya plastik ambalajlarla kirlenme yoluyla yaygın olarak tüketilen gıda maddelerine MP'ler entegre edilmektedir. Fakat MP'lerin plastik ürünlerden doğrudan serbest bırakılması hakkında literatürde yeterince araştırma mevcut değildir (Cox ve ark., 2019). Plastik kaplara sahip iki özel ürün (polietilen tereftalat-PET su şişeleri ve PET/naylon çay poşetleri) günlük kullanım koşulları altında yüksek düzeyde ortama MP bırakmaktadır

(Schymanski ve ark., 2018). Su ortamındaki özellikle okyanus çevresi MP kirliliği çalışmaları ise, on yıldan fazla bir süredir önemli ölçüde dikkat çekmekte olup, deniz ürünleri, bal, süt, bira, sofraya tuzu, içme suyu ve havada MP'nin tespit edilmesinin ardından MP'nin insan sağlığı üzerindeki etkileri oldukça yakın zamanda ilgi odağı olmaya başlamıştır (Cox ve ark., 2019).

2. Mikroplastiklerin İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

Çalışmamız erken dönemdeki MP etkisinin özellikle üzerinde durmaktadır ancak MP konusu daha çok genel insan sağlığı üzerine yoğunlaşmıştır. Özellikle ülkemizde derleme olarak MP'lerin ele alındığı çalışma sayıları 80'e yakın olsa da sadece insan sağlığı üzerine derleme makale olarak yazılmış 4 temel derleme makalesi dikkat çekmiştir ve bu hususta çalışmamız içerisine eklenerek belirtilmiştir. Uluslararası literatüre bakıldığında ise "microplastic exposure and early life" anahtar kelimeleriyle 60'a yakın çalışma göze çarparken bu çalışmaların 21 tanesi ki çoğunlukla hayvanlar üzerinde in vivo olarak yapılmış 20 civarı literatüre rastlanmıştır. MP'lerin sağlık üzerindeki etkilerinin boyutu henüz tam olarak anlaşılammış olsa da araştırmalar, MP'lerin insan sağlığı üzerinde çeşitli olumsuz etkileri olabileceğini göstermiştir (Cox ve ark., 2019; Zhang ve ark., 2020; Cho ve Choi, 2021; Sripada ve ark., 2022). Karmaşık fiziksel ve kimyasal özellikleri (örneğin, polimer, boyut, şekil, yük) nedeniyle MP'ler insan sağlığını olumsuz etkileyebilmekte, ancak bu maruziyetler ve sağlık üzerindeki etkileri ya büyük ölçüde araştırılmamış ya da bilinmemektedir (WHO, 2019). Plastik atıklar kaçınılmaz olarak çevreye karışmakta ve çevresel maruziyet sonucu plastiklerin mekanik ve fizikokimyasal özelliklerinde bozulma meydana gelmekte ve boyutları <5 mm olduğunda MP olarak kabul edilen plastik parçaların oluşmasına yol açmaktadır. Plastik atıkların çevrede bozunması, MP'lerin oluşumuna katkıda bulunan önemli bir süreç olarak kabul edilmektedir. Çok yavaş bir hızda olsa da, çevresel ayrışma plastiklerin parçalanmasına neden olmakta, bu da biyolojik ve/veya abiyotik süreçler nedeniyle polimer özelliklerinde değişikliklere yol açmaktadır (Zhang ve ark., 2021b). Bu nedenle, plastikler hem partiküllere hem de kimyasallara maruz kalma kaynağıdır ve sağlık etkileri muhtemelen hem fiziksel hem de kimyasal toksisite tarafından yönlendirilecektir (Sripada ve ark., 2022). MP'lere maruz kalan organizmalar üzerindeki olumsuz etkiler fiziksel ve kimyasal olarak iki kategoriye ayrılabilir. İlki MP'lerin partikül boyutu, şekli ve konsantrasyonu ile, ikincisi ise MP'lerle ilişkili tehlikeli kimyasallarla ilgilidir. MP'ler iki tür kimyasal içerebilmektedir: (i) plastiklerden kaynaklanan katkı maddeleri ve polimerik hammaddeler (örneğin, monomerler veya oligomerler) ve (ii) çevredeki ortamdan emilen kimyasallar (Campanale ve ark., 2020).

İnsanların MP'lere maruz kalmasının ana kaynakları ise solunma, yutma ve cilt temasıdır. Solunan havadaki MP'ler esas olarak sentetik tekstillerden, toz sentetik kauçuk lastikler ve şehir tozundan kaynaklanır (Prata, 2018; Carbery ve ark., 2018). İnsan derisi, MP'leri ve doğrudan geçebilecek diğer kirlenmeleri önlemesine rağmen ter bezleri, açık cilt yaralanmaları veya saç folikülleri ile vücuda giriş olabilmektedir (Schneider ve ark., 2009). MP'ler, insan vücudunda hassas alanlarda (örneğin, sınırlı uzaklaştırma işlemlerine sahip alveol bölgesi) çok sayıda mevcutsa, birikme ve inflamatuvar

reaksiyonlara neden olma yeteneği gösterebilir (Hinds, 1999). Küçük boyutta (farklı engeller/organlar için farklı boyutlarda) olmaları nedeniyle biyolojik bariyerler yoluyla yer değiştirirler (Riediker ve ark., 2019; Amato-Lourenço ve ark., 2020) ve kimyasal karışımların taşıyıcıları olarak hareket ederek kimyasal maruziyetlere katkıda bulunur (Campanale ve ark., 2020; Eriksson ve ark., 2020). Literatürdeki çalışmalar, hayvanlar aracılığıyla çevredeki MP'lerin yutularak bünye alınması ve gıda üretimi esnasında yapılan plastik ambalajlaması ile de MP'lerin sıklıkla tüketilen gıda ürünlerine geçtiğini göstermektedir (Santillo ve ark., 2017). Kirletilmiş deniz ürünlerinin yenilmesinden, diğer çeşitli yiyecek ve kirletilmiş içme sularından gastrointestinal sisteme gelmektedir. Boyutu 130 µm çapından küçük MP'ler, insan dokularına geçme potansiyeline sahip olup lokalize bir bağışıklık tepkisini tetikleyerek plastik üretimi sırasında eklenen toksik kimyasallar, monomer bileşenleri ve ağır metaller ve PCB'ler gibi kalıcı organik kirleticiler ve DDT dahil çevreden absorplanan kirleticileri serbest bırakır (Wright ve Kelly, 2017). MP'lerin yüzey hidrofobikliğiyle beraber yüzey alanı: hacim oranının artması, çevredeki PCB, DDT ve PAH gibi organik maddelere kolayca bağlanması anlamına gelmektedir. DDT, Stockholm Sözleşmesi ile kullanımı yasaklanan bir kalıcı organik kirletici olup, bozulmaya kararlı, topraktaki yarılanma ömürleri uzun ve bozulmaya karşı oldukça dirençlidirler. DDT'nin bir kalıcı organik kirletici olduğu, hidrofobik yapıda olmalarından dolayı organizmaların lipit yapılarında ve yağ dokularında hızlı bir şekilde birikebilmesi ve taşınabilirliği göz önüne alındığında tüm çevresel ortamlarda bulunması ve ölçülebilir limitlerde olması şaşırtıcı bir durum değildir (Sevim, 2014). Son zamanlarda, Çin'deki plajlardan alınan plastik peletlerde 2,4 mg/g'a kadar PAH ve 0,1 mg/g DDT rapor edilmiştir (Zhang ve ark., 2015). Genellikle büyük plastik polimerlerin inert olduğu ve büyüklüklerinden dolayı bağırsak sistemi tarafından emilmeyeceği bu nedenle de metabolize edilmeden atıldığı bilinmektedir. MP'ler oksidatif hasarı teşvik ederek bir dizi tehlikeli etkiye (lipid peroksidasyonu ve DNA zinciri hasarı), antioksidatif ve metabolik sistemlerde değişime (süperoksit dismutaz, katalaz ve glutatyon peroksidaz) ve indükleyici nörotoksisiteye (asetilkolinesteraz aktivitesini inhibe ederek) sebep olabilmektedir (Prokić ve ark., 2019; Du ve ark., 2020; Burgos-Aceves ve ark., 2021).

2.1. Mikroplastiklerin Yenidoğan Sağlığı Üzerine Etkileri

Hamilelik ve çocukluk, son yıllarda yapılan araştırmaların ortaya koyduğu gibi, çevresel toksik maddelere karşı savunmasız olunan dönemlerdir (Landrigan ve Etzel, 2013). Özellikle 36 aylıktan küçük çocuklar, fizyolojik farklılıklar (örneğin yetişkinlere göre daha düşük metabolizma kapasitesi) ve el-ağız davranışı gibi farklı maruz kalma kalıpları nedeniyle kimyasal maddeye maruz kalma konusunda daha hassas oldukları kabul edilir (US EPA, 2005). Düşük miktarlarda bile olsa tehlikeli kimyasallara erken yaşta maruz kalma, tüm yaşam süresi boyunca insan sağlığını etkileyebilir (Vizcaino ve ark., 2014). Bebeklik ve çocukluk döneminde, emikleme ve el-ağız etkinliği gibi çocuğa özgü davranışlarla çocuklar, çevreye yetişkinlerden farklı şekillerde maruz kalırlar (Moya ve ark.,

2004). Sonuçta çevredeki diğer kirleticilerde de olduğu gibi MP'ler orantısız olarak en küçükler tarafından alınır.

Son yıllarda, insan plasentasındaki, mekonyum ve bebek dışkılarındaki MP'lerin tanımlanması, intrauterin yani bir bebeğin gelişme geriliği olması MP'ye maruz kalmasıyla bu durumun ortaya çıkması yönündeki endişeleri arttırmıştır (Schwabl ve ark., 2019; Ragusa ve ark., 2021; Zhang ve ark., 2021; Braun ve ark., 2021). Zhang ve ark. (2021a) yaptıkları çalışmada, New York Eyaleti'nden üç mekonyum, altı bebek ve on yetişkin dışkılarından toplanan örneklerde PET ve PC konsantrasyonları nicel olarak belirlenmiştir. PET ve PC'ler bazı mekonyum numunelerinde (konsantrasyonda kantifikasyon sınırının altında, sırasıyla [$<LOQ$] ila 12,000 ve $<LOQ-110$ ng/g kuru ağırlıkça) ve tüm bebek dışkısı örneklerinde (PET: 5700-82,000 ng/g, medyan, 36,000 ng/g; PC: 49-2100 ng/g, medyan, 78 ng/g) bulunmuştur. PET ve PC'ler bebeklerin beslenme düzenlerinde sırasıyla 83,000 ve 860 ng/kg-bw/gün olarak elde edilirken bu miktar yetişkinlerden oldukça yüksektir (PET: 5800 ng/kg-bw/gün; PC: 200 ng/kg-bw/gün). Bu durumda, bebeklerin yetişkinlerden daha yüksek seviyede MP'ye maruz kaldığı söylenebilmektedir.

0 ila 36 ay arasındaki çocukların ağız davranışı üzerine gözlemlere dayalı birkaç çalışmada, oyuncaklar da dahil olmak üzere çocukların büyük çeşitlilikte nesnelere ağızlarına götürdükleri bilinmektedir (US EPA, 2005). Bebeklerde ve üç yaşına kadar olan çocuklara yönelik plastik oyuncaklarda ve çocuk ekipmanlarında bulunan kimyasal maddeler ile ilişkili riskleri değerlendiren çok az çalışma vardır. Plastik oyuncaklar, genellikle bir veya daha fazla polimerin plastikleştiriciler, alev geciktiriciler, antioksidanlar gibi çoklu katkı maddeleri ile birleştirilmesiyle meydana gelirler. Bu bileşenlerden bazıları polimerlere kovalent olarak bağlı olmadığından, plastikler, ftalatlar veya UV filtreleri gibi endokrin bozucular olarak bilinen kimyasalları saldı gösterilmiştir (Zimmermann ve ark., 2019). Son zamanlarda, PPMP'ler, ısı işleminden sonra mililitrede 16200 parçacık kadar yüksek oranda biberonlardan salındığı tespit edilmiş olup bunun da bebek sağlığı üzerinde MP'lerin bilinmeyen bir risk oluşturabileceğini öne sürmektedir (Li ve ark., 2020). Özellikle sterilizasyon ve yüksek sıcaklıktaki suya maruz kalma, biberonlardan PPMP'lerin salınımını önemli ölçüde arttırmıştır. Polipropilen bebek biberonları (PP-IFB'ler), bebek maması hazırlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Mekanik sürtünme kuvveti PP'yi parçalayabildiğinden MP'lerin PP-IFB'lerden salınım potansiyeli vardır (Li ve ark., 2020). Song ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada, su şişeleri yapmak için PC ve biberonların yapımı içinse polifenilen sülfon reçineleri kullanılarak biberon ve su şişelerinden 100 açma/kapama döngüsü sırasında 53 ila 393 parçacık/mL arasında değişen miktarlarda mikropartiküller saldı belirtilmiştir. Rhie ve ark. (2014) çalışmalarında, bir endokrin bozucu kimyasal da olan BPA'ya biberonla beslenen bebeklerin maruziyetini araştırmıştır. Sonuçta biberonla beslenen bebeklerin serumlarındaki BPA seviyesinin ($n=30$) emzirilen bebeklerdekinden ($n=30$) daha yüksek çıktığı gösterilmiştir ($96,58 \pm 102,36$ 'e karşı $45,53 \pm 34,05$ pg/mL, $P = 0,014$). Zink ve ark. (2023) kadmiyum (Cd), MP'ler ve karışımlarına maruziyetin *Daphnia magna*'nın hayatta kalması, büyümesi, beslenmesi ve yaşam öyküsü üzerindeki etkilerini inceledikleri çalışmada Cd'ye maruz

kalma besleme verimliliğini engellerken, MP'lere maruz kalma durumunda ise yavruların büyüme oranlarını engellendiğini tespit etmişlerdir. Cd ve MP'ye birlikte maruz kalan *Daphnia magna*, hem beslenmede hem de üreme öncesi büyüme hızında önemli düşüşler göstermiştir. Sonuçta MP tek başına ne kadar zararlı ise yanına eklenen herhangi bir ağır metalin bu etkisini arttığı gözlemlenmiştir. Huang ve ark. (2022) farelerin gebelik ve emzirme dönemlerinde yaptıkları bir çalışmada ise annenin NMP'lere maruziyetinin erkek fare yavrularında karaciğer ve testislerde toksisiteye neden olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bu sonuç NMP'lerin memeli yavruları üzerinde oluşturabileceği zararlı etkilere dair yeni veriler elde edilmesine neden olmuştur. Polistiren MP'lere doğum öncesi ve doğum sonrası maruz kalmanın, testis gelişim bozukluğuna neden olduğu ve farelerde erkek fertilitatesini etkilediği Hunag ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışma sonrasında Zhao ve ark. (2023) tarafından yine fareler üzerinde yapılan çalışmada da gösterilmiştir. Roshanzadeh ve ark. (2021) vücudun çeşitli organlarını etkiledikleri düşünülen MP'lerin yenidoğan kalbi üzerindeki etkisini merak ettikleri çalışmada yenidoğan yavruların daha az gelişmiş kalplerinin, yetişkinlerin olgun kalplerine kıyasla beslenme esnasında MP'lere karşı daha savunmasız olması muhtemel olduğundan sıçanlarda in vitro olarak kalp kasılmasını senkronize ederek elektrofizyolojik aktivite değerlendirmesi yapmışlardır. Çalışmada kullanılan yöntemler sayesinde hem yenidoğan hem bebek hem de yetişkin kalplerinde biriken MP kirliliğinin önemli risklerinin fark edilebilir hale gelebileceği sonucuna varmışlardır. Erken dönem MP maruziyetinin anlatan tüm çalışmaların ortak noktası MP'lerin sağlık üzerindeki etkilerinin göz ardı edilemeyecek kadar ciddi sonuçlar doğurabileceği üzerinedir.

2.2.Mikroplastiklerin İmmün Sistem Üzerindeki Etkileri

İklim değişikliği, öncelikle karbondioksit ve metan gibi sera gazlarının salınmasının neden olduğu, Dünya'nın iklim modellerinde uzun vadeli değişiklikleri ifade etmektedir (Ray ve Ming, 2020). Yenidoğanlar hem MP'lerin hem de iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine karşı oldukça yüksek hassasiyet göstermektedir. Sıcak hava dalgaları ve kasırgalar gibi artan sıcaklıklar ve aşırı hava olayları, bebek ölümlerini ve hastalık riskini artırabilmektedir. İklim değişikliği, yenidoğan sağlığını etkileyebilecek bulaşıcı hastalıkların dağılımında da değişikliklere yol açabilmektedir. Ayrıca, iklim değişikliğinin neden olduğu hava kirliliğinin yaygınlığının artması, bebeklerde solunum yolu hastalıkları riskinin de artışıyla sonuçlanabilir. Genel olarak, MP'lerin ve iklim değişikliğinin bebek sağlığı için önemli riskler oluşturduğu açıktır. Bu nedenle, bireylerin, hükümetlerin ve şirketlerin çevre üzerindeki etkilerini azaltmak ve bu küresel sorunlara çözümler yaratmak için harekete geçilmesi önemlidir.

Okyanuslarda, nehirlerde, toprakta ve hatta soluduğumuz havada bile keşfedilen her yerde olabilen bu MP'lerin deniz yaşamına ve çevreye zarar verdiği bilinmekle birlikte, bağışıklık sistemimizi de olumsuz yönde etkileyebileceklerine dair artan kanıtlar vardır. MP'lerin yutulmasının, organizmalarda bağışıklık sistemlerini zayıflatabilecek inflamasyonlara ve oksidatif strese neden olduğu gösterilmiştir (Segovia-Mendoza ve ark., 2020; Cho ve Choi, 2021). Bağışıklık sistemi, vücudu zararlı patojenlere

karşı savunmaktan sorumludur ve işlevindeki herhangi bir aksama, enfeksiyonlara ve hastalıklara karşı duyarlılığın artmasına neden olabilir. İnsanlarda, MP'lerin yutulması ise, bağışıklık sisteminin hücresel bağışıklıktan sorumlu T-hücreleri gibi hücrelerinin seviyelerinin düşmesi ve C-reaktif protein gibi inflamatuvar belirteçlerin artmasıyla ilişkilendirilmiştir. Bu değişiklikler bulaşıcı hastalıklar ve diğer sağlık sorunları riskini de artırabilir (Segovia-Mendoza ve ark., 2020). Ayrıca, BPA ve ftalatlar gibi plastik yapımında kullanılan kimyasalların da immünotoksik etkileri olduğu gösterilmiştir. Bu kimyasallar, bağışıklık hücrelerinin normal işleyişini bozabilir ve proinflamatuvar ve antiinflamatuvar sitokinler arasındaki dengeyi değiştirebilir. Bu durum kanser, kalp hastalığı ve otoimmün bozukluklar dahil olmak üzere bir dizi sağlık sorunuyla bağlantılı kronik inflamasyona yol açabilir. Liu ve ark. (2022), MP'lerin bağışıklık sistemi işlevinde önemli bir rol oynayan bağırsak mikrobiyomunu bozabileceğini göstermiştir. Bağırsak mikrobiyomu, bakteriler, mantarlar ve virüsler dahil olmak üzere trilyonlarca mikroorganizmadan oluşmaktadır. Bu mikroorganizmalar, yiyecekleri sindirmeye, temel vitaminleri üretmeye ve bağışıklık sistemi işlevini düzenlemeye yardımcı olur. Bağırsak mikrobiyomunun bozulması, bağışıklık sisteminin zayıflamasına ve kronik hastalık riskinin artmasına neden olabilir. Liu ve ark. (2023) ise çalışmasında, MP'lerin hamile kadınlarda plasentayı geçebildiğini ve karaciğer ve akciğerler dahil olmak üzere cenin organlarında birikebildiğini saptamıştır. Bu, gelişmekte olan bağışıklık sistemine potansiyel olarak zarar verebilir ve bebeklerde enfeksiyon ve diğer sağlık sorunları riskini artırabilir. Plastik kirliliğinin çevre üzerindeki etkisi literatürde ayrıntılı bir şekilde ortaya koyulmuştur. Ancak araştırmalar, plastik kirliliğinin bebeklerin bağışıklık sistemi de dahil olmak üzere insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olabileceğini göstermeye henüz başlamamıştır (Liu ve ark., 2023). Bir bebeğin doğumundan itibaren bağışıklık sistemi yeni gelişmektedir. Bu nedenle de bebekler çevresel toksinlerin zararlı etkilerine karşı daha hassastır. Plastik kirliliği, hastalığa neden olan mikroorganizmaların yayılmasına da katkıda bulunabilir (Rist ve ark., 2018; Liu ve ark., 2023). Çevredeki plastik atıklar, daha sonra temas veya yutma yoluyla insanlara aktarılabilen bakteri ve diğer patojenler için bir üreme alanı sağlayabilir. Bu, özellikle enfeksiyonlara karşı daha savunmasız olan bebekler ve küçük çocuklar için bulaşıcı hastalık riskini artırabilir. Ayrıca plastik kirliliği, özellikle plastik parçacıkları tüketen deniz hayvanlarında gıdanın besin değerini de etkileyebilir. Bu, sağlıklı büyüme ve gelişme için gerekli besinleri temin edemeyeceklerinden, bu hayvanları tüketen bebeklerde yetersiz beslenmeye yol açabilir. Genel olarak, plastik kirliliğinin bebeklerin bağışıklık sistemi üzerindeki etkisi de giderek artan bir endişe kaynağıdır. Plastik tüketimini azaltmak, daha iyi atık yönetimi uygulamaları uygulamak ve alternatif, çevre dostu malzemeler geliştirmek gibi önlemler alınarak bu olumsuz etkilerin önüne geçilebilir. Plastik kirliliğiyle ilgili temel endişelerden biri, BPA ve ftalatlar gibi bağışıklık sistemi hücrelerinin gelişimine ve işlevine müdahale edebilecek toksik kimyasallar salma potansiyelidir. Çalışmalar, bu kimyasallara maruz kalmanın, T ve B lenfositleri gibi bağışıklık hücrelerinin sayısında azalmaya ve enfeksiyonlara yanıt verme yeteneklerinde azalmaya yol açabileceğini göstermiştir. Ayrıca, plastik kirliliği bebeklerde alerji ve otoimmün hastalık riskini de artırabilir. Çevredeki plastik parçacıklara

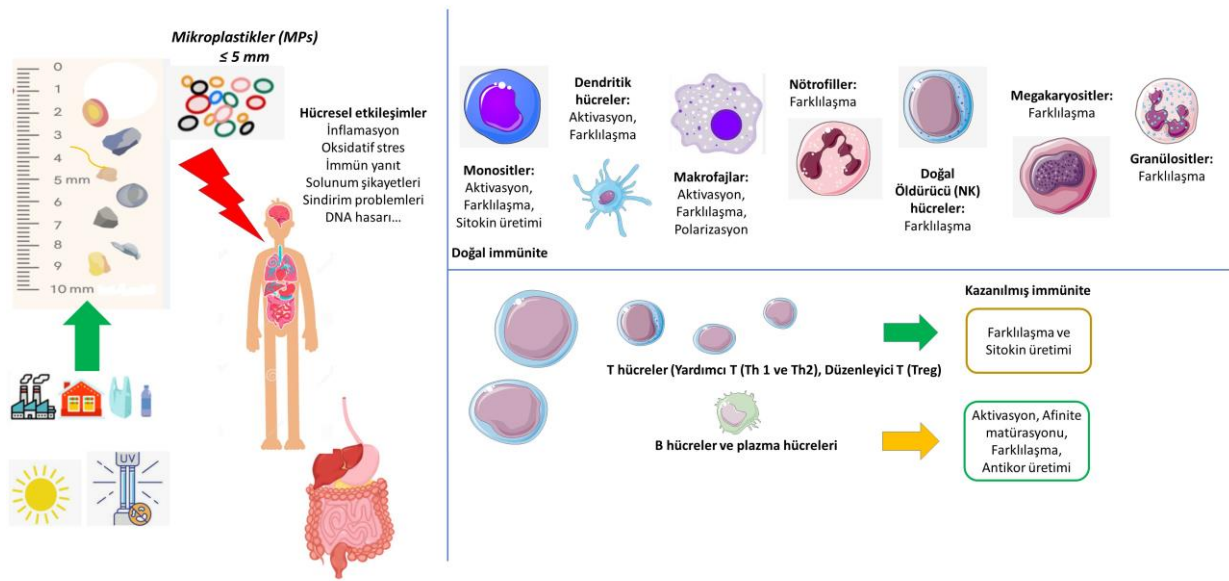
maruz kalmak, bağışıklık sisteminin aşırı tepki vermesine neden olarak antikor üretiminin artmasına ve alerji ve otoimmün hastalık geliştirme riskinin artmasına neden olabilir. Bu immünotoksik etkilere ek olarak, plastik kirliliğinin bebekler üzerinde solunum sorunları ve gelişimsel gecikmeler dahil olmak üzere başka olumsuz sağlık etkileri de olabilir. Plastik parçacıkların solunması, özellikle solunum yolu enfeksiyonlarına daha duyarlı olan bebeklerde solunum sorunlarına yol açabilir. Ayrıca, plastik kirliliğine maruz kalmak, plastik kirliliğinin saldığı zehirli kimyasallar gelişen sinir sistemini etkileyebileceğinden, özellikle beyin gelişiminde gelişimsel gecikmelere yol açabilir (Segovia-Mendoza ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2023).

2.3.Mikroplastiklerin doğal bağışıklık sistemi üzerindeki etkisi

Doğal bağışıklık sistemi, vücudumuza giren patojenlere ve yabancı maddelere karşı oluşan ilk savunma hattıdır. Deri gibi fiziksel engellerden ve beyaz kan hücreleri, makrofajlar ve doğal öldürücü hücreler gibi hücresel bileşenlerden oluşur. Bu hücreler, patojenleri ve yabancı maddeleri tespit etmek ve ortadan kaldırmak için birlikte çalışarak vücudumuzu enfeksiyonlardan ve hastalıklardan korur (Sattler, 2017). Son araştırmalar, MP'lerin doğal bağışıklık sisteminin işlevi üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabileceğini göstermiştir (Liu ve ark., 2019). Jeon ve ark. (2021) çalışmalarında, MP'lere maruz kalmanın, makrofajlar gibi doğal bağışıklık sisteminin hücrelerinde inflamasyon ve oksidatif strese neden olabileceğini saptamıştır (Şekil 1). Bu durum, makrofajların patojenleri ve yabancı maddeleri fagositoz (yutma ve yok etme) yeteneğini bozarak enfeksiyon riskinin artmasına neden olabilir. Chen ve ark. (2020) ise, MP'lerin balıkların solungaçlarında bağışıklıkla ilgili genlerin gen ifadesinde değişikliklere neden olabileceğini göstermiştir. Araştırmacılar, MP'lere maruz kalmanın, doğal bağışıklık yanıtında yer alan genlerin ifadesini azaltabileceğini, bunun da bağışıklık sisteminin zayıflamasına ve enfeksiyonlara karşı duyarlılığın artmasına yol açabileceğini göstermişlerdir.

2.4.Mikroplastiklerin adaptif/kazanılmış bağışıklık sistemi üzerindeki etkisi

Adaptif bağışıklık sistemi, patojenlerin ve yabancı maddelerin spesifik olarak tanınmasından ve hedeflenmesinden sorumludur. Patojenleri ve yabancı maddeleri tespit etmek ve ortadan kaldırmak için birlikte çalışan ve böylece vücudumuzu enfeksiyonlardan ve hastalıklardan koruyan T hücreleri, B hücreleri ve antikorlardan oluşur (Sattler, 2017; McComb ve ark., 2019).



Şekil 1. Mikroplastiklerin insan sağlığı ve immün sistem üzerindeki etkileri

Son araştırmalar, MP'lerin adaptif bağışıklık sisteminin işlevi üzerinde de tıpkı doğal bağışıklık üzerinde olduğu gibi olumsuz bir etkiye sahip olabileceğini göstermiştir. Gu ve ark. (2020) çalışmalarında MP'lerin T hücrelerinin gen ifadesini değiştirebildiğini ve bunun da zayıflamış bir bağışıklık tepkisine yol açtığını ve MP'lere maruz kalmanın, T hücrelerinin enfeksiyonlara yanıt verme yeteneğini bozabilen, T hücresi aktivasyonu ve farklılaşmasında yer alan genlerin ekspresyonunu azaltabileceğini saptamıştır (Gu ve ark., 2020) (Şekil 1).

3. Sonuç

Son on yıl içerisinde dünya genelinde plastik çeşitliliğine olan maruziyet giderek artmakta olup (Kannan ve Vimalkumar, 2021; Amran ve ark., 2022; ourworldindata.org/plastic-pollution) özellikle kadınlar ve çocuklar bu durumdan en yüksek oranda olumsuz yönde etkilenmektedir. Yenidoğanın mikroplastiklere maruz kalmasının etkileri karmaşık ve gelişen bir çalışma alanıdır. Kesin etkileri hala çözülüyor olsa da, bu küçük plastik parçacıkların yenidoğan sağlığı ve gelişimi için potansiyel riskler oluşturduğu açıktır. Mikroplastığe maruz kalmanın toplumumuzun en savunmasız üyeleri üzerindeki potansiyel olumsuz etkilerini daha iyi anlamak, azaltmak ve önlemek için acil eylem gereklidir. Bu hususta yaşanan tüm endişeleri gidermek için, yenidoğanların mikroplastik maruziyetini en aza indiren stratejiler uygulamak önem arz etmektedir. Plastik atıkları azaltmak, su ve hava filtreleme sistemlerini geliştirmek ve tüketici ürünlerinde MP'lerin kullanımına ilişkin düzenlemeleri uygulamak için bu uygulamaların hayata geçirilmesi gerekmektedir. Hamilelik ve emzirme dönemlerinde annelerin MP maruziyetini en aza indirmesinin de önem arz ettiği görülmektedir. Ayrıca, risklerin kapsamını tam olarak anlamak ve etkili azaltma stratejileri geliştirmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

MP'lere maruz kalınmasının yenidoğanların savunma/bağışıklık sistemlerini de etkilediği ancak bu noktada yapılan çocuklara özgü toksikoloji test ve yöntemlerinin de eksik kaldığı veya yeterli olmadığı görülmektedir. MP'lerin doğrudan insan sağlığı üzerindeki etkileri konusunda hala önemli bir veri eksikliği vardır. Bundan dolayı gelecekteki çalışmalar, çevresel maruziyeti gerçekçi bir şekilde yansıtan boyutlarda inflamasyona ve hücrel hasara odaklanarak MP'lerin insan sağlığı üzerindeki doğrudan etkilerini hedeflemelidir. Yaşamın erken dönemlerinde MP'lere maruz kalınmasının giderek çoğalması endişe uyandırıcı boyutlara ulaşmaktadır. MP'ler hakkında toplum genelindeki bilgi eksikliği ivedilikle halk sağlığı üzerinde alınması gereken tedbirleri/önlemleri yavaşlatmaktadır. MP maruziyeti ve toksisitesine dair geçerli kanıtların ve genel epidemiyolojik verilerin tespit edilmesi, risk değerlendirmesi ve risk yönetimi belirlenmesi ile bu hususta yapılacak araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Sağlık ve immün sistem üzerinden değerlendirildiğinde ise, MP'lerin hücrel döngüler, oksidatif stres, doğal ve adaptif immün yanıt üzerinde de etki gösteren bir çevre sorunu olduğu aşikârdır. Bu olumsuz etkinin boyutunu tam olarak anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulsa da plastiğe olan bağımlılığımızı azaltmak ve MP'lere maruz kalmamızı en aza indirmek için harekete geçmemiz gerektiği açıktır. Bunun içinde vakit kaybetmeden plastik ürünlerin döngüsel ekonominin belki de en önemli getirisi olacak geri kazanım/geri dönüşüm işlemlerine maruz kalması ve sürdürülebilir ve çevre dostu uygulamaları teşvik eden destekleyici eğitim politikalarının belirlenmesi gerekmektedir.

MP kirliliği sorununu ele almak için çeşitli önlemler ve tavsiyeler önerilmiş veya uygulanmıştır. Bu hususta uygulanacak bilecek bazı temel yaklaşımlar maddeler halinde sıralanmıştır:

***Yönetmelik ve Mevzuat:**

-Yasaklar ve Kısıtlamalar: Hükümetler, MP'lerin kişisel bakım ürünlerinde, kozmetik ürünlerinde, temizlik ürünlerinde ve diğer tüketim mallarında kullanımına yasaklar veya kısıtlamalar getirebilir. Birçok ülke ve bölgede, belirli ürünlerde MP'lerin kullanımını kısıtlama önlemleri başlamış durumdadır.

-Etiketleme Gereksinimleri: MP içeren ürünlerin açık bir şekilde etiketlenmesini zorunlu kılmak, tüketicilerin bilinçli seçimler yapmasına yardımcı olabilir ve şirketleri MP kullanımını azaltmaya veya ortadan kaldırmaya teşvik edebilir.

***Ürün Reformu:**

-MP'lere Alternatifler: Endüstrileri, ürünlerinde MP'leri doğal veya biyolojik olarak parçalanabilen alternatiflerle değiştirmeye teşvik etmek çözüm sunabilir. Örneğin, kayısı kabuğu, yulaf ezmesi veya pirinç kepeği gibi doğal ekfoliantlar, kişisel bakım ürünlerindeki mikro boncukların yerini alabilir.

***Atık su arıtma:**

-İyileştirilmiş Filtrasyon Sistemleri: Atık su arıtma tesislerini, MP'leri su kütlelerine salınmadan önce atık sudan yakalayıp çıkarabilen gelişmiş filtreleme sistemlerini içerecek şekilde yükseltilebilir.

Yağmur Suyu Yönetimi: MP akışın su kütlelerine girmesini önlemek için etkili yağmur suyu yönetimi uygulamaları uygulanabilir.

***Eğitim ve Sosyal Yardım:**

-Halkı Bilinçlendirme Kampanyaları: Eğitim programları, kampanyalar ve medya yoluyla MP'lerin kaynakları ve etkileri hakkında kamuoyu farkındalığı artırılabilir.

-Tüketici Eğitimi: Tüketiciler çeşitli ürünlerde MP'lerin varlığı konusunda eğitilip alternatifleri seçmeleri konusunda teşvik edilebilir.

***Plastik Atık Yönetimi:**

-Plastik Kullanımını Azaltma: Daha az plastik ürün, MP üretimi için daha az fırsat anlamına geldiğinden, genel olarak plastik tüketiminin azaltılması teşvik edilebilir.

Uygun İmha: Plastik atıkların çevreye girmesi ve MP'lere dönüşmesini önlemek için uygun imha uygulamaları vurgulanabilir.

***Araştırma ve İzleme:**

-Bilimsel Çalışmalar: MP'lerin farklı ekosistemlerdeki kaynaklarını, dağılımını ve etkilerini daha iyi anlamak için araştırmalar projeler ile desteklenebilir.

-İzleme Programları: Su kütlelerindeki MP kirlilik seviyelerini izlemek ve hafifletme çabalarının etkinliğini değerlendirmek için izleme programları oluşturulabilir.

***Uluslararası İş Birliği:**

-Küresel Anlaşmalar: MP kirliliğinin sınırlar ötesinde ele alınması ve en iyi uygulamaların paylaşılması için anlaşmalar ve yönergeler geliştirmek üzere uluslararası iş birlikleri yapılabilir.

***İnovasyon ve Teknoloji:**

-Mikroplastik Filtrasyon Teknolojileri: Atık su ve yüzey akışı gibi çeşitli kaynaklardan MP'leri yakalamak için yeni teknolojiler geliştirilip uygulama aşamasına geçilebilir.

-Plastik Atık Geri Dönüşümü: Plastik atıkları en aza indirmek ve MP'lere dönüşmesini önlemek için gelişmiş plastik geri dönüşüm teknolojilerine yatırım yapmak önerilebilir.

***Kurumsal Sorumluluk:**

-Gönüllü Taahhütler: Endüstrileri, ürünlerinden ve tedarik zincirlerinden MP'leri azaltma veya ortadan kaldırma taahhüdünde bulunmaya teşvik etme çalışmaları yapılabilir.

-Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu: MP kirliliğin uygun şekilde atılması ve önlenmesi de dahil olmak üzere, ürünlerinin tüm yaşam döngüsünden üreticileri sorumlu tutmak alınabilecek önlemler arasında yer alabilir.

***Paydaşlar Arası İş birliği:**

Devlet-Sanayi Ortaklıkları: MP kirliliği sorununu toplu olarak ele almak için hükümetler, endüstriler, akademi ve sivil toplum kuruluşları arasındaki iş birliği teşvik edilebilir.

Özellikle MP'ye bolca maruz kalınan bebek biberonlarında TSE belgeli, cam ürünlerin kullanılması veya sıcaklık içermeyen UV ışığı gibi sterilizasyon yöntemlerinin tercih edilmesi, bebek oyuncaklarında tahta veya pamuktan yapılmış doğal ürünlerin kullanılmasının teşvik edilmesi hayati önem taşımaktadır. Ancak burada ışığa, özellikle ultraviyole (UV) ışığa maruz kalmanın, genellikle fotodegradasyon olarak adlandırılan bir olgu olan plastikler ve mikroplastikler üzerinde önemli etkilere sahip olabileceğini de bilerek bu sterilizasyon yöntemini kullanmaktır. UV ışığı ve diğer ışık biçimleri, fotolitik bozunma adı verilen bir işlemlerle bu polimer zincirlerini daha küçük parçalara ayırabilecek bir yöntem olarak tercih edilebilir. UV ışınlarının MP oluşumunu engel olabilmesi için de belirli öneriler fayda sağlayabilir. Plastik üreten endüstriler plastiğin UV bozulmasına karşı direncini artırmak için üretim sırasında UV stabilizatörleri ve katkı maddeleri kullanabilir. Güneş ışığına maruz kalacak ürünler için UV direnci daha iyi olan plastikler seçilebilir. Doğrudan UV ışınlarından korumak için plastik ürünlerin yüzeyine koruyucu kaplamalar, boyalar veya filmler uygulanarak UV ışınına karşı bir bariyer görevi görülebilir. UV ışığına doğrudan maruz kalmayı azaltmak için plastik nesnelere gölgeli veya korunaklı alanlara yerleştirmek alınabilecek önlemler arasındadır. Çöpe atılan plastikler UV ışığına maruz kalabileceğinden ve MP oluşumuna katkıda bulunabileceğinden, plastiklerin ve plastik ürünlerin uygun şekilde imha edildiğinden emin olunmalıdır.

Bu önlemler ve tavsiyeler, birleştirildiğinde ve belirli bağlantılara göre uyarlandığında, MP'lerin çevreye salınmasının ve etkisinin azaltılmasına katkıda bulunulabilir. Etkili çözümler ve politikalar uygulamak için ise hükümetlerin, endüstrilerin, araştırmacıların ve halkın birlikte çalışması önemlidir. Sonuç olarak MP'lerin insan ve çevre sağlığı üzerindeki etkilerine ilişkin bilgi boşluklarının doldurulması öncelikle kaçınılmazdır. Yaşamın her alanında daha az MP sağan ve daha az plastik üreten malzemeler gibi daha güvenli alternatiflerin (yeniden kullanılabilir çanta ve malzemelerin kullanılması gibi) geliştirilmesinin ve ayrıca multidisipliner alanlarda birlikte çalışılıp yeni çözümler üretmemizin sağlığımızı ve gezegen sağlığını da koruyabileceği düşüncesindeyiz.

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

- Amato-Lourenço LF., Dos Santos Galvão L., de Weger LA., Hiemstra PS., Vijver MG., Mauad T. An emerging class of air pollutants: potential effects of micro-plastics to respiratory human health? *Science of the Total Environment* 2020; 749: 141676.
- Amran NH., Zaid SSM., Mokhtar MH., Manaf LA., Othman S. Exposure to microplastics during early developmental stage: Review of Current Evidence. *Toxics* 2022; 10(10): 597.
- Barboza LGA., Lopes C., Oliveira P., Bessa F., Otero V., Henriques B., Guilhermino, L. Microplastics in wild fish from North East Atlantic Ocean and its potential for causing neurotoxic effects, lipid oxidative damage, and human health risks associated with ingestion exposure. *Science of the Total Environment* 2020; 717: 134625.
- Braun T., Ehrlich L., Henrich W., Koepfel S., Lomako I., Schwabl P., Liebmann B. Detection of microplastic in human placenta and meconium in a clinical setting. *Pharmaceutics* 2021; 13(7): 921.
- Brennecke D., Duarte B., Paiva F., Cacador I., Canning-Clode J. Microplastics as vectors for heavy metal contamination from the marine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 2016; 178: 189–195.
- Burgos-Aceves MA., Abo-Al-Ela HG., Faggio C. Physiological and metabolic approach of plastic additive effects: immune cells responses. *Journal of Hazardous Materials* 2021; 404: 124114.
- Callaghan B., McCormack C., Tottenham N., Monk C. Evidence for cognitive plasticity during pregnancy via enhanced learning and memory. *Memory* 2022; 30(5): 519-536.
- Camacho M., Herrera A., Gómez M., Acosta-Dacal A., Martínez I., Henríquez-Hernández L., Luzardo OP. Organic pollutants in marine plastic debris from Canary Islands beaches. *Science of the Total Environment* 2019; 662: 22–31.
- Campanale C., Massarelli C., Savino I., Locaputo V., Uricchio VF. A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020; 17(4): 1212.
- Carbery M., O'Connor W, Palanisami T. Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environmental International* 2018; 115: 400-409.
- Chen Q., Lackmann C., Wang W., Seiler TB., Hollert H., Shi H. Microplastics lead to hyperactive swimming behaviour in adult zebrafish. *Aquatic Toxicology* 2020; 224: 105521.
- Cho YM., Choi KH. The current status of studies of human exposure assessment of microplastics and their health effects: a rapid systematic review. *Environmental Analysis Health and Toxicology* 2021; 36(1): e2021004-0.
- Cincinelli A., Scopetani C., Chelazzi D., Lombardini E., Martellini T., Katsoyiannis A., Fossi MC., Corsolini S. Microplastic in the surface waters of the Ross Sea (Antarctica): Occurrence, distribution and characterization by FTIR. *Chemosphere* 2017; 175: 391-400.

- Cox KD., Covernton GA., Davies HL., Dower JF., Juanes F., Dudas SE. Human consumption of microplastics. *Environmental Science & Technology* 2019; 53(12): 7068-7074.
- Çelik E., Yüksel D., Turgay Ö. Farklı ekosistemlerde mikroplastik kirlilik: Oluşum, toksisite ve riskler. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5(3): 1815-1842.
- Du J., Xu S., Zhou Q., Li H., Fu L., Tang J., Wang Y., Peng X., Xu Y., Du X. A review of microplastics in the aquatic environment: distribution, transport, ecotoxicology, and toxicological mechanisms. *Environmental Science and Pollution Research International* 2020; 27: 11494–11505.
- Eriksson AC., Andersen C., Kraus AM., Nøjgaard JK., Clausen PA., Gudmundsson A., Wierzbicka A., Pagels J. Influence of airborne particles' chemical composition on SVOC uptake from PVC flooring—time-resolved analysis with aerosol mass spectrometry. *Environmental Science and Technology* 2020; 54(1): 85–91.
- Euronews.green. Babies are full of microplastics, new research shows <https://www.euronews.com/green/2021/10/01/babies-are-full-of-microplastics-new-research-shows> [Erişim tarihi: 01 October 2021].
- Frias J., Nash R. Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin* 2018; 138: 145-147.
- Gu W., Liu S., Chen L., Liu Y., Gu C., Ren HQ., Wu B. Single-cell RNA sequencing reveals size-dependent effects of polystyrene microplastics on immune and secretory cell populations from zebrafish intestines. *Environmental Science and Technology* 2020; 54(6): 3417-3427.
- Halden RU. Plastics and health risks. *Annual Review of Public Health* 2010; 31: 179–294.
- Hinds WC. *Aerosol technology: Properties, behavior, and measurement of airborne particles*. 2nd ed. New York, NY: John Wiley & Sons 1999.
- <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>
- Huang T., Zhang W., Lin T., Liu S., Sun Z., Liu F., Yuan Y., Xiang X., Kuang H., Yang B., Zhang D. Maternal exposure to polystyrene nanoplastics during gestation and lactation induces hepatic and testicular toxicity in male mouse offspring. *Food and Chemical Toxicology* 2022; 160: 112803.
- Jeon S., Lee DK., Jeong J., Yang SI., Kim JS., Kim J., Cho WS. The reactive oxygen species as pathogenic factors of fragmented microplastics to macrophages. *Environmental Pollution* 2021; 281: 117006.
- Kannan K., Vimalkumar KA. Review of Human exposure to microplastics and insights into microplastics as obesogens. *Frontiers in Endocrinology* 2021; 12.
- Karbalaei S., Hanachi P., Walker TR., Cole M. Occurrence, sources, human health impacts and mitigation of microplastic pollution. *Environmental Science and Pollution Research* 2018; 25: 36046-36063.

- Kinigopoulou V., Pashalidis I., Kalderis D., Anastopoulos I. Microplastics as carriers of inorganic and organic contaminants in the environment: A review of recent progress. *Journal of Molecular Liquids* 2022; 350: 118580.
- Landrigan PJ., Etzel RA. *Textbook of children's environmental health*. Oxford, UK: Oxford University Press, 2013.
- Lebreton L., Andrady A. Future scenarios of global plastic waste generation and disposal. *Palgrave Communications* 2019; 5: 1–11.
- Li D., Shi Y., Yang L., Xiao L., Kehoe DK., Gun'ko YK., Boland JJ., Wang JJ. Microplastic release from the degradation of polypropylene feeding bottles during infant formula preparation. *Nature Food* 2020; 1: 746–754.
- Li J., Qu X., Su L., Zhang W., Yang D., Kolandhasamy P., Li D., Shi H. Microplastics in mussels along the coastal waters of China. *Environmental Pollution* 2016; 214: 177–184.
- Li J., Zhang K., Zhang H. Adsorption of antibiotics on microplastics. *Environmental Pollution* 2018; 237: 460–467.
- Lithner D., Larsson A., Dave G. Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition. *Science of the Total Environment* 2011; 409: 3309–3324.
- Liu S., Guo J., Liu X., Yang R., Wang H., Sun Y., Bo C., Dong R. Detection of various microplastics in placentas, meconium, infant feces, breastmilk and infant formula: A pilot prospective study. *Science of The Total Environment*, 2023; 854: 158699.
- Liu, S., Liu, X., Guo, J., Yang, R., Wang, H., Sun, Y., Bo C., Dong R. The association between microplastics and microbiota in placentas and meconium: The first evidence in humans. *Environmental Science and Technology* 2022.
- Liu Z., Yu P., Cai M., Wu D., Zhang M., Chen M., Zhao Y. Effects of microplastics on the innate immunity and intestinal microflora of juvenile *Eriocheir sinensis*. *Science of the Total Environment*, 2019; 685: 836-846.
- McComb S., Thiriot A., Akache B., Krishnan L., Stark F. Introduction to the Immune System. In: Fulton, K., Twine, S. (eds) *Immunoproteomics. Methods in Molecular Biology* 2019; 2024. Humana, New York, NY.
- Moreau J., Gatimel N., Lippi Y., Tavenier G., Fauque P., Guilleman M, Naylies C., Huesca A., Gayrard V., Parinaud J., Leandri RD. Impact of the polycarbonate strippers used in assisted reproduction techniques on embryonic development. *Human Reproduction* 2021; 25: 36(2): 331-339.
- Moya J., Bearer CF., Etzel RA. Children's behavior and physiology and how it affects exposure to environmental contaminants. *Pediatrics* 2004; 113(suppl 4): 996–1006.

- Open Access Government. Microplastics found in placenta and newborns <https://www.openaccessgovernment.org/microplastics-babies/128723/> [Erişimtarihi: 1 December 2022].
- Phuong NN., Zalouk-Vergnoux A., Poirier L., Kamari A., Châtal A., Mouneyrac C., Lagarde F. Is there any consistency between the microplastics found in the field and those used in laboratory experiments? *Environmental Pollution* 2016; 211: 111–123.
- Plastics Europe: Plastics - The Facts 2020. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2020/> [Erişim tarihi: 29.09.2022].
- Prata JC. Airborne microplastics: consequences to human health? *Environmental Pollution* 2018; 234:115–126.
- Prokić MD., Radovanović TB., Gavrić JP., Faggio C. Ecotoxicological effects of microplastics: examination of biomarkers, current state and future perspectives. *Trends in Analytical Chemistry* 2019; 111: 37–46.
- Ragusa A., Svelato A., Santacroce C., Catalano P., Notarstefano V., Carnevali O., Papa F., Rongioletti MCA., Baiocco F., Draghi S., D'Amore E., Rinaldo D., Matta M., Giorgini E. Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environmental International* 2021; 146: 106274.
- Ray C., Ming X. Climate change and human health: A review of allergies, autoimmunity and the microbiome. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020; 17(13): 4814.
- Rhie YJ., Nam HK., Oh YJ., Kim HS., Lee KH. Influence of bottle-feeding on serum bisphenol levels in infants. *The Korean Academy of Medical Sciences* 2014; 29: 261-264.
- Ricardo IA., Alberto EA., Silva Júnior AH., Macuvele DLP., Padoin N., Soares C., Riella HG., Starling MCVM., Trovó AG. A critical review on microplastics, interaction with organic and inorganic pollutants, impacts and effectiveness of advanced oxidation processes applied for their removal from aqueous matrices. *Chemical Engineering Journal* 2021; 424: 130282.
- Riediker M., Zink D., Kreyling W., Oberdörster G., Elder A., Graham U., Lynch I., Duschl A., Ichihara G., Ichihara S., Kobayashi T., Hisanaga N., Umezawa M., Cheng TJ., Handy R., Gulumian M., Tinkle S., Cassee F. Particle toxicology and health-where are we? *Particle and Fibre Toxicology* 2019; 16(1): 19.
- Rios LM., Moore C., Jones PR. Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. *Marine Pollution Bulletin* 2007; 54: 1230–1237.
- Rist S., Carney Almroth B., Hartmann NB., Karlsson TM. A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics. *Science of the Total Environment* 2018; 1(626): 720-726.
- Rochman CM., Tahir A., Williams SL., Baxa DV., Lam R., Miller JT., Teh FC., Werorilangi S., Teh SJ. Anthropogenic debris in seafood: plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Science Reports* 2015; 5: 14340.

- Roshanzadeh A., Oyunbaatar NE., Ganjbakhsh SE., Park S., Kim DS., Kanade PP., Lee S., Lee DW., Kim ES. Exposure to nanoplastics impairs collective contractility of neonatal cardiomyocytes under electrical synchronization. *Biomaterials*. 2021; 278: 121175.
- Sana SS., Dogiparthi LK., Gangadhar L., Chakravorty A., Abhishek N. Effects of microplastics and nanoplastics on marine environment and human health. *Environmental Science and Pollution Research International* 2020; 27(36): 44743-44756.
- Santillo D., Miller K., Johnston P. Microplastics as contaminants in commercially important seafood species: Microplastics in Seafood. *Integrated Environmental Assessment and Management* 2017; 13(3): 516–521.
- Sattler S. The role of the immune system beyond the fight against infection. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 2017; 1003: 3-14.
- Schneider M., Stracke F., Hansen S., Schaefer UF. Nanoparticles and their interactions with the dermal barrier. *Dermato-Endocrinology* 2009; 1: 197–206.
- Schwabl P., Köppel S., Königshofer P., Bucsics T., Trauner M., Reiberger T., Liebmann B. Detection of various microplastics in human stool. *Annals of Internal Medicine* 2019; 171(7): 453–457.
- Schymanski D., Goldbeck C., Humpf HU., Fürst P. Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research* 2018; 129: 154-162.
- Segovia-Mendoza M., Nava-Castro KE., Palacios-Arreola MI., Garay-Canales C., Morales-Montor J. How microplastic components influence the immune system and impact on children health: Focus on cancer. *Birth Defects Research* 2020; 112(17): 1341-1361.
- Sevim P. Organik katkılı toprakta yıllanmış DDT'nin Kabakgillerde birikiminin incelenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 2014.
- Sharma S., Basu S., Shetti NP., Nadagouda MN., Aminabhavi TM. Microplastics in the environment: Occurrence, perils, and eradication. *Chemical Engineering Journal* 2020; 408: 127317.
- Smith M., Love DC., Rochman CM., Neff RA. Microplastics in seafood and the implications for human health. *Current Environmental Health Reports* 2018; 5(3): 375-386.
- Song K., Ding R., Sun C., Yao L., Zhang W. Microparticles and microplastics released from daily use of plastic feeding and water bottles and plastic injectors: potential risks to infants and children in China. *Environ Science and Pollution Research International* 2021; 28(42): 59813-59820.
- Sripada K., Wierzbicka A., Abass K., Grimalt JO., Erbe A., Röllin HB., Weihe P., Díaz GJ., Singh RR., Visnes T., Rautio A., Odland JØ, Wagner M. A children's health perspective on nano- and microplastics. *Environmental Health Perspectives* 2022; 130(1): 15001.
- The Guardian. Microplastics revealed in the placentas of unborn babies <https://www.theguardian.com/environment/2020/dec/22/microplastics-revealed-in-placentas-unborn-babies> [Erişim tarihi: 22 December 2020].

- Thompson RC., Olsen Y., Mitchell RP., Davis A., Rowland SJ., John AWG, McGonigle D., Russell AE. Lost at sea: where is all the plastic? *Science* 2004; 304: 838–838.
- US EPA. Guidance on selecting age groups for monitoring and assessing childhood exposures to environmental contaminants. National Center for Environmental Assessment, Washington, DC, EPA/630/P-03/003F November 2005.
- Vizcaino E., Grimalt JO., Glomstad B., Fernández-Somoano A., Tardón A. Gestational weight gain and exposure of newborns to persistent organic pollutants. *Environmental Health Perspectives* 2014; 122(8): 873–879.
- Wagner M., Lambert S. Freshwater microplastics. Emerging environmental contaminants? In *The Handbook of Environmental Chemistry*; Springer Open: Cham, Switzerland, 2018; 58.
- Walker TR. (Micro)plastics and the UN sustainable development goals. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* 2021; 30: 100497.
- WHO. Microplastics in Drinking Water. 2019. <https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1243269/retrieve> [Erişimtarihi: 24 December 2021].
- Wright SL., Kelly FJ. Plastic and human health: A Micro Issue? *Environmental Science and Technology* 2017; 51(12): 6634–6647.
- Zhang J., Wang L., Trasande L., Kannan K. Occurrence of polyethylene terephthalate and polycarbonate microplastics in infant and adult feces. *Environmental Science & Technology Letters* 2021a; 8(11): 989-994.
- Zhang K., Hamidian AH., Tubic A., Zhang Y., Fang JKH., Wu C., Lam PKS. Understanding plastic degradation and microplastic formation in the environment: A review. *Environmental Pollution* 2021b; 274: 116554.
- Zhang Q., Liu L., Jiang Y., Zhang Y., Fan Y., Rao W., Qian X. Microplastics in infant milk powder. *Environmental Pollution* 2023; 5(323): 121225.
- Zhang Q., Xu EG., Li J., Chen Q., Ma L., Zeng EY., Shi H. A review of microplastics in table salt, drinking water, and air: direct human exposure. *Environmental Science and Technology* 2020; 54(7): 3740-3751.
- Zhang W., Ma X., Zhang Z., Wang Y., Wang J., Wang J., Ma D. Persistent organic pollutants carried on plastic resin pellets from two beaches in China. *Marine Pollution Bulletin* 2015; 99 (1-2): 28-34.
- Zhao T., Shen L., Ye X., Bai G., Liao C., Chen Z., Peng T., Li X., Kang X., An G. Prenatal and postnatal exposure to polystyrene microplastics induces testis developmental disorder and affects male fertility in mice. *J Hazard Mater.* 2023; 445: 130544.
- Zimmermann L., Bartosova Z., Braun K., Oehlmann J., Volker C., Wagner M. Plastic products leach chemicals that induce invitrotoxicity under realistic use conditions. *Environmental Science and Technology* 2021; 55(17): 11814–11823.

- Zimmermann L., Dierkes G., Ternes TA., Völker C., Wagner M. Benchmarking the in vitro toxicity and chemical composition of plastic consumer products. *Environmental Science and Technology* 2019; 53(19): 11467–11477.
- Zimmermann L., Dombrowski A., Völker C., Wagner M. Are bioplastics and plant-based materials safer than conventional plastics? In vitro toxicity and chemical composition. *Environmental International* 2020; 145: 106066.
- Zink L., Shearer AY, Wiseman S, Pyle GG. Effects of exposure to cadmium, microplastics, and their mixture on survival, growth, feeding, and life history of *daphnia magna*. *Environmental Toxicology and Chemistry* 2023; 42(6): 1401-1408.

Diyet Lifleri: Tanımı, Türleri ve Gıda Endüstrisi'nde Kullanımları

Mahir Serdar YILMAZ^{1*}

¹Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, 02040 Adıyaman

¹<https://orcid.org/0000-0003-3748-0389>

*Sorumlu yazar: serdaryilmaz@adiyaman.edu.tr

Derleme Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 05.04.2023

Kabul tarihi: 10.10.2023

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Diyet lifi ve çeşitleri

Diyet lifi ve sağlık

Lifli gıdalar

ÖZ

Diyet lifi; sindirim enzimlerine dirençli olan ve esas olarak tahıllarda, meyvelerde ve sebzelerde bulunan bir gıda bileşenleri grubudur. İnsan sindirim sistemi içinde ince bağırsakta sindirilemeyen fakat kolonda kısmen sindirilebilen diyet lifi, suda çözünen ve çözünmeyen olmak üzere iki grupta incelenir. Diyet lifi tüketiminin insan sağlığı üzerinde önemli etkileri vardır. Bu nedenle, tüketiminin teşvik edilmesi ve fonksiyonel özellikler sağlamak için çeşitli gıda ürünlerine katkı maddesi olarak eklenmesi yaygın uygulamalar haline gelmiştir. Gıda endüstrisinde özellikle et, süt ve unlu mamullerin üretimlerinde kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada, diyet lifleri tanımlanmış, türleri belirtilmiş ve gıda ürünlerinde diyet lifi kullanımına dair bazı bilimsel çalışmalar özetlenerek derlenmiştir.

Dietary Fibers: Definition, Types and Uses in the Food Industry

Reviews

Article History:

Received: 05.04.2023

Accepted: 10.10.2023

Published online: 11.03.2024

Keywords:

Dietary fiber and its types

Dietary fiber and health

Fiber foods

ABSTRACT

Dietary fiber is a group of food components that are resistant to digestive enzymes and found mainly in cereals, fruits, and vegetables. In the human digestive system, dietary fiber, which cannot be digested in the small intestine but can be partially digested in the colon, is divided into two groups: water-soluble and water-insoluble. Dietary fiber consumption has important effects on human health. Therefore, it has become common practice to encourage its consumption and add it as an additive to various food products to provide functional properties. In the food industry, they are especially used in the production of meat, dairy and bakery products. In this study, dietary fibers are defined, their types are specified and some scientific studies on the use of dietary fibers in food products are summarized and reviewed.

To Cite: Yılmaz MS. Diyet Lifleri: Tanımı, Türleri ve Gıda Endüstrisinde Kullanımları. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(2): 924-952.

Giriş

Yaşam standartlarının artmasıyla birlikte insanların diyet çeşitliliği de artmıştır. Diyabet, kardiyovasküler hastalıklar, obezite, bağırsak kanseri, kabızlık ve insan sağlığı üzerinde ciddi olumsuz etkileri olan diğer rahatsızlıklar gibi birçok yaşam tarzı hastalığı dengesiz beslenmeden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, fonksiyonel gıdalar son yıllarda daha fazla dikkat çekmektedir. Fonksiyonel gıdalar, nutrasötikler, tasarım gıdalar ve farmasötik gıdalar, besin olmayan

fitokimyasalların daha fazla alımını sağlamak için seçilen veya formüle edilen ürünleri ifade etmek için kullanılan terimler arasındadır. Doğal bitki materyallerinde bulunan bu maddeler, hastalıkların önlenmesi ve tedavisi de dâhil olmak üzere tıbbi yararları sahiptir. Bu anlamda elde edilmesi ve tüketilmesi kolay, belirgin etkileri gözlemlenebilen, çeşitli gıdalara katkı maddesi amacıyla eklenebilen diyet lifleri önemli bir örnektir. Diyet lifi de sağlığa yararlı etkileri ve insan vücudunun düzenlenmesinde önemli işlevleri nedeniyle fonksiyonel niteliktedir.

Diyet lifi, olası fizyolojik etkilere sahip fiziksel ve kimyasal özelliklerde kayda değer farklılıklar sergileyen hidrolize olmamış doğal ve modifiye yapılardan oluşan kompleks maddelerden oluşur. Hipsley (1953) "diyet lifi" terimini ilk kez ortaya atmış ve "bitki hücre duvarının sindirilemeyen bileşenleri" olarak tanımlamıştır. Daha sonra Trowell (1976) tarafından "yenilebilir bitki hücrelerinin kalıntıları, polisakkaritler, lignin ve insanların sindirim enzimleri tarafından sindirime dirençli ilişkili maddeler" şeklinde tanımlanmıştır. Bu tanım, diyet liflerinin fizyolojik özelliklerinin, yenilebilirlik ve sindirime karşı direnç temelinde açıklamıştır. Daha sonra araştırmacılar, gıdalardaki diyet liflerinin fizyolojik özelliklerini değerlendirmek için metodolojiler geliştirmiş ve bu da birden fazla tanımın ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bazı tanımlar lifleri izole etmek için kullanılan analitik yöntemlerle belirlenirken, diğerleri fizyolojik özelliklere dayandırılmıştır (Raninen ve ark., 2011). Mevcut diyet lifi tanımları, avantajlı fizyolojik işlevler göstermeleri halinde bitki hücre duvarı dışı polimerlerinin lif olarak sınıflandırılmasına izin vermektedir. Tek bir yararlı etkinin gösterilmesi genellikle bu tanıma karşılık gelmektedir (Thomson ve ark., 2021).

Günümüzde Avrupa Birliği'nde 2008 yılında kabul gören diyet lifi tanımı; "Diyet lifi, insanların ince bağırsağındaki endojen enzimler tarafından hidrolize edilmeyen ve on veya daha fazla monomerik birime sahip karbonhidrat polimerleri anlamına gelir" (Alimentarius, 2010) şeklindedir. Bu tanıma ait kategorik özellikler;

- Tüketilen gıdada doğal olarak bulunan yenilebilir karbonhidrat polimerleri;
- Gıda hammaddesinden fiziksel, enzimatik veya kimyasal yollarla elde edilen ve yetkili makamlara genel kabul görmüş bilimsel kanıtlarla sağlığa yararlı fizyolojik bir etkiye sahip olduğu gösterilen karbonhidrat polimerleri;
- Yetkili makamlar tarafından genel kabul görmüş bilimsel kanıtlarla sağlığa yararlı fizyolojik etkiye sahip olduğu gösterilen sentetik karbonhidrat polimerleridir.

Botanik anlamda ise diyet lifi, bitki hücrelerinde birincil ve ikincil hücre duvarı ve orta lameli oluşturan karmaşık bileşikler temsil etmektedir. Tahıl, sebze ve meyvelerin kabuk, zar, sap, çekirdek ve bitki hücre duvarlarında bulunmaktadır. Selüloz, hemiselülozlar, pektinler ve lignin olarak adlandırılırlar. Diyet lifi olarak sınıflandırılan diğer biyopolimer grupları ise, hücre içinde enerji depolamak için sentezlenir. Fruktozanlar, gelişmiş bitkilerin %15'inde enerji depolanan yapı formunu temsil eder ve bitki hücresinin merkezi vakuolünde sentezlendiklerine inanılmaktadır. Dirençli nişasta, diğer nişasta türleri ile, plastid adı verilen bir hücre içi organel içinde sentezlenir (Serna Saldívar ve Ayala Soto, 2020).

Günümüzde beslenme alışkanlığı zaman ve doyuruculuk konsepti üzerine şekillenmektedir. Bu nedenle fastfood tarzı gıdalar ilgi görmekte, fiziki aktiviteler azalmakta ve beslenme alışkanlıklarındaki yanlışlıklar giderek artmaktadır. Sonuç olarak, dolaşım, sindirim ve bağırsak sistemlerini etkileyen hastalıkların yanı sıra obezite ve diyabet oranlarında da artış olmuştur. Yağ, tuz ve şeker tüketiminin azaltılması, tahıllar, meyveler ve sebzeler gibi yüksek lifli gıdaların tüketiminin artırılması ve beslenme düzenlemelerinin uygulanması bu hastalıklara yakalanma riskini azaltabilmektedir (Fuller ve ark., 2016).

Diyet Lifinin Sağlık Üzerine Etkileri

Diyet lifleri besleyici olmayan bir madde olarak görülmekteyken beslenme ve tıp bilimindeki ilerlemeler, diyet liflerinin hem yaygın hem de kronik hastalık riskini azaltma konusunda umut verici bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymuştur. Diyet liflerinin sağlığa yararlı etkisi; besinsel özelliklerden veya belirli biyolojik aktivitelerin tetiklenmesinden ziyade sindirimin düzenlenmesine bağlıdır. Diyet liflerinin insan sağlığının korunmasında oynadığı önemli rol nedeniyle proteinler, yağlar, karbonhidratlar, vitaminler, mineraller ve sudan sonra yedinci en büyük besin grubu olarak kabul edilmektedirler (Han ve ark., 2017).

Diyet lifi ve antioksidanlar açısından zengin gıdaların alımı; sağlığın korunması ve bazı hastalıkların görülme sıklığının azaltılması ile ilişkilendirilmiştir (Sakaç ve ark., 2011). Sağlık üzerindeki olumlu etkilerinin tespit edilmesinden sonra diyet lifinin kullanımı ve gıda endüstrisinde fonksiyonel katkı olarak kullanımında önemli oranda artış olmuştur. Diyet lifi, sağlığa yararlı etkileri nedeniyle fonksiyonel gıdaların formülasyonunda önemli bir bileşen olarak kabul edilmesi için gereken tüm özelliklere sahiptir (Fuller ve ark., 2016). Diyet lifinin sağlık açısından etkileri;

- Artan tokluk hissi süresi
- Artmış kolonik fermantasyon/kısa zincirli yağ asidi üretimi
- Azaltılmış bağırsak içi transit süre
- Fekal hacimde artış/laksasyon
- Düşük kan basıncı
- Kilo kaybı/yağlanmada azalma
- Kolon kanserinin önlenmesinde koruyucu rol
- Kolon mikro florasının pozitif modülasyonu
- Mineral Emilimi üzerinde faydalı etki
- Toplam ve/veya LDL serum kolesterol seviyelerinde azalma
- Yemek sonrası glisemi/insülineminin zayıflaması şeklindedir.

Diyet lifinin fizyolojik etkileri kimyasal ve fiziksel özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu özelliklere örnek olarak parçalanabilirlik, moleküler ağırlık, viskozite, partikül boyutu, katyon değişim özellikleri, organik asit Emilimi ve su tutma kapasitesi verilebilir. Parçalanabilirlik, lifin bağırsak

fermantasyonunda kolon bakterileri tarafından kullanılmasını sağlar. Fermentasyon gaita pH'ını düşürür ve bakteriyel biyokütleyi artırarak gaita çıkışının artmasına ve gazların ve kısa zincirli yağ asitlerinin (Short Chain Fatty Acids-SCFA'lar) üretimine yol açar. SCFA'lar bağırsak epitel hücreleri için ana enerji kaynağıdır (Wong ve ark., 2006). Düşük pH; *Bifidobacteria* ve *Lactobacilli* gibi faydalı bakterilerin büyümesini teşvik etmekle birlikte bazı minerallerin emilimini artırır ve birincil safra asitlerinin kanserojen ikincil safra asitlerine dönüşümünü engellemektedir. Viskoz lifler su ile bağlandığında bir jel oluşturur, bu da mide boşalma hızı ile glikoz, trigliserit ve kolesterol emilim hızını azaltır. Gaita hacmi artar ve geçiş süresi azalır, büyük partikül boyutu ve su tutma kapasitesi kabızlığı önlerken, sindirim sistemindeki kanserojen bileşikler seyrelir. Çeşitli diyet liflerinin fizikokimyasal özellikleri birbirinden farklıdır ve pişirme veya sindirim sürecinde değişime uğrayabilir (Damaskos ve Kolios, 2008).

Diyet lifler, bağırsak içi mikrobiyal yapıya etki ederek, direkt veya indirekt yoldan immünolojik, endokrinolojik ve nörolojik fonksiyonları etkilemektedir. Yüksek lifli gıdaların tüketilmesi bazı kolorektal kanser türlerine karşı koruyucu özellik gösterir. Diyet liflerin diğer besin maddelerinin sindirim ve metabolik süreçlere katılmasında önemli sonuçlar vardır. Çözünür diyet liflerin viskoz yapısının bir sonucu olarak, makro besin emiliminin önlenmesi, ince bağırsakta lipitlerin ve glikozun emiliminin yavaşlaması, mide boşalmasının yavaşlaması, yemek sonrası glikoz tepkilerinin azalması ve kolonik fermentasyon görülür. Çözünmez diyet lifleri ise insülin duyarlılığını artırarak diyabet ve metabolik sendromun önlenmesi, bağırsak içi kütlenin hareketliliğinin artması, kilo yönetimi ve diyetleri yapılandırma yönünde faydalı etkiler gösterir (Perry ve Ying, 2016).

Vücudun ağırlık ve yağ kütlesinin düzenlenmesi çok sayıda faktörden etkilenir. Bunlar arasında; merkezi sinir sistemi, duyuşal uyarılar, sindirim sisteminden gelen mekanik ve kimyasal tokluk sinyalleri, yağ dokusu ve karaciğerden gelen yağ depolanmasını gösteren sinyaller yer almaktadır (Hasbay, 2019).

Diyet liflerin kimyasal yapısı ve çözünürlük, viskozite, su tutma kapasitesi ve fermente edilebilirlik gibi fizikokimyasal özellikleri de tokluk, uzun süreli iştah ve dolayısıyla enerji alımının düzenlenmesi üzerindeki etkiler açısından önemlidir. Diyet liflerinin vücut ağırlığını şu etkilerle düzenlediği söylenebilir (Hasbay, 2019):

- Artan tokluk ve doyunluk,
- Sindirilemez olması ve yutulan gıdalardan emilen enerji miktarını azaltması nedeniyle enerji alımının azalması ve gastrointestinal hareketlilikteki artışa atfedilebilecek yemek sonrası enerji harcamasının artması,
- Safranin metabolik bir akışa ve vücut yağ depolarının mobilizasyonuna neden olan safra asidi üretiminde artış,
- Enerji elde etme, depolama ve harcamayı etkileyen bağırsak mikrobiyotasını olumlu yönde değiştiren bir substrat olarak hareket etmesi.

Diyet liflerinin yüksek su tutma kapasitesi ince bağırsakta besin emilimini, yemek sonrası tokluğu ve bağırsak hareketliliğini etkiler. Kalın bağırsakta ise kolon yapısını ve bariyer işlevini etkiler. Bağırsak fonksiyonlarının iyileştirilmesi (gaita sıklığı ve kalitesinin değiştirilmesi gibi), kolonik mikrobiyota tarafından fermente edilebilirlik, kan glikoz ve kolesterol seviyelerinin düşürülmesi, direkt veya indirekt yollarla immünomodülatör ve anti-enflamatuar özellikler göstermesi artan diyet lifi alımıyla en sık ilişkilendirilen fizyolojik etkilerdir (Ötles ve Ozgoz, 2014).

Diyet lifleri gastro-intestinal sistemde enzimatik etkiye karşı dirençlidir ve kolon mikrobiyotası tarafından fermantasyon ile hafif bir bozulmaya uğrar. Diyet lifinin fermente edilebilirliği, fermantasyon süreci için bir substrat olmasını sağlayan önemli bir özelliktir (Mudgil ve Barak, 2019). Kolondaki fermente edilebilirliklerine bağlı olarak diyet lifleri hızlı fermente edilebilir, yavaş fermente edilebilir ve fermente edilemez diyet lifleri olmak üzere üç kategoriye ayrılmaktadır. Hızlı fermente olabilen diyet liflerine örnek olarak meyve ve sebzelerden elde edilenler verilebilir. Bu türlerin, diğer diyet lifi türlerine kıyasla gaita hacmine önemli bir katkısı yoktur. Yavaş fermente olabilen diyet liflerine örnek olarak psyllium, buğday kepeği vb. kaynaklardan elde edilenler verilebilir. Bunlar da fermantasyondan sonra gaita ağırlığına katkıda bulunur. Fermente edilemeyen veya çok az fermente edilebilen diyet lifleri ise kalın bağırsakta bulunan gaita hacminde ve gaita ağırlığında bir artış oluşturur ve bu durum kabızlıkla ilgili sorunların ve kolon kanseri riskinin azalmasını sağlar (Mudgil ve ark., 2018).

İltihabi bir nedeni olan ve bulaşıcı olmayan hastalıklarda görülme sıklığındaki artış, bağırsak mikrobiyotasının insan bağışıklık sisteminin bir parçası/düzenleyicisi olarak görülmesine yol açmıştır. Diyet liflerinin içeriği ve bileşimi bu mikrobiyotayı düzenleyen bir faktör olarak kabul görmüştür. Diyet liflerin önemli bir kısmının prebiyotik etkisi vardır. Prebiyotikler, bağırsaktaki belirli bakterilerin büyümesini veya aktivitesini seçici olarak teşvik eden ve insan vücudu üzerinde olumlu etkileri olan sindirilemeyen gıda bileşenleridir (Sezen, 2013).

Epidemiyolojik çalışmalardan elde edilen bulgular, bağırsak mikrobiyotasının obezitenin gelişimine katkıda bulunan kritik faktör olduğunu ve obezite tedavisine etkileri olabilecek mikrobiyal bir faktör olduğunu göstermektedir. Obez bireylerin zayıf bireylerden farklı bir bağırsak mikrobiyotasına sahip olduğu ve kilo verdiklerinde obez bireylerin mikrobiyotasının zayıf bireylerin mikrobiyotasına doğru değiştiği bildirilmiştir (Andoh ve ark., 2016).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından günlük diyetle alınan her 1000 kalori için önerilen diyet lifi alımı 14 g olup bu değer kadınlar için 25 g, erkekler için 38 g şeklindedir. Örneğin, günde yaklaşık 7 g diyet lifi alımının kardiyovasküler hastalık ve kronik kalp hastalığı riskini %9 oranında azalttığı gösterilmiştir (Dahl ve Stewart, 2015).

Diyet Lif Kaynakları

Diyet lifleri; son üründe kıvamı, tekstürü, reolojik yapıyı ve duyuşal özellikleri değiştirebilir. Lif, atık ürün olarak kabul edilebilecek kaynaklardan bile üretilebilir. Dünyanın önde gelen endüstrilerinden

biri olan meyve ve sebze işleme endüstrisi büyük miktarda yan ürün (ağırlıkça yaklaşık %20-40'ı) üretmektedir. Örneğin; buğday samanı, soya kabuğu, yulaf kabuğu, yer fıstığı ve badem kabuğu, mısır sapı ve koçanı, kullanılmış bira tahılı ve işlenen meyve ve sebzelerin atık kısımları, bazı gıda uygulamalarında oldukça işlevsel olabilen lif bileşenlerine dönüştürülebilir (Dhingra ve ark., 2012).

Genel kabul görmüş tanımıyla 'ideal diyet lifi' aşağıdaki gereklilikleri karşılamalıdır (Stribling ve İbrahim, 2023):

- Beslenme açısından istenmeyen hiçbir bileşene sahip olmamalıdır.
- Minimum miktarların maksimum düzeyde fizyolojik etkiye sahip olması için mümkün olduğunca konsantre olmalıdır.
- Tat, renk, doku ve koku bakımından nötr olmalıdır.
- Dengeli bir bileşime ve yeterli miktarda ilgili biyoaktif bileşiklere sahip olmalıdır.
- Ekleneyecek gıdayı olumsuz etkilemeyecek bir raf ömrüne sahip olmalıdır.
- Gıda prosesi ile uyumlu olmalıdır.
- Tüketici gözünde menşei, bütünlük vb. açısından doğru ve olumlu bir imaja sahip olmalıdır.
- Beklenen fizyolojik etkilere sahip olmalıdır.
- Uygun fiyata sahip olmalıdır.

Beslenme uzmanları, bireylerin optimal diyet lifi alım seviyelerini korumak için günlük olarak meyve, sebze ve tam tahıl tüketmelerini önermektedir. Yaygın lif kaynakları arasında tahıllar, baklagiller, yağlı tohumlar, meyveler, sebzeler ve bazı bitki bileşenleri yer almaktadır. Tahıllardaki diyet lifi kaynaklarına örnek olarak arpa, mısır özü, pirinç kepeği, çavdar kepeği, sorgum kepeği, mısır kepeği, lignin, buğday kepeği, buğday nişastasası, arabinoksilan, arpa kepeği unu, yulaf kepeği, dirençli nişasta ve çözünür mısır lifi verilebilir. Bu liflerin yapısı ve oranı tahıl türüne göre büyük ölçüde değişebilir. Tahıl kepeği ağırlıklı olarak çözünmeyen lif içerir (Hemdane ve ark., 2016). Bitkisel lif kaynakları arasında domates, yonca, lahana, havuç lifi, inülin ve patates bulunur. Meyve lif kaynaklarına örnek olarak portakal, kivi, elma, narenciye pektini, kuru erik ve kayısı verilebilir. Bitki bazlı gıdalardaki diyet lifi bileşimi, kullanılan bitkinin bölümüne, depolanmasına, olgunlaşmasına ve gıda maddesinin üretiminde kullanılan işleme yöntemine bağlıdır. Tüm bu faktörler doğal olarak oluşan diyet lifinin bileşimini etkiler (Mudgil ve Barak, 2019).

Diyet lifi türleri çeşitli tahıl, meyve ve sebzelerde değişen oranlarda bulunur (Tablo 1). Çözünür lif grubundan pektin, elma, ayva gibi besinlerde; gamlar, reçinede; β -glukan, yulaf gibi besinlerde; dirençli nişasta, kuru baklagillerde bulunmaktadır. Çözünmez diyet liflerden selüloz, kepekte; hemiselüloz, tahıllarda ve lignin ise buğdayda bulunur (Dülger ve Şahan, 2011).

Tahıl kaynaklı diyet lifler meyve ve sebze kaynaklı liflere göre daha sık kullanılmaktadırlar. Tahıllar sanayileşmiş ülkelerde günlük lif alımının %36- %65'ini sağlarken, meyveler %6- %24'ünü, baklagiller %22- %47'sini ve yeşil sebzeler sadece %2- %8'ini sağlamaktadır (Ioniță-Mîndrican ve ark., 2022). Fakat meyve ve sebzeler genel olarak yüksek diyet lif oranı içerikleri, dengeli

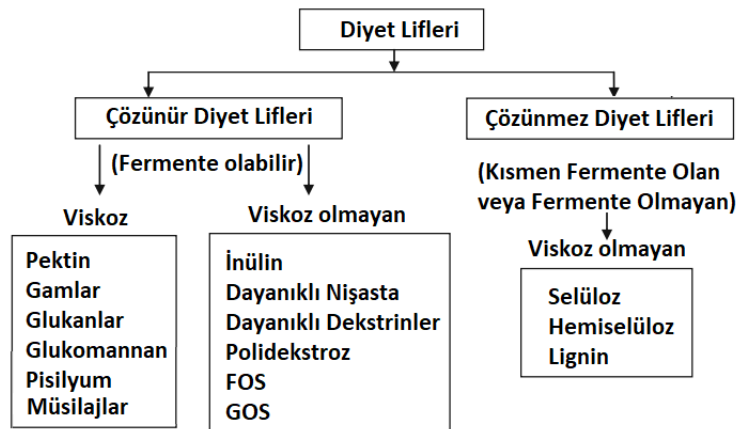
çözünür/çözünmez diyet lif oranı, enerji değerlerinin düşüklüğü, yüksek antioksidan nitelikleri, su ve yağ tutma kapasitelerinin yüksekliği, ürün tadına olumlu etkileri, fitik asit içermemeleri ve içerdikleri biyoaktif bileşikler gibi faktörler açısından diğer kaynaklardan daha üstündürler (de Vries ve ark., 2016).

Tablo 1. Çeşitli meyve, sebze ve tahılların ortalama diyet lif içerikleri (Anonim, 2018)

Gıda	Diyet lif (g/100 g besin)		
	Çözünür	Çözünmez	Toplam
Armut	0,23	3,22	3,45
Arpa	1,93	19,10	21,11
Bamya	1,35	2,00	3,35
Bezelye	0,65	4,46	5,11
Çavdar	2,66	12,93	15,59
Çilek	1,00	0,98	1,98
Buğday	2,92	9,75	12,66
Elma	0,48	1,33	1,81
Havuç	0,82	1,76	2,58
İncir	0,80	1,86	2,66
Kabak	0,73	0,90	1,63
Karpuz	0,12	0,42	0,54
Keten tohumu	0,28	34,78	35,06
Kuru kayısı	2,94	5,14	8,09
Lahana	0,71	1,33	2,10
Mısır	0,27	1,92	2,19
Patates	0,38	1,06	1,44
Pirinç	0,10	0,31	3,46
Portakal	0,38	1,35	1,74

Diyet Lifi Türleri ve Bileşenleri

Diyet lifi; literatürde sindirim sistemindeki asit-alkali koşullarına dayanıklı nişasta yapısında olmayan polisakkaritler olarak tanımlanır. Bu karmaşık polisakkaritlerin bazıları bağırsak mikrobiyotası tarafından kolonda tamamen veya kısmen fermente edilebilir. Diyet lifinin çözünürlüğü, neden olduğu fizyolojik işlevlerle doğrudan ilişkili olan en önemli özelliğidir. Diyet lifi; sıcak suda çözünürlüğüne göre çözünür ve çözünmez diyet lifi olarak sınıflandırılmaktadır (Salvatore ve ark., 2023) (Şekil 1).



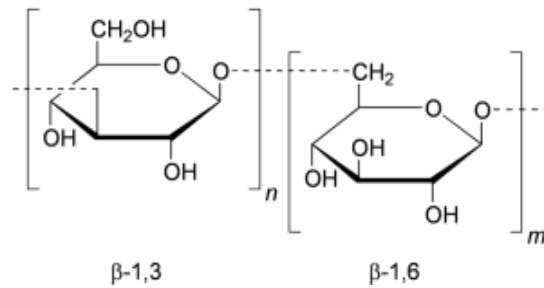
Şekil 1. Diyet lifler ve suda çözünürlüklerine göre sınıflandırılması (Mehta ve ark., 2015)

Çözünür diyet lifi: ağırlığının 15 ila 20 katı kadar su tutabilen suda çözünür polisakkaritlerdir. Çözünür diyet lifi, mide salgısını uyarır, bağırsak hareketini hızlandırır, bağırsak geçiş süresini kısaltır ve kolesterol, glikoz ve yağ emilimini azaltır. Özellikle tip II diyabetin önlenmesinde etkisi olduğunu belirten çalışmalar mevcuttur (Mackie ve ark., 2016). Çözünür diyet lifi kolonda fermente olarak CO₂, H₂, CH₄, propiyonik asit ve bütanoik asit gibi kısa zincirli uçucu yağ asitleri üretir. Suda çözünebilir diyet lifler, arabinoksilan, β-glukan, gamlar, pektin ve inülin gibi polisakkaritlerdir (Ktenioudaki ve Gallagher, 2012).

Çözünmeyen diyet lifi: β-(1→4) glukozidik bağlar içerir ve bu yapı asidik veya alkali ortamlarda bozunmaya karşı direnç göstermesini sağlar. Suda çözünmeyen lifler selüloz, hemiselüloz, dirençli nişasta, kitin, kitosan, lignin, kütin ve suberin gibi yapılardan oluşmaktadır. Suda çözünmeyen lifler yüksek miktarda suyu absorplayabilirken, viskoz bir yapı meydana getirmezler, bu tür lifler fekal hacmi artırarak bağırsakta transfer süresini azaltıp kabızlığı önlerler (Kılınççeker ve Karahan, 2019a).

Suda Çözünebilir Diyet Lifleri ve Özellikleri

β-glukan: β-glukanlar, birçok kaynakta bulunabilen büyük bir kompleks polisakkarit sınıfıdır. β-glikozidik bağlarla bağlı D-glukoz monomerlerinden oluşurlar (Şekil 2). Genel olarak, β-glukanlar hem β-(1→3) hem de β-(1→4) bağları ile bağlanmış doğrusal bir glikoz birimi zinciridir. Kökenlerine bağlı olarak, β-glukanlar tahıl veya tahıl dışı türevli olarak sınıflandırılabilir. β-glukanların tahıl kaynakları arasında yulaf ve arpa bulunurken tahıl dışı kaynaklar arasında ise mantar, alg, bakteri ve deniz yosunu bulunur. Tahıl bazlı β-glukanlar suda çözünürlük özelliklerinden dolayı insan beslenmesinde destek olarak kullanılırlar. β-glukanın yapısal özelliklerinin sağlık yararları üzerinde etkisi vardır; çözünmeyen β-glukan gastrointestinal hareketliliği ve gaita hacmini etkilerken hem çözünür hem de çözünmez β-glukanın kan şekeri ve lipidler üzerinde olumlu etkileri vardır (Prins ve Kosik, 2023).

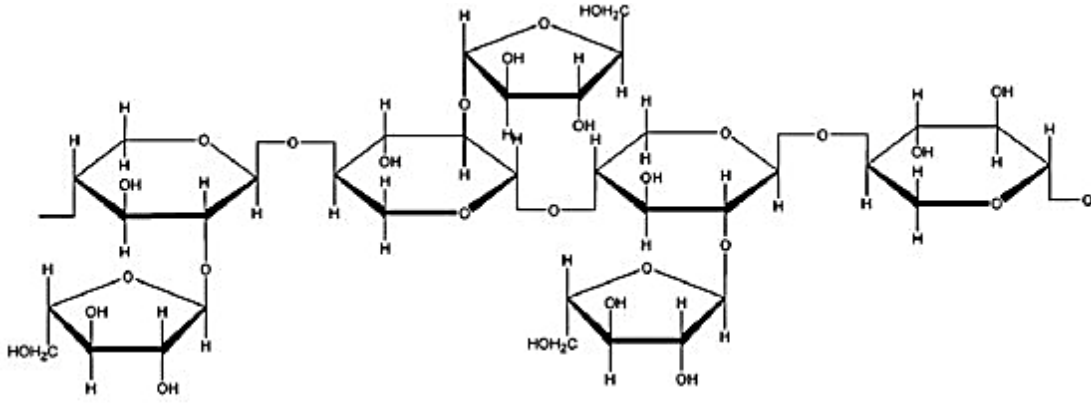


Şekil 2. β-glukanın kimyasal yapısı (Sinha ve ark., 2011).

Arabinoksilan: Arabinoksilanlar, tahılların aleurone ve nişastalı endosperm hücre duvarlarının başlıca nişasta yapısında olmayan polisakkaritleri olup pentozan olarak da bilinirler. Bir ksiloz ile arabinoz yan zincirlerinden oluşan arabinoksilanlar ayrıca glukuronik asit ve galaktoz gibi monosakkaritler ve

başta ferulik asit olmak üzere farklı oranlarda fenolik asitleri de içerebilirler (Chen ve ark., 2019) (Şekil 3).

Arabinoksilanlar, tahıl tanelerinin diyet lif fraksiyonunun ana bileşeni olup mısır, çavdar, arpa, yulaf, sorgum, buğday ve pirinç gibi tahıllar ve muz gibi çok çeşitli kaynaklardan elde edilebilir. Suda çözünme özelliklerine göre çözünen ve çözünmeyen şeklinde iki grupta değerlendirilirler. Suda çözünebilir arabinoksilan türleri ekmek kalitesine olumlu etki ederken, suda çözünmeyen türleri olumsuz yönde etkilerler. Ağırlıklarının 10 katı kadar su emme yeteneğine sahiptirler. Bu sebeple ekmeklik hamur üretiminde su emilim ve dağılımının önemli bir düzenleyicisidirler (Boz, 2015).



Şekil 3. Arabinoksilanın kimyasal yapısı (Sinha ve ark., 2011).

Gumlar ve müsilajlar: Gumlar ve müsilajlar su ve organik maddelere olan yakınlıkları nedeniyle jel oluşturabilirler, bu da onları farmasötik ve gıda ürünlerinde kıvam arttırıcı, jelleştirici ve emülsifiye edici maddeler olarak ideal hale getirir.

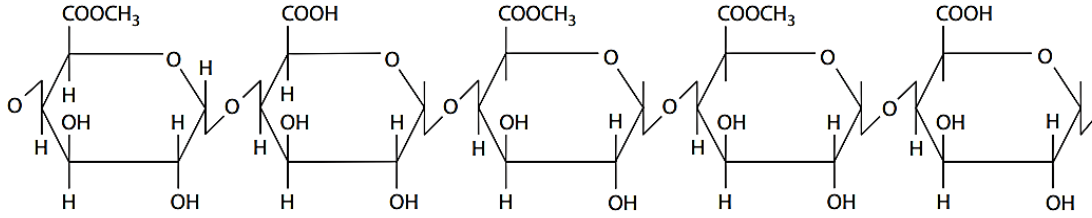
Gumlar gıdanın kalitesini arttırmak ve raf ömrünü uzatmak için kullanılan hidrokolloid yapıdaki katkı maddeleridir. Suyun emilimiyle şişerek jelleşirler ve viskoziteyi değiştirirler. Bitkisel kökenli, mikrobiyal fermentasyonla veya kimyasal yollarla elde edilirler. Gumlar, gıda üretiminde ve diğer endüstrilerde; akıllı gıda ambalajı, anti-inflamatuar etki, anti-kanser etki, antioksidan özellikler, bağlayıcı ajan, emülgatör, jelleştirici ajan, kaplama filmi, kıvam arttırıcı, kontrollü ilaç salınımı, nanokompozit film üretimi, nanopartikül üretiminde katalizör, süspansiyon stabilizatörü, sütü içeceklerde probiyotik etki, viskozite arttırma gibi amaçlarla kullanılmaktadırlar (da Silva ve ark., 2020). Gumlar, doğal olarak oluşan bileşiklerden veya sentetik kaynaklardan elde edilebilir. Bunlar arasında; bitki özuları (kitre, karaya), ekstraktlar (agar, aljinatlar, karagenan), pektin, bazı unlar (keçiboynuzu, guar ve diğer nişastalar), biyosentetik/fermentasyon ürünleri (ksantan, gellan) ve yarı sentetik yapılar (karboksimetilselüloz, metilselüloz, hidroksipropilselüloz ve hidroksipropilmetilselüloz) bulunur (Clemens ve Pressman. 2017).

Müsilajlar, neredeyse tüm bitkiler ve özellikle fitoplanktonlar ve yeşil alg gibi protistalar tarafından salgılanan yapışkan ve mukus benzeri bir maddedir. Bitkilerde müsilaj, yapraklar, tomurcuklar, kökler, kabuk, meyveler ve tohumlar dahil olmak üzere bitkinin farklı kısımlarına dağılmış olarak bulunabilir.

Organik asitlerle birleşmiş yüksek molekül ağırlıklı polimerik polisakkaritlerin komplekslerinden oluşur ve polisakkaritler, proteinler, mineraller, lipitler ve uranik asit birimleri içerir. Yüksek hidrokolloid yapıdadır, su varlığında jel oluşturur, bu özelliği sebebiyle gıda, ilaç ve biyomedikal endüstrilerinde potansiyel kullanım alanı vardır (Goksen ve ark., 2023).

Pektin: Pektin, yüksek molekül ağırlıklı, biyoyumlu, toksik olmayan ve bitkilerin hücre duvarlarından elde edilen iyonik olmayan doğal bir polisakkarittir (Şekil 4). Pektin ifadesi, molekül ağırlığına, kimyasal konfigürasyonuna ve nötr şeker içeriğine göre değişen bir dizi polimeri kapsar. Pektini üreten bitki türlerine göre pektinin fonksiyonel özellikleri de değişebilir. Pektin, meyve ve sebzelerde yüksek, fakat tahıl gibi kaynaklarda düşük oranda bulunur. Pektin üretiminde genellikle turuncgil kabuğu ve elma posası hammadde olarak kullanılır (Chen ve ark., 2015).

Pektinin asit, şeker ve su ile karıştırılmasıyla elde edilen karışım ısı etkisiyle “pektin jeli” denilen bir yapıya dönüşür. Pektin, sulu jeller oluşturma kabiliyeti nedeniyle gıda endüstrisinde jelleştirici, kıvam verici ve stabilizatör olarak kullanılır. Reçel ve jölelerde, meyve preparatlarında, meyveli içecek konsantrelerinde, meyve suyunda, tatlılarda ve fermente süt ürünlerinde kullanılır. Ayrıca, yüksek jelleşme özellikleri ve biyolojik olarak parçalanabilirlik, pektinin ilaç endüstrisinde ve kozmetik uygulamalarında biyopolimer malzeme olmasını sağlamıştır (Wikiera ve ark., 2021).



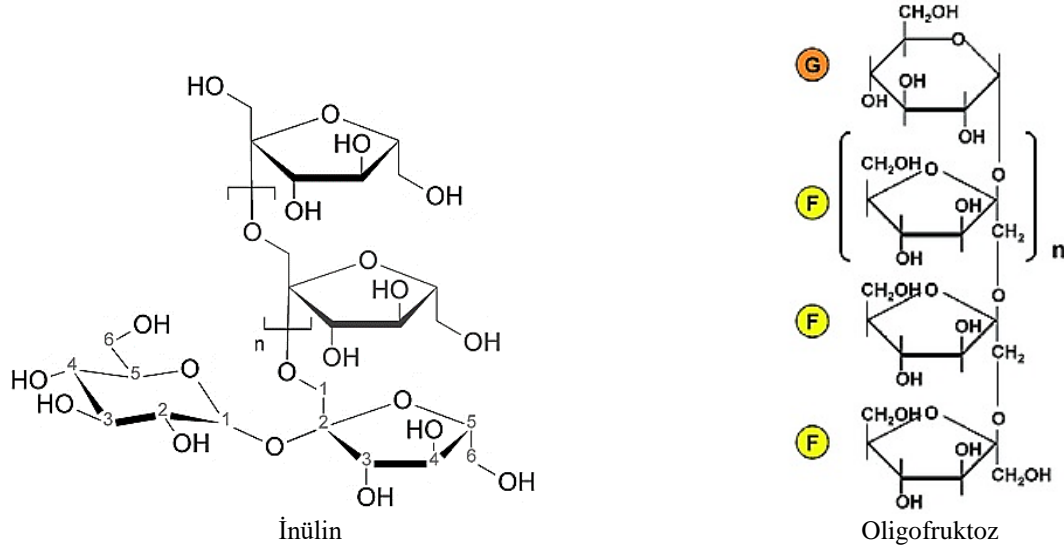
Şekil 4. Pektinin kimyasal yapısı (Sirisha ve D'Souza, 2016).

İnülin ve Oligofruktoz: İnülin ve oligofruktoz, birbirine β -(2→1) bağlarıyla bağlanmış bir glikoz ve birden fazla fruktoz monomerlerinden oluşan lineer polimerlerdir (Şekil 5). Bu bağlar, memeli sindirim enzimlerine ve insan gastrointestinal sisteminde bulunan yüksek pH değerlerine dirençlidir. Sağlık üzerinde inülin ve oligofruktozun en önemli etkisi, ince bağırsakta *Lactobacilli* ve *Bifidobacteria* gibi bakterilerin büyümesini teşvik etmesidir. İnülin veya oligofruktoz ile salınımı artırılan *Bifidobacteria* suşları, zararlı bakterilerin büyümesini engeller, bağışıklık sistemi fonksiyonlarını uyarır, B grubu vitaminleri sentezler ve bazı minerallerin emilimini artırır (Yabancı, 2010).

İnülin (diğer adıyla fruktan), beyaz, tatsız bir madde olup düşük sıcaklıktaki su içinde az, yüksek sıcaklıktaki su içinde iyi çözünebilmektedir. Gıda sektöründe özellikle hindiba (*Cichorium intybus*), yer elması (*Helianthus tuberosus*), sarımsak (*Allium sativum*), kuşkonmaz (*Asparagus officinalis*),

soğan (*Allium cepa*), pırasa (*Allium porrum*) ve muz (*Musa sapientum*) inülin kaynağı olarak kullanılır (Bilişli, 2009).

Oligofruktoz (diğer adıyla fruktooligosakarit), inülinin enzimatik hidrolizasyonu ile üretilir. Glikozidik bağlarının yapısı nedeniyle sindirim sistemi enzimlerinin hidroliz etkisine direnç gösterir. Sindirilemeyen bir lif olduğundan fonksiyonel niteliklere sahiptir, ayrıca düşük enerji değeri ve prebiyotik özelliklerinden dolayı gıda endüstrisinde kullanılırlar. Diyabet, koroner hastalıklar ve kanser riskini azaltırlar (Meyer ve ark., 2011).

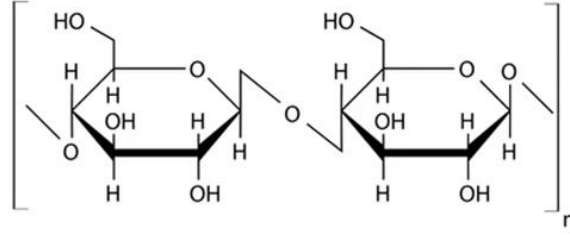


Şekil 5. İnülin ve oligofruktozun kimyasal yapısı (Gibson ve Delzenne, 2008).

Suda Çözünmeyen Diyet Lifler ve Özellikleri

Selüloz: Meyve ve sebzelerin hücre duvarında %30-40 oranında bulunan selüloz, glikopiranoz birimlerinin β -(1 \rightarrow 4) bağlarıyla bağlanması ile oluşan dallanmamış bir polimer olup genellikle yapı bileşeni olarak hemiselüloz ve pektinle bağlantılıdır (Şekil 6). Sindirim sisteminde bağırsak içi kütlenin hacim artışı sağlayarak, bağırsak hareketlerine yardımcı olur (Repo-Carrasco-Valencia ve ark., 2009).

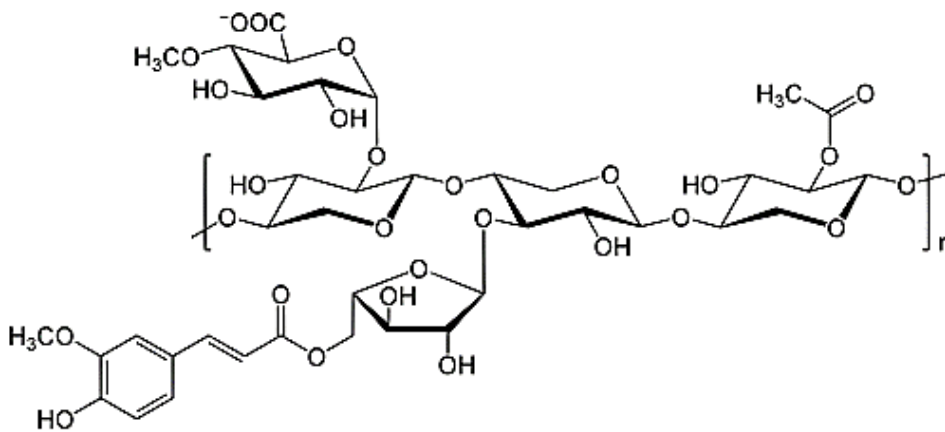
Selüloz, su ile karıştırıldığında gösterdiği fiziksel ve kimyasal özellikleri sebebiyle cazip görülen bir gıda katkı maddesi olup uzun yıllardır gıda üretiminde kullanılmaktadır. Selüloz ve türevleri koyulaştırma, emülsiyon hazırlama, reolojik özelliklerin düzenlenmesi, köpük stabilizesi, buz kristali modifikasyonu ve su tutum kapasitesinin artırılması gibi birçok amaca uygun bir gıda katkı maddesidir (Ateş ve ark., 2016).



Şekil 6. Selülozun kimyasal yapısı (Serna Saldívar ve Ayala Soto, 2020).

Hemiselüloz: Hemiselüloz, bitki hücre duvarlarından alkali ile ekstrakte edilebilen polisakkarit türü olarak tanımlanır. Doğada toplam biyokütlenin %30-35'ini oluşturan hemiselülozlar; ksilanlar, glikomannanlar, arabinogalaktanlar olmak üzere üç grupta sınıflandırılır. Bitki hücre duvarlarında selüloz ve ligninle bulunan ve ekvatorial konfigürasyona sahip β -(1 \rightarrow 4) bağlı iskelete sahip kristal olmayan hetero doğrusal veya dallanmış polisakkarit kümesi olan hemiselülozların bilinen en az 250 üyesi vardır (Slavin, 2005). Hemiselülozlar selülozun aksine, pentoz şekerleri (ksiloz, arabinoz gibi) ile heksoz şekerleri (mannoz, glukoz, galaktoz gibi) ve şeker asitlerinden oluşan heterojen yapıda polimerlerdir (Şekil 7). Sert odun hemiselülozu daha çok ksilan içerirken yumuşak odun hemiselülozu ise daha çok glukomannan içerir. Su tutucu ve katyon bağlayıcı özelliği bulunmaktadır. En büyük grubu, ksilan ve arabinoksilan gibi pentozanlardır (Insel ve ark., 2003).

Sindirim salgılarından etkilenmekle birlikte incebağırsak ve kalınbağırsak bakterileri hemiselülozun yaklaşık %87'sini parçalar. Hemiselülozun başlıca besin kaynakları tahıl taneleridir. Tam tahıl ürünleri ve benzeri ürünlerde olduğu gibi birçok tahıl türünün kepek tabakası hemiselüloz açısından zengindir (Yılmaz ve Yıldırım, 2020).



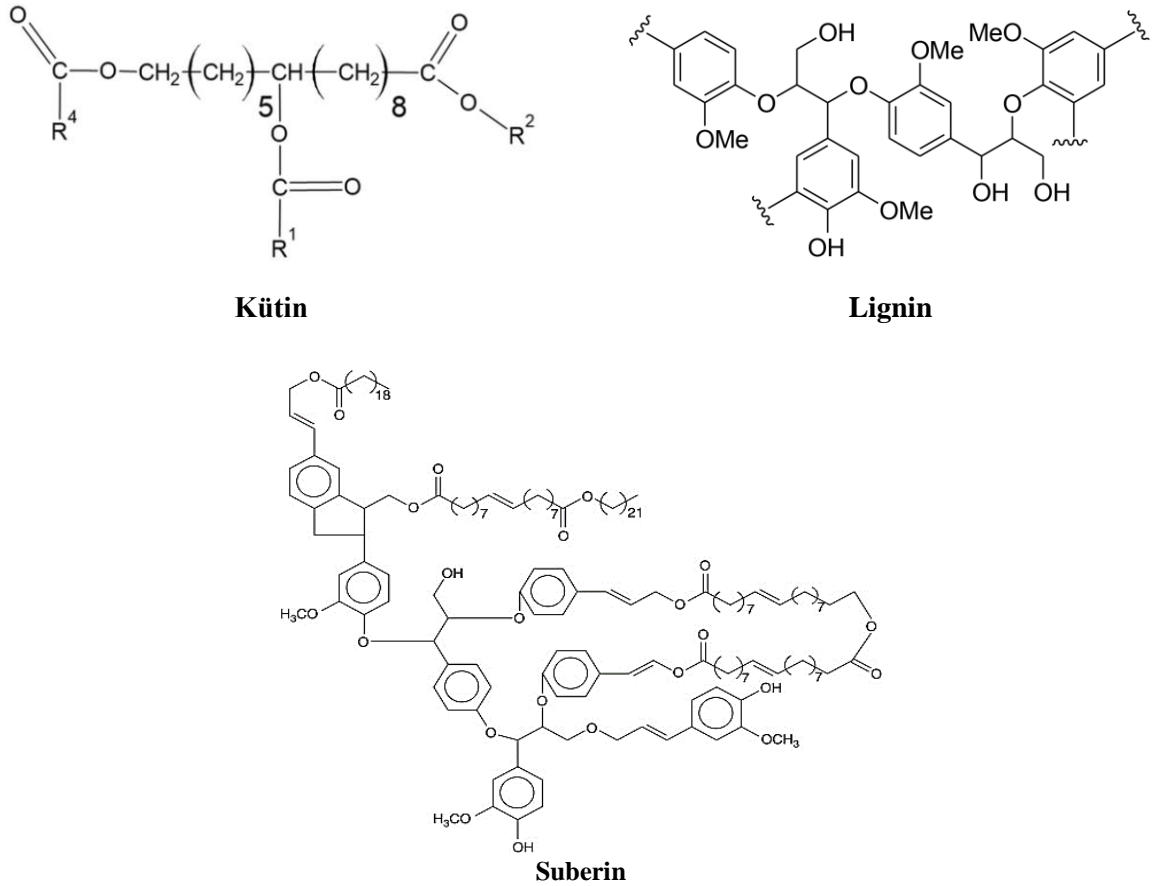
Şekil 7. Hemiselülozun kimyasal yapısı (Slavin, 2005).

Lignin, Suberin ve Kütin: Bu bileşikler, sadece bazı hücre türlerinde bulunan karmaşık yapıdaki polimerlerdir.

Lignin, karbonhidrat olmayan organik bir polimer olup, selülozdan sonra yeryüzünde en bol bulunan ikinci maddedir. Odunda bulunur ve hücre duvarlarının dayanım ve direncini artırmaya yararken aynı zamanda bitkinin patojen istilasına karşı savunulmasına yardımcı olur. Ligninin hidrofobik yapısı hem aromatik hem de alifatik fonksiyonlara sahiptir ve güçlü intramoleküler bağlara sahip fenol birimlerinden oluşan oldukça dallanmış moleküllerden oluşur (Şekil 8). Genel olarak, kolon bakteriyel mikrobiyotası tarafından az oranda fermente edilir ve hem diyet hem de fonksiyonel lif olarak kabul edilir (Mišurcová ve ark., 2012).

Suberin, lignine benzer bir yapıdadırlar ve dokunun su geçirgenliğini önler. Hidrofobik bir yapıda olup bağırsakta parçalanmaya karşı dirençlidir. Çapraz biçimde bağlı olduğu varsayılan bir poliaromatik (ağırlıklı olarak birincil hücre duvarı içinde yer alır) ve bir polialifatik (birincil hücre duvarı ile hücre zarı arasında yer alır) olmak üzere iki farklı bileşenden oluşur (Şekil 8) (Franke ve Schreiber, 2007).

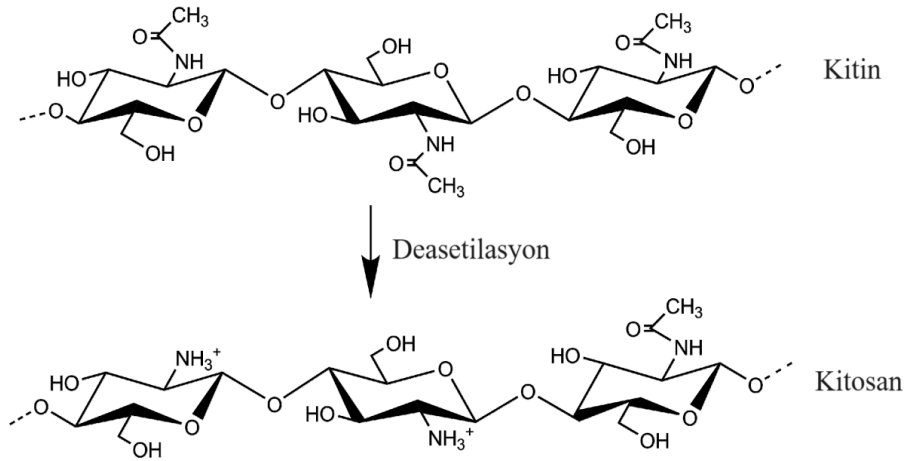
Kütin, yaprakların ve meyvelerin en dış katmanını kaplayan ve mumsu bileşiklerle bağlı olan su geçirmez kütikulanın bir bileşenidir. Uzun hidroksialifatik yağ asidi zincirleri içeren kütin lipid yapıda bir madde olup lignin ve suberin gibi oldukça hidrofobiktir ve bağırsakta parçalanmaya karşı son derece dirençlidir. Hem kütin hem de suberin bitki bazlı liflerin küçük bir oranına katkıda bulunurlar. Düşük konsantrasyonlarına rağmen, kolorektal kansere karşı korunmada önemli bir rol oynarlar (Şekil 8) (Southgate, 2001).



Şekil 8. Lignin, suberin ve kütinin kimyasal yapısı (Sales ve ark., 2021; Gandini ve Belgacem, 2012).

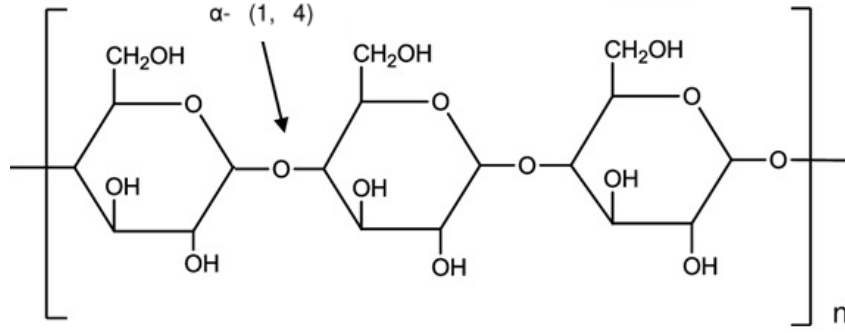
Kitin ve Kitosan: Kitin, doğada selülozdan sonra ikinci sırada bulunan yaygın bir amino polisakarittir. Gıda endüstrisinde ve diğer birçok alanda çeşitli uygulamaları olan bir biyopolimerdir. Kitin üretimi karides, yengeç kabukları ve bazı mantarların çeşitli işlemlere tabi tutulmasını içerir. Bu canlıların kabuğu protein (%30 - %40), kalsiyum karbonat (%30 - %50), kalsiyum fosfat (%20 - %30) ve kitinden oluşmuştur. Kitin ve kitosan sadece asetilasyon seviyeleri ve çözünürlükleri nedeniyle farklıdır. Kristalize ve kararlı yapıda olan kitin, su ve alkol içerikli çözeltilerde çözünmez. Kitinin deasetilasyonu ile elde edilen kitosan, renksiz, kokusuz, tatsız, toksik olmayan ve biyouyumlu bir polimerdir (Demir ve Seventekin, 2009; Olcay, 2015).

Gıda endüstrisinde doğal kıvam artırıcı, koruyucu, gıda işleme, filtrasyon ve temizleme veya zayıflama ürünlerinin üretiminde geniş bir kullanım alanına sahip olan kitin ve kitosan, sindirim enzimleri tarafından hidrolize edilememeleri, antimikrobiyal ve antioksidan özellikleri, yenilebilir filmler oluşturabilmeleri, yüksek viskoziteli çözeltiler ve jel oluşturabilmeleri ve yüksek su bağlama kabiliyetleri gibi faktörler nedeniyle tercih edilmektedir. Bitkisel bazlı diyet lifleri ile benzer özellikler gösterirler (Yıldız ve Yangılar, 2014) (Şekil 9).



Şekil 9. Kitin ve kitosanın kimyasal yapısı (Nilsen-Nygaard ve ark., 2015).

Dirençli Nişasta: Dirençli nişasta, nişastayla benzer yapıda fakat hidroliz enzimlerine dirençli olması sebebiyle insan vücudunda sindirilmeye özelliği olmayan ve diyet lifi kapsamında yer alan bileşiktir (BeMiller, 2020) (Şekil 10). Sindirim sisteminde sadece *Bifidobacteria* tarafından ayrıştırılırlar. Dirençli nişasta, yetişkinlerde diyet lif kaynağı olarak da kullanılır. Dirençli nişasta, yağ ikamesi olarak bazı gıdalarda kullanılabilir olmaları, yağ içeriğini düşürme ve yağların gıdaya kazandırdığı karakteristik özelliklere benzerliği açısından önemlidirler (Kotancılar ve ark., 2009). Baklagiller, dayanıklı nişasta için başlıca kaynaklar arasında yer alır. Dirençli nişasta, pasta ve bisküvi gibi bazı gıdaların üretiminde katkı maddesi olarak kullanıldığında özellikle renk ve tekstür gibi özelliklerin korunmasıyla ilgili sorunların giderilmesinde avantaj sağlamaktadır (Murphy ve ark., 2008).



Şekil 10. Dirençli nişastanın kimyasal yapısı (Murphy ve ark., 2008).

Gıda Endüstrisi Ürünlerinde Diyet Liflerin Kullanımı

Son yıllarda lif bakımından zengin gıdalara olan ilgi artmış ve bu gıda bileşeninin önemi anlaşıldıkça, lif bakımından zengin ürünler ve bileşenler için büyük bir pazarın gelişmesine yol açmıştır. Diyet liflerinin tercih edilmesinin tek nedeni sağlık üzerindeki faydalı etkileri değildir. Gıda endüstrisinin birçok kategorisinde fonksiyonel ve teknolojik özellikleri nedeniyle önemli bir gıda katkı maddesi olarak kullanılmaktadırlar (Dönmez ve ark., 2010). Diyet lifleri, gıdalara eklendiklerinde çok sayıda yeni fonksiyonel özellik sağlarlar. Lif ilavesi ile; gıdalarda emülsiyon oluşturma, jel oluşturma yeteneği, kalıplaşmayı ve yapışkanlığı azaltma, kalori değerini azaltma, stabilizatör, su bağlama kapasitesinde artış, tekstür düzenleyici, kıvam verme, topaklaşmayı önleme, yağ ikamesi olarak kullanılma vb., birçok yeni veya değiştirilmiş özellik sağlayarak gıdaların tekstürünün, duyuşal özelliklerinin ve raf ömrünün değiştirilmesine ve iyileştirilmesine katkıda bulunulur.

Diyet lifi eklenmiş birçok gıda piyasaya sürülmüştür. Diyet lifleri, unlu mamuller, içecekler, şekerlemeler, süt ürünleri, et ve et ürünleri, makarna ve çorbalar, tahıl barları, kahvaltılık gevrekler, soslarda, meyve ürünleri ve toz karışım ürünlerinde çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Ayrıca diyet içeceklerinde, gıda bileşeni ikamesi amacıyla, sporcu içeceklerinde ve kahvaltılık içeceklerde de kullanılabilirler. Çözünür özellikteki diyet lifler, fonksiyonel nitelikleri nedeniyle tercih edilmekte ve gıdalarda belli oranlarda (%0,2 - %1) kullanılmaktadır. Çözünmeyen lifler ise doyurucu nitelikleri ve teknolojik avantajları sebebiyle gıdalara katılmaktadır (Elleuch ve ark., 2011).

Et ürünlerinde diyet liflerin kullanımı:

Et ürünlerine diyet lif eklenmesi et sektöründe yaygınlaşan bir uygulamadır. Özellikle emülsifiye et ürünlerinin yağ oranlarını azaltmak temel hedef iken aynı zamanda üründe tat, lezzet, renk ve su tutma vb. özelliklerin korunması amacıyla tek başına veya diğer bileşenlerle birlikte çeşitli katkıların eklenmesi amacıyla çeşitli yollar bulunmuştur. Bu sebeple inülin, tahıl ve meyve lifleri, et endüstrisinde kullanılmaktadır. Kullanılan bu lif katkılarıyla formül değişikliklerinin istenmeyen sonuçlarının engellenmesi ve ikame edilmemiş orijinal ürünlerle rekabet edebilecek ürün özelliklerini korumak amaçlanmaktadır (Henning, ve ark., 2016).

Abul-Fadl, (2012), karnabahar yan ürünlerinden elde edilen unun çeşitli seviyelerde (%2,5, %5 ve %7,5) sığır eti ile üretilen sosislerin üretiminde yağ ikamesi olarak kullanımını araştırmıştır. Kontrol sosis örnekleri ile %7,5 karnabahar unu ilaveli örnekler arasında hedonik tat skalasında önemli bir fark bulunmamıştır. Çalışma sonunda karnabahar yan ürün ununun et ürünleri ve gıda takviyeleri üretiminde diyet lifi, mineraller, antioksidanlar ve fenolik bileşikler kaynağı olarak kullanılmasının ürünün maliyetini düşürerek besinsel, fizikokimyasal ve duyu kalite kriterlerini iyileştireceği sonucuna varılmıştır.

Cava ve ark., (2012), farklı kaynaklardan elde edilen diyet liflerinin (domates lifi, pancar kökü lifi ve inulin) 3 farklı oranda (%1, %2 ve %3) tavuk eti ürünlerine eklenmesinin etkilerini araştırmışlardır. Tavuk eti ürünlerine lif ilavesi, eklenme seviyesiyle orantılı olarak tavuk hamurlarının pH'ını düşürmüştür. Lif ilavesi su tutma kapasitesini artırmış ancak sadece domates lifi ilavesi pişme kayıplarını azaltmıştır. Hamurların ve pişmiş ürünlerin rengi, eklenen lifin türü ve seviyesi ile önemli ölçüde değişmiştir. Tavuk eti ürünlerine her iki tür lif ilavesi, sertlik değerlerini artırmış, lipid oksidasyon süreçlerini azaltmıştır. Bu değişiklikler eklenen lif seviyesine bağlı olmuştur. Domates lifi ilavesi et ürünlerinin kırmızılığını arttırsa da lipid oksidasyon süreçlerinin derecesini azalttığı için bu lifin kullanımı daha uygun olmuştur.

Kılınççeker ve Karahan, (2019b) çalışmalarında, balık köftelerine eklenen farklı seviyelerdeki bambu lifinin (%0, %3, %6 ve %9) renk, verim, çap, nem emilimi ve yağ emilimi gibi çeşitli köfte özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışma, yüksek seviyedeki bambu lifinin çiğ köftedeki 'a' değerini düşürdüğünü ortaya koymuştur. Kızarmış köftelere %9 oranında lif eklenmesi verim, L ve b değerlerini artırmıştır. Buna karşılık, %3 lif ilavesi nem tutma oranlarını artırmış ve yağ emme oranlarını azaltmıştır. Düşük lif ilavesinin (%3) hazırlanan örneklerin duyu kalitesini arttırdığı tespit edilmiştir. Son olarak, çalışmada balık köftelerine %3 veya %9 bambu lifi eklenmesinin kabul edilebilir olduğu bulunmuştur.

Mumyapan ve ark., (2022) sosis üretiminde diyet lif kaynağı olarak %1,5, %2,2 ve %3 oranında kabak çekirdeği unu kullanmış ve sosisin fizikokimyasal özelliklerini analiz etmişlerdir. Diyet lifi ilavesi ile sosis karışımlarının viskozitesinin ve su tutma kapasitesinin arttığı gözlemlenmiştir. Diyet lifi katkısı sucuğun renk değerleri üzerinde etkili olmuştur. Diyet lifi ilavesi sertlik ve yapışkanlık değerlerini artırırken, duyu açıdan olumsuz bir sonuçla karşılaşmadığı çalışma sonucunda bildirilmiştir.

Süt ürünlerinde diyet liflerin kullanımı:

Süt ürünlerinde lif kullanımı da yaygındır: örneğin, inülin süt ürünlerinde çok sayıda avantaj sağlamaktadır. Peynir ikamelerinde veya dondurmada kıvamı ve ağız hissini geliştirir ve yoğurt ve diğer fermente süt ürünlerinde sinerezisi azaltır (Yangılar, 2013).

Hashim ve ark., (2009) hurma şurubu üretiminin bir yan ürünü olan hurma lifi ile zenginleştirilmenin taze yoğurt üzerindeki etkisini incelemiştir. Kontrol yoğurdu (lifsiz), %1,5, 3,0 ve 4,5 hurma lifi ile zenginleştirilmiş yoğurt ve %1,5 buğday kepeği içeren yoğurt hazırlanmıştır. % 3'lük hurma lifi ile

zenginleştirilmiş yoğurt, kontrol yoğurdu ile benzer ekşilik, tatlılık, sertlik, pürüzsüzlük ve genel kabul edilebilirlik değerleri vermiştir.

de Moraes Crizel ve ark., (2013), portakal yan ürünlerden elde edilen lifleri karakterize etmek ve dondurmada yağ ikamesi olarak kullanımlarını araştırmıştır. İki farklı portakal lifi örneği analiz edilmiştir: F1 (kabuk, posa ve çekirdek) ve F2 (kabuk). Lifler yüksek su ve yağ tutma kapasitesi, yüksek fenolik bileşik ve karotenoid içeriği göstermiştir. Portakal lifinin dondurmada yağ ikamesi olarak kullanılması, renk, koku ve doku gibi ürün özelliklerinde önemli değişiklikler olmaksızın yağın %70 oranında azaltılmasını sağlamıştır. Portakal lifinin dondurma üretiminde yağ ikamesi olarak iyi bir alternatif olduğu bildirilmiştir.

Pimentel ve ark., (2013) araştırmalarında inülini yağ ikamesi olarak az yağlı yoğurtta kullanmışlardır. İnülinin sütle birlikte mikrokristaller oluşturduğu, tadıldığında tanecik yapısının algılanmadığı ancak tam yağlı yoğurtla karşılaştırıldığında oral hissi destekleyen kremi bir doku oluşturduğu gözlemlenmiştir. Uzun zincirli inülinin süt ürünlerinde yağ ikamesi olarak uygun olduğu, doğal inülin ile karşılaştırıldığında düşük çözünürlüğünün ve yüksek viskozitesinin ürün stabilitesini olumlu etkilediği belirtilmiştir.

Dello Staffolo ve ark., (2017), Bitkisel liflerin düşük kalorili sütlü tatlı üretiminde kullanımının mekanik özellikler ve su tutma özelliğine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada elma, bambu, inulin, buğday ve psyllium lifleri ayrı ayrı test edilmiştir. Çalışma sonuçlarını düşük kalorili olmayan sütlü tatlı örneğiyle karşılaştırmışlardır. Sonuçlara göre diyet lifler düşük kalorili tatlı üretiminde yağ/şekerden arındırma işleminin getirdiği olumsuzlukları gidermiştir. Ayrıca farklı lif türlerinin su tutma özellikleri üzerinde farklı ve olumlu roller oynadığı gösterilmiştir.

Tomic ve ark., (2017), 15 ve 30 g/kg seviyelerinde tritikale, buğday veya yulaf gibi çözünmeyen liflerle zenginleştirilmiş az yağlı şekeriz yoğurdun duyu niteliklerini ve tüketici kabulünü değerlendirmiştir. Yoğurtların çözünmeyen tritikale lifi ile zenginleştirilmesi, belirgin bir granüler yapı ve sarımsı kahverengi bir renk ile sonuçlanmıştır. Lif oranı 30 g/kg ile zenginleştirilen yoğurtlar, tanecikli yapıları ve bir miktar acılıkları nedeniyle düşük kalite puanları almalarına rağmen tritikale yoğurtlarını tercih eden üç farklı tüketici alt grubu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, tritikalenin çözünmeyen diyet lifi, yoğurt da dahil olmak üzere lif bakımından zenginleştirilmiş fermente süt ürünlerinin üretiminde fonksiyonel bir bileşen olarak kullanılabilmesi bildirilmiştir.

Gomes ve ark., (2023), farklı lif türlerinin (%70 çözünür mısır lifi, %85 çözünür mısır lifi ve polidekstroz) ve lif konsantrasyonlarının (%2,5, %5 ve %10) yüksek proteinli, yağsız ve şekeriz yoğurt üzerindeki etkisini değerlendirmiştir. Fermantasyon sırasında, %10 lif konsantrasyonuna sahip yoğurtlarda pH daha hızlı düşmüştür. Test edilen lif türleri, yoğurtların su tutma kapasitesini kontrole göre etkilememiştir. 0. günde, lif türünden bağımsız olarak, daha yüksek lif konsantrasyonları daha küçük partikül boyutu dağılımı ile sonuçlanmıştır. 45 gün boyunca depolandıktan sonra, ilave lif ile muamele edilen yoğurt örneği ile kontrol örneği arasında viskozite açısından bir fark görülmemiştir. %10'luk polidekstroz içeren yoğurdun mikro yapısı, muhtemelen artan lif konsantrasyonuna bağlı

olarak daha büyük gözenekler göstermiştir. Çalışma sonuçlarının, yüksek protein içeriği ve ilave lif gibi fonksiyonel özelliklere sahip yoğurt üretmek isteyen endüstriler için kullanılabilir olduğu belirtilmiştir.

Reçel vb ürünlerde diyet liflerin kullanımı:

Reçel ve marmelatların hazırlanmasında yaygın olarak kullanılan ilave lifler, çoğunlukla meyvelerden elde edilen ve nihai ürünün stabilitesini korumada bir faktör olan farklı esterleşme derecelerine sahip pektinlerden oluşurlardır. Düşük kalorili çikolata ve türevleri söz konusu olduğunda, inülin ve oligofruktoz gibi lif bileşikleri şeker ikamesi olarak kullanılmaktadır (Yangılar, 2013).

Durrani ve ark., (2011) bal bazlı bir şekerlemede ana bileşen olarak havucun kullanım potansiyelini araştırmıştır. Araştırmacılar, ürünün olumlu duyusal puanlar ve kabul edilebilir fizikokimyasal ve mikrobiyolojik sonuçlar aldığını bildirmişlerdir. Ürünün, 25-30°C'de 6 ay boyunca güvenli bir şekilde muhafaza edilebileceği tespit edilmiştir.

Hussein ve ark., (2015) yaptıkları çalışmada, havuç kabuğu, elma posası, muz kabuğu ve mandalina kabuğundan elde edilen liflerin kimyasal bileşimi, toplam fenolik bileşenler ve reçel hazırlamadaki kalitesini araştırmışlardır. Mandalina kabuğunun (%12,16), muz kabuğunun (%5,25), havuç kabuğunun (%3,91) ve elma posasının (%3,65) oranlarında lif içerdiği belirlenmiştir. Muz kabuğundan elde edilen liflerin kullanıldığı reçel örneklerinde daha yüksek magnezyum (758 mg/100g), potasyum (779 mg/100g), kalsiyum (191 mg/100g) ve demir (59 mg/100g) içeriği bulunmuştur. Havuç kabuğu lifi kullanılan reçelinin gallik asit eşdeğeri (87,4 mg/100g) olarak en yüksek değerde bulunurken, bunu elma posası lifi (82,5 mg/100g), muz kabuğu lifi (42,7 mg/100g) ve mandalina kabuğu lifi (34,6 mg/100g) reçelleri izlemiştir. Aynı eğilim kateşin eşdeğeri olarak toplam flavonoidlerde (mg CAT/100g) havuç kabuğu lifi (35,9), elma posası lifi (30,1), muz kabuğu lifi (23,5) ve mandalina kabuğu lifi (21,7) reçellerinde gözlenmiştir. Tekstürel olarak muz kabuğu lifi reçeli test edilen diğer örneklere göre daha koyu bulunmuş fakat duyusal değerlendirmede, elma kabuğu lifi reçeli daha yüksek tat ve koku ile karakterize olmuş, bunu mandalina kabuğu, muz kabuğu ve havuç kabuğu lifi reçelleri izlemiştir.

İçeceklerde diyet liflerin kullanımı:

İçeceklerin üretiminde diyet lifi kullanımı söz konusu olduğunda, lif ilavesi ürünlerin viskozite dengesi ve stabilitesini artırır. Lif türleri içerisinde en fazla kullanılan çeşit çözümlü liflerdir. Bu gruba örnek olarak, tahıl ve çoklu meyve fraksiyonlarından elde edilen lifler, pektinler, β-glukanlar, selüloz, pancar kökü lifi, polidekstroz vb. verilebilir (Yangılar, 2013).

Ibrügger ve ark., (2012), yaptıkları çalışmada, keten tohumu lifinin içecek ve tablet formunda tüketilmesinin iştah ve gıda alımı üzerindeki etkisi incelemiştir. Her iki keten tohumu lifi formunun da algılanan tokluğu artırdığı ve yemek sırasında enerji alımını azalttığı bulunmuştur. Ancak çalışmada, iştahın bastırılmasının keten tohumu lifinin içecek veya tablet olarak alınmasına bağlı olarak farklılık

gösterebileceği belirtilmiştir. Lifin kıvamlı içecekler yoluyla tüketilmesinin, lifin tablet şeklinde tüketilmesinden daha fazla etki gösterdiği belirtilmiştir. Çalışma sonunda, viskoz lif alımının artması iştah hissini artırarak viskozitenin tokluk belirleyicisi olarak önemi ortaya konmuştur.

Wang ve ark., (2020), çalışmalarında elma posası lifi ilavesinin yoğurtlu içecek üzerine etkilerini incelemişlerdir. Elma posası lifi ilavesi (%1, %2 ve %3 (w/w)) oranlarında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre, elma posası lifi ilavesinin yoğurdun yapısını değiştirerek daha sıkı ve yapışkan hale getirdiği, viskoziteyi artırdığı ve soğuk depolama sırasında peynir altı suyu salınımını önemli ölçüde azalttığı ortaya konmuştur. Katkı ilave oranları arttıkça parametreler üzerinde daha güçlü etki gözlenmiştir. Ayrıca yoğurttan yapılan içeceğin diyet lifi ve fitokimyasal oranlarında katkı oranına bağlı olarak artışlar gözlemlenmiştir. Çalışma sonunda elma posası lifi ilavesinin, yoğurt ve yoğurt bazlı içeceklerde stabilizatör etkisinin yanı sıra diyet lifi kaynağı olarak da bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir.

Arya ve Shakya, (2021), barnyard, foxtail ve kodo darı gibi küçük darıların kullanılmasıyla çok tahıllı fonksiyonel bir içecek üretimi üzerine çalışmışlardır. Darı türleri genelde diyet lifi, B vitaminleri ve magnezyum, demir gibi mikro besinler açısından zengin ve düşük glisemik indekse sahip olduğu için bu çalışmada seçilmişlerdir. Barnyard, foxtail ve kodo darıdan sırasıyla 5-8 g, 8-12 g, 6-9 g arasında kullanılmıştır. Bu oran pH, fenolik içerik, antioksidan aktivite ve elde edilen çok tahıllı içeceklerin duyusal olarak genel kabul edilebilirliğine göre seçilmiştir. İçeceğin duyusal özellikleri iyileştirmek için α -amilaz enzimi, fruktooligosakkarit, galaktooligosakkarit ve maltitol ilave edilmiştir. Son ürün, 1,2 g/100 g w/v fruktooligosakkarit ile 7 g barnyard, 10 g foxtail ve 8 g kodo darıdan hazırlanmıştır. Çalışma sonunda elde edilen optimum özelliklerdeki ürünün 5,72 g/100 g toplam diyet lifi, 47,69 mg ferulik asit eşdeğeri (FAE)/100 mL toplam fenolik madde içerdiği ve 1,56 prebiyotik aktivite ve 45,07 glisemik indeks (GI) gösterdiği bildirilmiştir.

Unlu mamullerde diyet lifi kullanımı:

Brennan ve ark., (2004), makarnaya farklı oranlarda inülin ilavesinin son ürün üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışma yapmışlardır. Makarna örneklerinde katkı artışına bağlı olarak kuru madde oranında ve pişme kaybında artış, su tutma oranında ve şişme indisinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca inülin ilavesiyle yapışkanlık ve esneklik değerlerinde değişim meydana gelmemiş fakat sertlik değerinde azalma belirlenmiştir.

Uysal ve ark., (2007) yaptıkları çalışmada diyet lifi ilavesinin bisküvinin besleyiciliği üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bisküvi formülasyonuna elma, limon, buğday ve buğday kepeği lifleri farklı oranlarda ilave edilmiştir. Çalışma sonucu, buğday kepeği lifi hariç diğer lif katkılarının eklenme oranlarına bağlı olarak bisküvilerde fitik asit içeriğini azalttığı belirlenmiştir. Buğday kepeği lifinin ise fitik asit oranını arttırmanın yanında bisküvinin besleyicilik özelliğini azalttığı bildirilmiştir.

Ajila ve ark., (2008) çalışmalarında mango kabuğundan elde ettikleri diyet lifini bisküvide buğday unu ikamesi olarak kullanmışlardır. Çalışma sonucunda elde edilen lif katkılı bisküvilerde antioksidan özellikleri gelişme gösterirken, hamurun su emiliminin %60'tan %68'e yükseldiği tespit edilmiştir.

Gunathilake, ve Abeyrathne, (2008) çalışmalarında hindistan cevizi unu ilavesiyle diyet lif içeriği zengin bir erişte üretimini amaçlamışlardır. Erişte formülüne hindistan cevizi unu farklı oranlarda (%0, 10, 20 ve 30) eklenmiştir. Elde edilen eriştelerin diyet lif içeriği kontrol örneğinde %0,03 iken, %10, %20 ve %30 oranında katkılı örneklerde sırasıyla %0,92, %1,94 ve %3,05 olarak belirlenmiştir. Çalışma sonunda hindistan cevizi unu katkısının, diyet lif ve protein açısından zengin erişte üretimi için kabul edilebilir bir kaynak olduğu belirtilmiştir.

Bilgiçli, (2009), karabuğdayunun glutensiz erişte yapımında kullanımını incelediği çalışmasında, glutensiz erişte ununa %20 oranında eklenen karabuğday unuyla yapılan örneklerin renk değeri haricinde duyu özellikleri bakımından beğenildiği ve mineral madde miktarını arttırmak için tam karabuğdayunun kullanılabilir olduğu belirtilmiştir.

Meral ve Doğan, (2009), keçiyoynuzu lifi, bezelye lifi ve inulin kullanımının ekmeğin reolojik özellikleri üzerine etkisinin inceledikleri bir çalışma yapmışlardır. Lif katkısı su emilim oranlarını arttırmış, sadece keçiyoynuzu lifi stabiliteyi arttırmış, hamur gelişim zamanı ise liflerin ilavesine rağmen değişmemiştir. Tüm lif örneklerinin ilavesiyle yoğurma tolerans indeksi ve elastikiyet değerinde azalma gözlenmiş, bezelye ve keçiyoynuzu lifi katkılı hamurlarda ise uzayabilirlik değerinde azalma tespit edilmiştir.

Seker ve ark., (2009), kayısı ve elma liflerinin bisküvi kalitesi ve bileşimi üzerine etkilerinin incelendiği bir çalışma yapmışlardır. Elma ve kayısıdan elde edilen diyet lifi örnekleri %10-40 oranları arasında bisküvi formülasyonuna eklenmiştir. Kayısı lifi eklenmiş bisküvi örnekleri, elma lifi eklenen bisküvi örneklerine göre daha yüksek yayılma oranı ve daha düşük sertlik değerleri vermiştir. İki farklı kaynaktan elde edilen liflerin formüle katılma oranlarına bağlı olarak örneklerin toplam diyet lif değerlerinde artış tespit edilmiştir.

Işık ve ark., (2017), muffin keklere belli oranlarda yaban mersininin eklenmesinin lif oranları ve genel beğeni durumları üzerinde etkilerini inceledikleri çalışmalarında; formülasyona eklenen yaban mersini değeri arttıkça keklerde çözünür/çözünmez ve toplam diyet lifi oranlarında, ayrıca antioksidan aktivite ve toplam fenolik madde değerlerinde artış tespit edildiğini ve son ürünlerin fonksiyonel özelliklerinde iyileşme sağlandığını belirtmişlerdir.

Öztürk, (2017), keten tohumu kabuğu tozunun buğday ekmeğine belli oranlarında eklenmesinin etkilerini araştırmıştır. %5 keten tohumu tozu eklenen ekmeğin toplam fenolik madde içeriğinin %93, serbest radikal temizleme gücünün %176, indirgeme gücünün %220 arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, ekmek hacminde azalma, ekmek içi sertliğinde artış şeklinde olumsuz etkiler gösterdiği çalışma sonucunda belirtilmiştir.

Jeddou ve ark., (2017) yaptıkları çalışmada patates kabuklarından elde edilen unu farklı oranlarda buğday unu ikamesi olarak kek üretiminde kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda %5-30 oranında patates kabuğu tozu içeren keklerin duyuşal açıdan kabul edilebilir olduğu bulunmuştur.

Ateş ve Elmacı, (2018), diyet lifçe zenginleştirilmiş kek üretimi amacıyla yüksek oranda lif içeren kahve çekirdeği zarının, un ikamesi ve yağ ikamesi olarak kek formülasyonunda kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla işlem görmemiş ve işlem görmüş kahve zarı lifleri %0, 20, 25 ve 30 oranlarında kek formülasyonda ayrı ayrı un ve yağ ikamesi olarak kullanılmış, keklerin fiziksel ve duyuşal kalitesi incelenmiştir. Çalışma sonucunda lif oranı artmış, kalori değeri kontrole göre düşük ve duyuşal özellikler açısından tüketicilerin tercih edebileceği kek formülasyonu geliştirilmiştir.

Peressini ve ark. (2020), çeşitli çözünür diyet liflerinin (hindibadan elde edilen inülin, psyllium tohum kabuğu lifi ve β -glukan) makarnanın viskoelastik özellikleri ve hamur yapma performansının yanı sıra glisemik tepkisi üzerindeki etkisi üzerine bir çalışma yürütmüştür. Lifle zenginleştirilmiş hamurların elastik özelliklerinin kullanılan lif türüne bağlı olarak değiştirdiği bulunmuştur. Makarnanın in vitro glisemik yanıtı ile sıcaklık tarama testinden elde edilen şişme indeksi arasında bir korelasyon saptanmıştır. Çalışma, lifle zenginleştirilmiş hamurların nişasta granüllerinde şişme, elastikiyette hafif artış ve su emilimi sergilediğini göstermiştir. β -glukan ve psyllium içeren makarna örneği, kontrol örneğine kıyasla in vivo glisemik indekste %33-37 oranında önemli bir azalma göstermiş ve duyuşal kabul edilebilirliği yüksek bulunmuştur.

Żakowska-Biemans ve Kostyra, (2023) yaptıkları çalışmada diyet lifi ile zenginleştirilmiş buğday unu-yulaf unu ekmeğinin duyuşal özellikleri ile tüketici beğenisi ve satın alma isteğini değerlendirmiştir. Duyusal panel değerlendirmesinde, ekmek hamuru unu %0, %4, %8, %12, %16 ve %20 oranında yulaf lifi ile değiştirilmiş altı ekmek örneği değerlendirilmiştir. Tüketici grubu (n=300) ekmek örneklarini sağlıklılık, doğallık, çekicilik ve satın alma istekliliği açısından değerlendirmiştir. Bilgilendirilmiş koşulda, tüketiciler etiketlenmiş %0, %8, %12 yulaf lifli ekmek örneklarini değerlendirmiştir. Çalışma sonunda, %20 yulaf unu kullanımının tüketicilerin buğday-yulaf ekmeği satın alma ya da onaylama eğilimleri üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığı bildirilmiştir.

Sonuç

Son yıllarda tüketici alışkanlıkları yaşam standartlarının yükselmesiyle değişmiş, tüketiciler özellikle tükettikleri gıdalar hakkında daha hassas ve bilinçli olmaya başlamıştır. İşlenmiş gıdaların hayatımızda daha fazla yer edindiği günümüzde tüketiciler “sağlıklı yaşam ve sağlıklı beslenme” fikrinden de yola çıkarak daha farklı gıdalara daha fazla değer vermeye ve diyetlerinde yer vermeye başlamıştır. Gıdaların diyet lifleri ile zenginleştirilmesiyle fonksiyonel özelliklerinin artırılması, besinsel ve fizyolojik yönleri geliştirmek ve nihai ürünün reolojik ve termal özelliklerini etkileyerek işlevselliği arttırmak için etkili bir yoldur.

Diyet lifinin insan sağlığına olumlu katkıları; kan şekeri değerlerinin düzenlenmesi, yüksek kolesterol değerlerinin azaltılması, bağırsak kanseri ve kalp-damar hastalarına karşı koruyucu niteliği, kilo

kontrolü amacıyla zayıflama diyetlerine olumlu etkisi, bağırsak hareketlerine pozitif katkısı şeklinde sıralanabilir.

Diyet lifi ile zenginleştirilmiş gıda ürünlerinin sağlığa faydaları, lifin türü ve özellikleri ile gıda matrisi ile etkileşimleri de dahil olmak üzere çeşitli faktörlerden etkilenir. Bu faktörler, lifin tüketimi sonrası sonuçlarını ve bunun sonucunda ortaya çıkan faydaları etkiler. Örneğin, çözünebilir lifler gastrointestinal sistemde jel benzeri bir yapı oluşturarak kolesterol ve glikoz seviyelerinin düşürülmesine yardımcı olurken, çözünmeyen lifler gaita hacmini artırmaya yardımcı olur. Bu iki lif türü farklı fizyolojik işlevlere sahip olduğundan, gıda şirketleri bir gıda ürününü yüksek lifli olarak tanıtarak içerdiği lif türünü belirtmelidir. Diyet lifi bilgilerinin ürün ambalajı üzerinde belirtilmesi, tüketicilerin gıda ürünlerine eklenen farklı diyet lifi türlerinin miktarını ve tanımını daha iyi anlamasına ve bilinçli tercihlerde bulunmasına olanak sağlar.

Sağlık hususunda olumlu etkileri, gıda işleme teknolojileri bağlamında avantajları, diyet liflerini sürekli araştırılan ve kullanım alanları konusunda yeni fikirlere açık bir bileşen haline getirmiştir. Gıda endüstrisinde bu tip katkılara dair bilimsel çalışmaların ve endüstriyel kullanımlarının artması beklenmektedir.

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

Abul-Fadl MM. Nutritional and chemical evaluation of white cauliflower by-products flour and the effect of its addition on beef sausage quality. *Journal of Applied Sciences Research* 2012; 8(2): 693-704.

Ajila C., Leelavathi K., Rao P. Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder. *Journal of Cereal Science* 2008; 48(2): 319-326. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.10.001>

Alimentarius C. Guidelines on nutrition labelling CAC/GL 2-1985 as last amended 2010. Joint FAO/WHO Food Standards Programme, Secretariat of the Codex Alimentarius Commission 2010; FAO, Rome.

Andoh A., Nishida A., Takahashi K., Inatomi O., Imaeda H., Bamba S., Kobayashi T. Comparison of the gut microbial community between obese and lean peoples using 16S gene sequencing in a Japanese population. *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition* 2016; 59(1): 65-70. <https://doi.org/10.3164/jcfn.15-152>

Anonim http://turkomp.gov.tr/component_result-lif-toplam-diyet-11. 2018. Erişim: 20.08.2023

- Arya SS., Shakya NK. High fiber, low glycemic index (GI) prebiotic multigrain functional beverage from barnyard, foxtail and kodo millet. *LWT* 2021; 135, 109991. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109991>
- Ateş G., Elmacı Y. Kahve çekirdeği zarının diyet lifi kaynağı olarak kek formülasyonunda kullanılması. *Akademik Gıda* 2018; 16(2): 156-167. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.449820>
- Ateş S., Durmaz E., Hamad A. Evaluation possibilities of cellulose derivatives in food products. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty* 2016; 16(2): 383-400. <https://doi.org/10.17475/kastorman.289749>
- BeMiller JN. Resistant starch. In *Science and Technology of Fibers in Food Systems*; Welti-Chanes, J., Serna-Saldívar, S., Campanella, O., Tejada-Ortigoza, V., Eds.; Springer: Cham, Switzerland 2020; p: 153-183.
- Bilgiçli N. Effect of buckwheat flour on cooking quality and some chemical, antinutritional and sensory properties of erite, Turkish noodle. *International Journal of Food Science and Nutrition* 2009; 60(4): 70-80. <https://doi.org/10.1080/09637480802446639>
- Bilişli A. Karbonhidratlar. *Gıda Kimyası* 2009; s: 64-65. Sidas Medya Ltd. Şti, İzmir.
- Boz H. Tahıllarda arabinoksilanlar. *Gıda* 2015; 40(6): 357-362. <https://doi.org/10.7827/TurkishStudies.8211>
- Brennan CS., Kuri V., Tudorica CM. Inulin-enriched pasta: effects on textural pro-perties and starch degredation. *Food Chemistry* 2004; 86: 189-193. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.08.034>
- Cava R., Ladero L., Cantero V., Rosario Ramírez M. Assessment of different dietary fibers (tomato fiber, beet root fiber, and inulin) for the manufacture of chopped cooked chicken products. *Journal of Food Science* 2012; 77(4): 346-352. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02597.x>
- Chen J., Liu W., Liu CM, Li T., Liang RH, Luo SJ. Pectin modifications: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2015; 55(12), 1684-1698. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.718722>
- Chen Z., Li S., Fu Y., Li C., Chen D., Chen H. Arabinoxylan structural characteristics, interaction with gut microbiota and potential health functions. *Journal of Functional Foods* 2019; 54, 536–551. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.02.007>
- Clemens RA., Pressman P. Food gums: An overview. *Nutrition Today* 2017; 52(1): 41-43. <https://doi.org/10.1097/NT.0000000000000190>
- da Silva DA., Aires GCM., da Silva Pena R. Gums: characteristics and applications in the food industry. In *Innovation in the Food Sector Through the Valorization of Food and Agro-Food By-Products*. IntechOpen 2020; 233-256.

- Dahl WJ., Stewart ML. Position of the academy of nutrition and dietetics: Health implications of dietary fiber. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics* 2015; 115(11): 1861-1870. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2015.09.003>
- Damaskos D., Kolios G. Probiotics and prebiotics in inflammatory bowel disease: microflora 'on the scope'. *British Journal of Clinical Pharmacology* 2008; 65(4): 453-467. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2125.2008.03096.x>
- de Moraes Crizel T., Jablonski A., de Oliveira Rios A., Rech R., Flôres SH. Dietary fiber from orange byproducts as a potential fat replacer. *LWT-Food Science and Technology* 2013; 53(1): 9-14. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.02.002>
- de Vries J., Birkett A., Hulshof T., Verbeke K., Gibes K. Effects of cereal, fruit and vegetable fibers on human fecal weight and transit time: A comprehensive review of intervention trials. *Nutrients* 2016; 8(3): 130. <https://doi.org/10.3390/nu8030130>
- Dello Staffolo M., Sato AC., Cunha RL. Utilization of plant dietary fibers to reinforce low-calorie dairy dessert structure. *Food and Bioprocess Technology* 2017; 10: 914-925. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1872-9>
- Demir A., Seventekin N. Kitin, kitosan ve genel kullanım alanları. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi* 2009; 3(2): 92-103.
- Dhingra D., Michael M., Rajput H., Patil RT. Dietary fibre in foods: a review. *Journal of Food Science and Technology* 2012; 49: 255-266. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0365-5>
- Dönmez M., Cankurtaran, M., İlseven, S., Sancak, N., İpekçioğlu, P., Turan, AR. Diyet lifleri ve insan sağlığı üzerindeki etkileri. *Ulusal MYO Öğrenci Sempozyumu* 2010; 21-22.
- Durrani A., Srivastava, P., Verma, S. Development and quality evaluation of honey based carrot candy. *Journal of Food Science and Technology* 2011; 48(4): 502-505. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0212-0>
- Dülger D., Şahan, Y. Diyet lifin özellikleri ve sağlık üzerindeki etkileri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2011; 25(2): 147-157.
- Elleuch M., Bedigian D., Roiseux O., Besbes S., Blecker C., Attia H. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing. *Food Chemistry* 2011; 124(2): 411-421. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.077>
- Franke R., Schreiber, L. Suberin-a biopolyester forming apoplastic plant interfaces. *Curr Opin Plant Biol* 2007; 10(3): 252-259. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2007.04.004>
- Fuller S., Beck E., Salman H., Tapsell L. New horizons for the study of dietary fiber and health: a review. *Plant Foods For Human Nutrition* 2016; 71(1): 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0529-6>
- Gandini A., Belgacem MN. The state of the art of polymers from renewable resources. *Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics: Properties, procession and applications*, 1st ed.,

- Boston 2012, William Andrew Publishing: 71-85. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-2834-3.00004-5>
- Gibson GR., Delzenne, N. Inulin and oligofructose: New scientific developments. *Nutrition Today* 2008; 43: 54-59 <https://doi.org/10.1097/01.NT.0000303311.36663.39>
- Goksen G., Demir D., Dhama K., Kumar M., Shao P., Xie F., Lorenzo JM. Mucilage polysaccharide as a plant secretion: Potential trends in food and biomedical applications. *International Journal of Biological Macromolecules* 2023; 123146. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123146>
- Gomes ER., dos Anjos Pinto CB., Stephani R., de Carvalho AF., Perrone ÍT. Effect of adding different types of soluble fibre to high-protein yoghurts on water holding capacity, particle size distribution, apparent viscosity, and microstructure. *International Dairy Journal* 2023; 141, 105609. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105609>
- Gunathilake K., Abeyrathne Y. Incorporation of coconut flour into wheat flour noodles and evaluation of its rheological, nutritional and sensory characteristics, *Journal of Food Processing and Preservation* 2008; 32: 133-142. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0361.2003.02062.x>
- Han W., Ma S., Li L., Wang X., Zheng XL. Application and development prospects of dietary fibers in flour products. *Journal of Chemistry* 2017; 1-8. <https://doi.org/10.1155/2017/2163218>
- Hasbay İ. Dietary fiber and nutrition. In *Dietary Fiber: Properties, Recovery, and Applications* 2019; Academic Press. pp: 79-123. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816495-2.00004-6>
- Hashim IB., Khalil AH., Afifi, HS. Quality characteristics and consumer acceptance of yogurt fortified with date fiber. *Journal of Dairy Science* 2009; 92(11): 5403-5407. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2234>.
- Hemdane S., Jacobs PJ., Dornez E., Verspreet J., Delcour JA., Courtin CM. Wheat (*Triticum aestivum* L.) bran in bread making: A critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2016; 15(1), 28-42. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12176>
- Henning SSC., Tshalibe P., Hoffman LC. Physico-chemical properties of reduced-fat beef species sausage with pork back fat replaced by pineapple dietary fibres and water. *LWT- Food Science and Technology* 2016; 74: 92-98. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.007>
- Hipsley EH. Dietary "fibre" and pregnancy toxemia. *British Medical Journal* 1953; 2(4833): 420. <https://doi.org/10.1136/bmj.2.4833.420>
- Hussein AM., Kamil MM., Hegazy NA., Mahmoud KF., Ibrahim MA. Utilization of some fruits and vegetables by-products to produce high dietary fiber jam. *Food Science Quality Management* 2015; 37(2007), 39-45.
- Ibrügger S., Kristensen M., Mikkelsen, MS., Astrup, A. Flaxseed dietary fiber supplements for suppression of appetite and food intake. *Appetite* 2012; 58(2), 490-495. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2011.12.024>
- Insel P., Turner RE., Ross D. *Fiber Discovering nutrition*, Jones and Bartlett Publishers International Barb House, Barb Mevs, London 2003; p: 129-142.

- Ioniță-Mîndrican CB., Ziani K., Mititelu M., Oprea E., Neacșu SM., Moroșan E., Dumitrescu DE., Roșca AC., Drăgănescu D., Negrei C. Therapeutic benefits and dietary restrictions of fiber intake: a state of the art review. *Nutrients* 2022; 14(13): 2641. <https://doi.org/10.3390/nu14132641>
- Işık F., Urgancı Ü., Turan F. Yaban mersini ilaveli muffin keklerin bazı kimyasal, fiziksel ve duyuşal özellikleri. *Akademik Gıda* 2017; 15(2): 130-138. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.333664>
- Jeddou KB., Bouaziz F., Zouari-Ellouzi S., Chaari F., Ellouz-Chaabouni S., Ellouz-Ghorbel R., Nouri-Ellouz O. Improvement of texture and sensory properties of cakes by addition of potato peel powder with high level of dietary fiber and protein. *Food Chemistry* 2017; 217: 668-677. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.081>
- Kılınççeker O., Karahan AM. Sebzelerden elde edilen diyet liflerin gıdalarda kullanımı. 4th International Anatolian Agriculture, Food, Environment and Biology Congress 2019a; p: 686-692.
- Kılınççeker O., Karahan AM. Bambu lifinin balık köfte üretiminde kullanım olanakları. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi* 2019b; 9(2): 158-166. <https://doi.org/10.21597/jist.439033>
- Kotancılar HG., Gerçekaslan KE., Karaoğlu MM., Boz H. Besinsel lif kaynağı olarak enzime dirençli nişasta. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2009; 40(1): 103-107.
- Ktenioudaki A., Gallagher E. Recent advances in the development of highfibre baked products, *Trends in Food Science and Technology* 2012; 28: 4-14. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.004>
- Mackie A., Bajka B., Rigby N. Roles for dietary fibre in the upper GI tract: The importance of viscosity. *Food Research International* 2016; 88: 234-238. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.11.011>
- Mehta N., Ahlawat SS., Sharma DP., Dabur RS. Novel trends in development of dietary fiber rich meat products-a critical review. *Journal of Food Science and Technology* 2015; 52: 633-647. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1010-2>
- Meral R., Doğan İS. Fonksiyonel öneme sahip doğal bileşenlerin unlu mamullerin üretiminde kullanımı, *Gıda* 2009; 34(3): 193-198.
- Meyer D., Bayarri S., Tárrega A., Costell E. Inulin as texture modifier in dairy products. *Food Hydrocolloids* 2011; 25(8): 1881-1890. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.04.012>
- Mišurcová L., Škrovánková S., Samek D., Ambrožová J., Machů L. Health benefits of algal polysaccharides in human nutrition. *Advances in Food and Nutrition Research* 2012; 66: 75-145. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394597-6.00003-3>
- Mudgil D., Barak S. Classification, technological properties, and sustainable sources. In *Dietary fiber: Properties, recovery, and applications* 2019; Academic Press. pp: 27-58 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816495-2.00002-2>

- Mudgil D., Barak S., Patel A., Shah N. Partially hydrolyzed guar gum as a potential prebiotic source. *International Journal of Biological Macromolecules* 2018; 112: 207-210. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.164>
- Mumyapan M., Aktaş N., Gerçekaslan, KE. Seed pumpkin flour as a dietary fiber source in Bologna-Type sausages. *Journal of Food Processing and Preservation* 2022; 46(7): e16586. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16586>
- Murphy MM., Douglass JS., Birkett A. Resistant starch intakes in the United States. *Journal of the American Dietetic Association* 2008; 108: 67-78. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2007.10.012>
- Nilsen-Nygaard J., Strand SP., Vårum KM., Draget KI., Nordgård CT. Chitosan: Gels and interfacial properties. *Polymers* 2015; 7(3), 552-579. <https://doi.org/10.3390/polym7030552>
- Olçay H. Kitin ve kitosanın tekstil ve biyomühendislikte uygulamaları. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2015; 14(28): 63.
- Ötles S., Ozgoz S. Health effects of dietary fiber. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria* 2014; 13(2): 191-202. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2014.2.8>
- Öztürk E., Ova G. Yağlı tohum kabuklarının biyoaktif bileşen potansiyeli ve gıdalarda kullanımı. *Akademik Gıda* 2017; 15(3): 315-321. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.345280>
- Peressini D., Cavarape A., Brennan MA., Gao J., Brennan, CS. Viscoelastic properties of durum wheat doughs enriched with soluble dietary fibres in relation to pasta-making performance and glycaemic response of spaghetti. *Food Hydrocolloids* 2020; 102, 105613. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105613>
- Perry JR., Ying W. A review of physiological effects of soluble and insoluble dietary fibers. *J Nutr Food Sci* 2016; 6(2): 476.
- Pimentel TC., Cruz AG., Prudencio SH. Influence of long-chain inulin and *Lactobacillus paracasei* subspecies *paracasei* on the sensory profile and acceptance of a traditional yogurt. *Journal of Dairy Science* 2013; 96(10): 6233-6241. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6695>
- Prins A., Kosik O. Genetic approaches to increase arabinoxylan and β -glucan content in wheat. *plants* (Basel, Switzerland) 2023; 12(18), 3216. <https://doi.org/10.3390/plants12183216>
- Raninen K., Lappi J., Mykkänen H., Poutanen K. Dietary fiber type reflects physiological functionality: comparison of grain fiber, inulin, and polydextrose. *Nutrition Reviews* 2011; 69(1): 9-21. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2010.00358.x>
- Repo-Carrasco-Valencia R., Pena J., Kallio H., Salminen S. Dietary fiber and other functional components in two varieties of crude and extruded kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Cereal Science* 2009; 49: 219-224. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.10.003>
- Rolin C., De Vries J. Pectin. In *food gels* 1990. Springer, Dordrecht. Pp: 401-434. https://doi.org/10.1007/978-94-009-0755-3_10

- Sakač MB., Gyura, JF., Mišan, AC., Šereš, ZI., Pajin, BS., Šoronja-Simovic, DM. Antioxidant activity of cookies supplemented with sugar beet dietary fiber. *Sugar Industry* 2011; 136: 151-157. <https://doi.org/10.36961/si11177>
- Sales JCS., de Castro AM., Ribeiro BD., Coelho MAZ. Improved production of biocatalysts by *Yarrowia lipolytica* using natural sources of the biopolyesters cutin and suberin, and their application in hydrolysis of poly (ethylene terephthalate) (PET). *Bioprocess and Biosystems Engineering* 2021; 44(11): 2277-2287. <https://doi.org/10.1007/s00449-021-02603-w>
- Salvatore S., Battigaglia MS., Murone E., Dozio E., Pensabene L., Agosti M. Dietary fibers in healthy children and in pediatric gastrointestinal disorders: A Practical Guide. *Nutrients* 2023; 15(9): 2208. <https://doi.org/10.3390/nu15092208>
- Seker IT., Ozbas OO., Gokbulut I., Ozturk S., Koksel H. Effects of fiber-rich apple and apricot powders on cookie quality. *Food Science and Biotechnology* 2009; 18: 948-953.
- Serna Saldívar SO., Ayala Soto FE. Chemical composition and biosynthesis of dietary fiber components. *Science and Technology of Fibers in Food Systems* 2020; 15-43. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38654-2_2
- Sezen AG. Prebiyotik, probiyotik ve sinbiyotiklerin insan ve hayvan sağlığı üzerine etkileri. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi* 2013; 8(3): 248-258.
- Sinha AK., Kumar V., Makkar HP., De Boeck G., Becker K. Non-starch polysaccharides and their role in fish nutrition- A review. *Food Chemistry* 2011; 127(4): 1409-1426. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.02.042>
- Sirisha VL, D'Souza JS. Polysaccharide-based nanoparticles as drug delivery systems. *Marine OMICS* 2016; 663-702. <https://doi.org/10.1201/9781315372303-32>
- Slavin JL. Dietary fiber and body weight. *Nutrition* 2005; 21: 411-418. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2004.08.018>
- Southgate DA. Food components associated with dietary fiber. *Handbook of dietary fiber in human nutrition*, 3rd edn. CRC Press, Boca Raton 2001; 19-22.
- Stribling P., Ibrahim F. Dietary fibre definition revisited- The case of low molecular weight carbohydrates. *Clinical Nutrition ESPEN* 2023; 55, 340–356. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2023.04.014>
- Thomson C., Garcia A., Edwards C. Interactions between dietary fibre and the gut microbiota. *Proceedings of the Nutrition Society* 2021; 80(4), 398-408. <https://doi.org/10.1017/S0029665121002834>
- Tomic N., Dojnov B., Miocinovic J., Tomasevic I., Smigic N., Djekic I., Vujcic, Z. Enrichment of yoghurt with insoluble dietary fiber from triticale-A sensory perspective. *LWT* 2017; 80, 59-66. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.008>

- Trowell H. Definition of dietary fiber and hypotheses that it is a protective factor in certain diseases. *The American Journal of Clinical Nutrition* 1976; 29(4): 417-427. <https://doi.org/10.1093/ajcn/29.4.417>
- Uysal H., Bilgiçli N., Elgün A., İbanoglu Ş., Herken EN., Demir MK. Effect of dietary fiber and xylanase enzyme addition on the selected properties of wire-cut cookies. *Journal of Food Engineering* 2007; 78: 1074-1078. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.12.019>
- Wang X., Kristo E., LaPointe G. Adding apple pomace as a functional ingredient in stirred-type yogurt and yogurt drinks. *Food Hydrocolloids* 2020; 100, 105453. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105453>
- Wikiera A., Grabačka M., Byczyński Ł., Stodolak B., Mika M. Enzymatically extracted apple pectin possesses antioxidant and antitumor activity. *Molecules (Basel, Switzerland)* 2021; 26(5), 1434. <https://doi.org/10.3390/molecules26051434>
- Wong JM., De Souza R., Kendall CW., Emam A., Jenkins DJ. Colonic health: fermentation and short chain fatty acids. *Journal of Clinical Gastroenterology* 2006; 40(3): 235-243. <https://doi.org/10.1097/00004836-200603000-00015>
- Yabancı N. İnülin ve oligofruktozların insan sağlığı ve beslenmesi üzerine etkileri. *Akademik Gıda* 2010; 8(1): 49-54.
- Yangılar F. The application of dietary fibre in food industry: structural features, effects on health and definition, obtaining and analysis of dietary fibre: a review. *Journal of Food and Nutrition Research* 2013; 1(3): 13-23.
- Yıldız P., Yangılar F. Gıda endüstrisinde kitosanın kullanımı. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2014; 30(3): 198-206 <https://doi.org/10.17798/beufen.16242>
- Yılmaz MS., Yıldırım A. Firik üretim teknikleri ve fonksiyonel özellikleri. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi* 2020; 5(2): 109-121. <https://doi.org/10.46578/humder.773680>
- Żakowska-Biemans S., Kostyra E. Sensory profile, consumers' perception and liking of wheat-rye bread fortified with dietary fibre. *Applied Sciences* 2023; 13(2): 694. <https://doi.org/10.3390/app13020694>

Türkiye’de Tarım Arazilerinin Değerlemesine İlişkin Genel Bir Değerlendirme

Tansu ALKAN^{1*}, Süleyman Savaş DURDURAN²

¹ Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Niğde

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya

¹<https://orcid.org/0000-0001-8293-2765>

²<https://orcid.org/0000-0003-0509-4037>

*Sorumlu yazar: tansualkan93@gmail.com

Derleme

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi:25.07.2023

Kabul tarihi:28.10.2023

Online Yayınlanma: 11.03.2024

Anahtar Kelimeler:

Kapitalizasyon oranı

Taşınmaz değerlendirme

Tarımsal değerlendirme

Tarımsal arazi

Değeri etkileyen faktörler

ÖZ

Taşınmaz değerlendirme, bir taşınmaza ilişkin fayda, nitelik, çevre, kullanım koşulları gibi faktörlerin dikkate alınarak nesnel ve tarafsız bir şekilde taşınmaz değerinin belirlenmesi olarak ifade edilebilir. Taşınmaz değerlemeye arsa ve arazi düzenlemesi, kamulaştırma, toplulaştırma, vergilendirme gibi kamusal uygulamalar ile kredilendirme, sigortacılık, alım-satım gibi bireysel uygulamalarda ihtiyaç duyulmaktadır. Değerlemeye konu olan taşınmazı, bulunduğu konuma göre kentsel ve kırsal olarak nitelendirmek mümkündür. Kırsal alanlarda tarım arazilerinin değerlendirilmesi güncel bir konudur. Sürdürülebilir bir tarım arazisi değerlendirilmesi için dinamik bir piyasanın da oluşması önemlidir. Farklı nedenlerle tarım arazilerinin değeri belirlenmekte ve bu değer malik ve ilgili kurumlar için önem arz etmektedir. Bu bağlamda, objektif bir değerlendirme için değeri etkileyen faktörlerin matematiksel olarak ifade edilmesi gerekir. Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de tarım arazilerinin değerlendirilmesi ile ilgili yapılan çalışmaları incelemektir. Bu kapsamda, tarım arazilerinin değerlendirilmesi, kapitalizasyon oranının hesaplanması ve meyve bahçelerinin değerlendirilmesi ile ilgili yapılan çalışmalar ele alınmıştır. Ayrıca tarım arazilerinin değerini etkileyen faktörler incelenerek gruplandırılmıştır.

A General Assessment on the Valuation of Agricultural Lands in Türkiye

Reviews

Article History:

Received: 25.07.2023

Accepted: 28.10.2023

Published online: 11.03.2024

Keywords:

Capitalization rate

Real estate valuation

Agricultural valuation

Agricultural land

Factors affecting value

ABSTRACT

Real estate valuation can be defined as the objective and impartial determination of the value of an immovable property by taking into account factors such as utility, quality, environment and conditions of use of real estate. Real estate valuation is needed in public practices such as plot and land arrangement, expropriation, consolidation, taxation, and in individual applications such as crediting, insurance, purchase and sale. It is possible to characterize the real estate subject to valuation as urban and rural according to its location. The valuation of agricultural land in rural areas is a current issue. For a sustainable agricultural land valuation, it is important that a dynamic market is formed. The value of agricultural lands is determined for different reasons and this value is important for the owner and related institutions. In this context, for an objective valuation, the factors affecting the value must be expressed mathematically. The aim of this study is to examine the studies on the agricultural lands valuation in Türkiye. In this context, studies on the valuation of agricultural lands, the calculation of the capitalization rate and the valuation of orchards are discussed. In addition, the factors affecting the value of agricultural lands were examined and grouped.

To Cite: Alkan T, Durduran SS. Türkiye’de Tarım Arazilerinin Değerlemesine İlişkin Genel Bir Değerlendirme. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(2): 953-972.

Giriş

Arazi, bir üretim faktörüdür ve tarımsal üretimde önemli bir girdidir (Raufu, 2010). Finansal bir değeri olan arazi, insan faaliyetlerinin temel mekânı ve işletmelerin kuruluş yeri olmasının yanı sıra bünyesinde barındırdığı hammadde ile servet kaynağı olması açısından önemli bir kaynaktır (Tanrıvermiş, 2016). Teknolojik gelişmeler, artan nüfus ve arazi verimliliği göz önüne alındığında arazinin değeri de artmaktadır (Amirtaimoori, 2018).

Arazi sınırlı bir kaynaktır ve sürdürülebilirliği açısından arazi yönetimi ve politikaları büyük öneme sahiptir. Yapı yapmaya ayrılmış ve kent yönetiminin sunduğu alt yapı ve donanımlardan yararlanılabilen topraklar kentsel arazi; tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin sürdürüldüğü topraklar ise kırsal arazi olarak ifade edilebilir. Ayrıca kentsel saçaklanma alanlarında yer alan ve hem kırsal hem de kentsel özelliklerden etkilenen araziler de mevcuttur.

Ülkemizin yaklaşık 78 milyon hektarlık alanının yarısı, tarımsal faaliyetler için kullanılmaktadır (Bilgili, 2020). Tarım arazileri, bitkisel ve hayvansal üretimin temel unsurudur. Ayrıca, tarım arazileri kırsal alanda yaşayanlar için gelir kaynağı, sosyal statü sembolü ve acil durumlar için yedek sermayedir. Tarım arazilerinin değerlendirilmesi, gün geçtikçe ilgi odağı olan güncel bir konudur. Farklı amaçlar doğrultusunda tarımsal değerlendirme yapılmakta ve elde edilen değer, arazi maliki ve ilgili kurumlar için önem arz etmektedir. Tarım arazileri heterojen bir yapıdadır ve her tarım arazisi değerini etkileyen farklı niteliklere sahiptir. Objektif bir tarımsal değerlendirme uygulaması için değeri etkileyen faktörlerin matematiksel olarak ifade edilip hesaplamalara dâhil edilmesi gerekir (Bayramoğlu ve Özdemir, 2021). Ayrıca, tarımsal arazi değerini arttıran ya da azaltan faktörlerin belirlenmesi hem arazi talebinde hem de yatırım politikalarında etkili olabilir (Çınar ve ark., 2018). Değeri etkileyen faktörler, yöreden yöreye ve kişiden kişiye değişebilmektedir. Değerleme sürecinin en önemli aşaması: bu faktörlerin doğru bir şekilde belirlenmesi, matematiksel olarak ifade edilmesi ve değeri ne derecede etkilediğinin tespit edilmesidir.

Tarım arazisi değerini etkileyen faktörler genel olarak iki türdür. Bu faktörlerden; birincil faktörler tarımsal üretim ile ilgiliyken, ikincil faktörler tarım dışı faktörler ile ilgilidir (Maleta ve Mościcka, 2018). Bu faktörleri, içsel ve dışsal faktörler olarak da değerlendirmek mümkündür. İçsel faktörler; fiziksel özellikler, fayda, devredilebilirlik gibi belirleyicileri ifade ederken, dışsal faktörler; yasal, sosyo-kültürel ve ekonomik unsurlar gibi belirleyicileri ifade eder. Tarım arazisi değerinin önemli belirleyicileri olarak en sık kullanılan faktörler; toprak kalitesi, su temini, arazi kiralari, işletme getirileri, işletme büyüklüğü, pazarlara göre konum, çeşitli arazi kiralama düzenlemeleri ve tarımsal desteklemelerdir (Sklenicka ve ark., 2013). Tarım arazisinin değerinin belirlenmesinde doğal koşulların yanı sıra kurumsal faktörler de önemli bir rol oynamaktadır (Nilsson ve Johansson, 2013).

Taşınmaz değerlemede kullanılan birçok yöntem vardır ve bu yöntemleri; geleneksel, istatistiksel ve modern yöntemler olarak üç grup altında değerlendirmek mümkündür (Alkan ve Durduran, 2021). Geleneksel değerlendirme yöntemleri karşılaştırma, gelir ve maliyet yöntemleridir. İstatistiksel değerlendirme

yöntemleri nominal, hedonik ve çoklu regresyon yöntemleridir. Modern yöntemler ise çok kriterli karar verme yöntemleri ile yapay sinir ağları, bulanık mantık, makine öğrenimi, derin öğrenme gibi yapay zekânın kullanıldığı yöntemlerdir. Bu yöntemlerden geleneksel yöntemler tekil değerlendirme çalışmalarında kullanılırken, istatistiksel ve modern yöntemler toplu değerlendirme çalışmalarında kullanılır (Kayalık ve Polat, 2023). Geleneksel yöntemlerde, öncelikle değerlemeye konu taşınmazla ilgili gözlem yapılır ve bu gözlemlere dayanarak yöntem belirlenir (Özcan, 2019). Genellikle arsa için karşılaştırma, tarım arazileri için gelir ve konut için maliyet yöntemi kullanılır (Çınar ve Bünyan Ünel, 2022). İstatistiksel yöntemler, taşınmazın değeri ve değerini etkileyen faktörler arasında sayısal bağlantılar kurarak matematiksel bir model oluşturur (Akış, 2013). Çok kriterli karar verme yöntemleri ise birden fazla faktörün birlikte değerlendirilmesine olanak tanıyan ve nümerik veriler ile en doğru kararın verilmesini sağlayan yöntemlerdir (Bozdağ ve Ertunç, 2020). Uzman görüşüne dayalı bu yöntemlerde genellikle taşınmazın değerini etkileyen faktörlerin etki derecesi belirlenir. İnsana has özellik olan mantık kavramının bilgisayar teknolojisine uygulanması yapay zekâ teknikleri ile mümkündür (Toktaş ve Erdoğan, 2012). Toplu taşınmaz değerlendirme uygulamalarında geleneksel yöntemler yetersiz kaldığı için modern yöntemler tercih edilmektedir. Bu yöntemlerin kullanıldığı değerlendirme çalışmalarında, aynı taşınmaz için farklı değerler elde edilmekte ve elde edilen bu değerler ile piyasa değerleri arasında farklılıklar bulunmaktadır.

Türkiye’de tarım arazilerinin değerlemesinde, 2942 sayılı Kamulaştırma Kanunu kapsamında gelir yöntemi kullanılmaktadır. Kamulaştırma işlemlerinde, Kamulaştırma Kanunu’nda belirtilen esaslar çerçevesinde, kamu kurumları tarafından oluşturulan kıymet takdiri komisyonları ve mahkemece görevlendirilen bilirkişiler tarafından taşınmaz değerlendirme işlemleri yürütülür (Akbay, 2020). Ayrıca tarım arazilerinin korunması, geliştirilmesi, sınıflandırılması, asgari büyüklüklerinin belirlenmesi, bölünmelerin önlenmesi ve çevre öncelikli kalkınma ilkesine uygun olarak planlı kullanılması amacıyla 5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu 19/07/2005 tarih 25880 sayılı Resmî Gazete ’de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir (Resmî Gazete, 2005). Bu kanun kapsamında, tarım arazileri; doğal nitelikleri ve ülke tarımındaki önemine göre mutlak tarım arazileri, özel ürün arazileri, dikili tarım arazileri, marjinal tarım arazileri ve örtü altı tarım arazileri olarak sınıflandırılır. Ayrıca tarım arazilerinin korunması, geliştirilmesi ve kullanımı ile ilgili farklı sınıflandırmalar da yapılabilir. Bu sınıflandırmalar tarımsal değerlemeyi etkileyen önemli bir faktördür.

Gelir yönteminde, tarım arazisinin yıllık ortalama net gelirinin ve bölgede geçerli olan kapitalizasyon oranının bilinmesi gerekir. Arazinin gelir yaratma potansiyelini kullanan yöntemler, tarım arazisinin değerinin, kullanım değeri tarafından belirlendiği varsayımına dayanır; fakat varlık değeri ve miras değeri gibi kullanım dışı değerler dikkate alınmadığından aslında arazinin kısmi değeri belirlenmektedir (Awasti, 2014). Tarım arazilerinin değerinin belirlenmesinde sıkça kullanılan diğer bir yöntem ise pazar değeri yöntemidir. Gelir yönteminde kapitalizasyon oranının hesaplanması ve yıllık ortalama net gelirin belirlenmesi zordur. Bu zorluklardan dolayı bazı ülkelerde, pazar değeri yöntemini tamamlayıcı olarak ya da pazar değeri yönteminden elde edilen sonuçların kontrol edilmesinde gelir

yöntemi kullanılmaktadır (Tanrıvermiş ve ark., 2002; Karakayacı ve Oğuz, 2006; Gündoğmuş ve Taşçı, 2017; Ünal ve Dönmez, 2019). Amerika, Kanada gibi ülkelerde pazar değeri yöntemi, İngiltere, İsviçre, Türkiye gibi ülkelerde gelir yöntemi kullanılmaktadır (Karakayacı ve Oğuz, 2006).

Bu çalışmanın amacı, ülkemizde tarımsal değerlendirme ile ilgili yapılan akademik çalışmalarını incelemektir. Bu çalışmalar ile ilgili kısa özetler vererek genel bir değerlendirme yapılması ve ülkemizde tarımsal değerlemenin yerini merak eden araştırmacılar ve okuyucular için bir rehber niteliği taşıması açısından bu çalışma literatüre katkı sağlayacaktır. Kentsel alanlara kıyasla kırsal alanlarda tarımsal değerlendirme ile ilgili yapılan çalışmalar sınırlıdır. Ayrıca kentsel saçaklanma alanlarında yer alan arazilerin değerlemesi ile ilgili de çalışmalar vardır (Karakayacı, 2018; Başaran, 2019; Yiğit, 2019; Fıratlı, 2022). Kırsal alanlarda genel olarak kapitalizasyon oranının hesaplanması ve gelir ve pazar değeri yöntemlerine göre tarım arazilerinin değerinin belirlenmesi ile ilgili çalışmalar mevcuttur. İstatistiksel ve modern yöntemlerden olan çoklu regresyon ve yapay sinir ağlarının kullanıldığı çalışmalar az sayıdadır (Çinar ve Bünyan Ünel, 2022; Er ve ark., 2022; Karaduman, 2023). Tarım arazisi değerini etkileyen faktörlerin değerlendirildiği çalışmalarda ağırlıklı olarak faktör analizi ve hedonik yöntem kullanılmıştır (Öztürk Çoşar ve Engindeniz, 2013; Susam Serez ve ark. 2022; Başaran Caner ve ark., 2022). Ayrıca çok kriterli karar verme yöntemlerinin de kullanıldığı çalışmalar vardır (Karakayacı, 2015; Karakayacı ve ark., 2016; Bayramoğlu ve Özdemir, 2021). Meyve bahçelerinin değerlemesinde ise geçmiş ve gelecek değerler yöntemlerinden faydalanılmıştır. Tarımsal arazi değerlendirme ile ilgili çalışmaların büyük bir kısmı Ziraat Fakültelerinin Tarım Ekonomisi kürsüsünde ele alınmıştır. Sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda sürdürülebilir gıda üretimi, iklim değişikliğine uyum sağlama ve toprak kalitesini arttıran dayanıklı tarım uygulamaları çerçevesinde tarımsal değerlendirme daha da önemli bir konu haline gelecektir.

Materyal ve Metot

Bu çalışmanın materyalini ülkemizde tarımsal değerlendirme ile ilgili yapılan tezler, makaleler ve bildiriler oluşturmaktadır. Bu kapsamda hem Türkçe hem de İngilizce çalışmalar dikkate alınmıştır. Tezlerden üretilen makaleler ve bildiriler incelemeye dahil edilmemiştir. Anahtar kelime olarak tarımsal değerlendirme, tarım arazilerinin değerlendirilmesi, kapitalizasyon oranı, tarım arazisi değerini etkileyen faktörler, meyve bahçelerinin değerlendirilmesi ifadeleri kullanılmıştır. Yükseköğretim Kurulunun (YÖK) tez veri tabanı ve Google Akademik arama motoru aracılığı ile tarama yapılmıştır. Erişilen çalışmalarda ön inceleme yapılmış ve tarımsal değerlendirme ile ilgili uygulama yapılan çalışmalar ele alınmıştır. Tarımsal değerlemede karşılaşılan sorunlar, gelir yönteminin uygulanması ile ilgili genel değerlendirmeler vb. konulardaki çalışmalar dahil edilmemiştir. Çalışmalar amaçları doğrultusunda gruplandırılmıştır. Kapitalizasyon oranı ile ilgili 1994-2023 (Haziran) yılları arasındaki çalışmalar incelenmiş ve 13 yüksek lisans tezi, 1 doktora tezi ve 5 makale değerlendirilmiştir. Meyve bahçelerinin değerlendirilmesi ile ilgili 1998-2023 (Haziran) yılları arasındaki çalışmalar incelenmiş ve 4 yüksek lisans tezi, 4 makale ve 1 kitap ele alınmıştır. Tarımsal değerlendirme ve değere etki eden faktörler

ile ilgili 2005-2023 (Haziran) yılları arasındaki çalışmalar incelenmiş ve 11 yüksek lisans tezi, 4 doktora tezi, 9 makale ve 2 bildiri değerlemeye alınmıştır.

Bulgular

Tarım arazilerinin değerlendirilmesinde en yaygın kullanılan yöntem gelir yöntemidir. Gelir yönteminde, tarım arazisinin değerini belirleyebilmek için arazinin potansiyel gelir akışı üzerinden hesaplama yapılır. Bu yöntem, tarım arazilerinin üretim potansiyelini ve o araziden elde edilebilecek geliri temel alır. Değerleme sürecinde gelecekteki piyasa koşullarının ve gelir-gider tahminlerinin doğru bir şekilde belirlenmesi önemlidir. Çünkü bu faktörler değerlendirme sonuçlarını doğrudan etkileyen faktörlerdir. Gelir yönteminde tarım arazisinin değer hesabında kapitalizasyon oranı kullanılır. Kapitalizasyon oranı (f), arazinin net geliri yani rantı (R) ile satış değeri (D) arasındaki orandır ve Denklem (1) ile ifade edilir.

$$f = \frac{R}{D} \quad (1)$$

Kapitalizasyon oranı ile arazi değeri ters orantılıdır. Net gelirin sabit olması şartıyla kapitalizasyon oranı düştükçe arazinin değeri yükselir ve kapitalizasyon oranı yükseldikçe arazinin değeri azalır. Ülkemizde kapitalizasyon oranını belirlemek için yapılan ve erişilebilen çalışmalar Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kapitalizasyon oranı ile ilgili çalışmalar

Kaynak Adı	Kaynak Türü	Çalışma Alanı	Materyal ve Metot	Kapitalizasyon Oranı
Keskin, 1994	Yüksek Lisans Tezi	Eskişehir ili	18 işletme ile anket yapılmıştır.	Mal sahibi tarafından işletilen; kuru tarla %5,04, sulu tarla %7,84, kuru yamaç arazi %6,92 Ortakçılıkla işletilen; kuru tarla %5,79, sulu tarla %8,35 Kiracılıkla işletilen; kuru tarla %4,76, sulu tarla %7,08, kuru yamaç arazilerde %6,59
Sayılı, 1996	Yüksek Lisans Tezi	Tokat ili Kazova yöresi	84 işletme ile anket yapılmıştır ve veriler 1993-1994 dönemine aittir.	Mal sahibi tarafından işletilen; Kuru tarla %3,31 Sulu tarla %3,88 Ortakçılıkla işletilen; Sulu tarla %3,52 Kiracılıkla işletilen; Sulu tarla %3,23
Birinci, 1997	Doktora Tezi	Erzurum ve Erzincan illeri	120 işletme ile anket yapılmıştır ve veriler 1995 dönemine aittir. Her iki ilde mülk işletmeciliği, ortakçılık ve kiracılık için hesaplama yapılmıştır.	Erzurum; Kuru tarla %10,89 Sulu tarla %11,92 Erzincan; Kuru tarla %8,11 Sulu tarla %8,76
Aktaş, 2000	Yüksek Lisans Tezi	Tokat ili Niksar ovası	86 işletme ile anket yapılmıştır ve veriler 1998-1999 dönemine aittir.	Mal sahibi tarafından işletilen; Sulu tarla %5,90 Kiracılıkla işletilen; Sulu tarla %6,01
Engindeniz, 2001a	Makale	İzmir ili Beydağ Barajı	Anket yapılmıştır.	Kamulaştırmada kullanılacak oran %4,48

Akay ve ark., 2001	Makale	Tokat ili Erbaa ovası	127 işletme ile anket yapılmıştır.	Mülk işletmeciliği; kuru tarla %3,41, sulu tarla %5,24 Kiracılıkla işletilen; kuru tarla %5,78, sulu tarla %5,73
Aslan, 2002	Yüksek Lisans Tezi	Tokat ili Artova ilçesi	98 işletme ile anket yapılmıştır ve veriler 2000-2001 dönemine aittir.	Mülk işletmeciliği; Kuru tarla %6,19 Sulu tarla %7,38
Oğuz ve Ünal, 2004	Makale	Konya ili Çumra ilçesi	35 işletme ile anket yapılmıştır.	Sulu tarla %5,2
Aydın, 2007	Yüksek Lisans Tezi	Tokat ili Zile ilçesi	87 işletme ile anket yapılmıştır ve veriler 2004-2005 dönemine aittir.	Mülk işletmeciliği; Kuru tarla %3,06 Sulu tarla %5,17
Avcı, 2010	Yüksek Lisans Tezi	Tokat ili Pazar ilçesi	79 işletme ile anket yapılmıştır ve veriler 2008-2009 dönemine aittir.	Mülk işletmeciliği; Sulu tarla %4,38
Baştürk, 2011	Yüksek Lisans Tezi	Samsun ili Ladik ilçesi	86 işletme ile anket yapılmıştır ve veriler 2009-2010 dönemine aittir.	Mülk işletmeciliği; Kuru tarla %4,38 Sulu tarla %5,06
İncir, 2015	Yüksek Lisans Tezi	Tokat ili Çevreli beldesi	74 işletme ile anket yapılmıştır ve veriler 2011-2012 dönemine aittir.	Mal sahibi tarafından işletilen; Kuru tarla %4,30 Sulu tarla %4,76
Dağdemir ve ark., 2018	Makale	Ağrı ili Merkez ilçesi	50 köy muhtarı ile anket yapılmıştır ve 2013 yılı verileri kullanılmıştır.	Kuru tarla %5,70 Sulu tarla %5,31 Çayır %6,33
Yalçın ve ark., 2018	Makale	Bursa ili Mustafakemalpaşa ilçesi	40 işletme ile anket yapılmıştır ve 2013 üretim yılı esas alınmıştır.	Kuru tarla %5,75 Sulu tarla %4,85
Kalyoncu, 2018	Yüksek Lisans Tezi	Bayburt ili Merkez ilçesi	80 işletme ile anket yapılmıştır ve veriler 2016-2016 dönemine aittir.	Mal sahibi tarafından işletilen; kuru tarla %5,04, sulu tarla %5,38 Kiracılıkla işletilen; kuru tarla %4,18, sulu tarla %4,71 Ortakçılıkla işletilen; kuru tarla %7,10, sulu tarla %6,18
Sert, 2019	Yüksek Lisans Tezi	Çorum ili Mecitözü ilçesi	66 işletme ile anket yapılmıştır ve veriler 2017-2018 dönemine aittir.	Mülk işletmeciliği; Kuru tarla %5,37 Sulu tarla %4,76
Yüksel, 2019	Yüksek Lisans Tezi	Tokat ili Erbaa ilçesi	92 işletme ile anket yapılmıştır ve veriler 2018 dönemine aittir.	Mülk işletmeciliği; Kuru tarla %5,65
Yılan, 2020	Yüksek Lisans Tezi	Konya ili Ereğli ilçesi	64 işletme ile anket yapılmıştır ve veriler 2018-2019 dönemine aittir.	Kuru tarla %6,63 Sulu tarla %5,62 Kapama meyve bahçeleri %7,38
Karadoğan, 2022	Yüksek Lisans Tezi	Tokat ili Kazova bölgesi	88 işletme ile anket yapılmıştır ve veriler 2020 dönemine aittir.	Mülk işletmeciliği; Sulu tarla %4,31

Kapitalizasyon oranının belirlenmesi ile ilgili yapılan çalışmaların çoğunluğunu yüksek lisans çalışmaları oluşturmaktadır. Özellikle Tokat ve Konya illerinde çalışma sayısı daha fazladır. Veriler anket yardımıyla işletmelerden toplanmıştır. Çalışmalarda hesaplanan kapitalizasyon oranı incelendiğinde kuru tarım arazilerinde %3-%11 aralığında, sulu tarım arazilerinde ise %3-%12 aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Ülkemizde kapitalizasyon oranları %1,5-%12 aralığındadır (Dağdemir ve ark., 2018). Kapitalizasyon oranı sabit bir sayı olmayıp bölgelere, yörelere, arazilere ve zamanla bölgenin gelişmişlik düzeyine göre değişiklik gösterir. Bu yüzden bölge bazlı ve belirli periyotlarla bu oranının belirlenmesi gerekir. Kapitalizasyon oranının belirlenmesi ofis çalışmaları ile

mümkün değildir, bölgede araştırma yapılması gerekmektedir. Kapitalizasyon oranının hesaplanmasında, arazinin net gelirinin ve gerçek arazi satış değerinin doğru bir şekilde tespit edilmesinde sorunlar yaşanmaktadır. Bu yüzden tarım arazilerinin gelir yöntemine göre değerlemesinde kapitalizasyon oranının belirlenmesi zor bir süreçtir. Kapitalizasyon oranı uzman kişiler tarafından titiz bir şekilde belirlenmelidir.

Meyve bahçelerinin değerlemesinde ise değer gelir yöntemine göre belirlenmesi tarım arazilerine göre daha zor ve karmaşıktır. Kapitalizasyon oranının meyve bahçelerine uygulanması özel bir durumdur. Çünkü meyve bahçelerinin ürün verinceye kadar gelir elde etmesi söz konusu değildir (Engindeniz, 2007). Meyve bahçelerinin değerlemesinde ağaçların ömrü uzun dönemi kapsamaktadır. Elde edilen gelir de tarla bitkilerinde olduğu gibi yıllık değil, periyodik olmaktadır. Meyve bahçelerinin değerlemesi ile ilgili çalışmalar Tablo 2’de özetlenmiştir.

Tablo 2. Meyve bahçelerinin değerlemesi ile ilgili çalışmalar

Kaynak Adı	Kaynak Türü	Çalışma Alanı	Materyal ve Metot
Özüdoğru, 1998	Yüksek Lisans Tezi	Ankara ili Çubuk ilçesi	30 işletme ile anket yapılmıştır ve veriler 1997-1998 üretim dönemine aittir. Vişne bahçesinin değerlemesinde pazar değeri ve gelir yöntemleri kullanılmıştır. Geçmiş ve gelecek değerler yöntemlerinden yararlanılmıştır. Kapitalizasyon oranı %5 olarak hesaplanmıştır ancak araştırmada %7 olarak kullanılmıştır.
Engindeniz, 2001b	Kitap	İzmir ili Tire ilçesi	52 işletme ile anket yapılmıştır ve veriler 1999 üretim dönemine aittir. İncir arazilerinin değerleri, pazar değeri ve gelir yöntemlerine göre belirlenmiştir. Ağaçlı değer belirlenmesinde geçmiş ve gelecek değerler yöntemlerinden yararlanılmıştır. Kapitalizasyon oranı %6 olarak belirlenmiş, ancak %7, 8 ve 9 ile de hesaplamalar yapılmıştır.
Engindeniz, 2007	Makale	Gaziantep ve Şanlıurfa	Antepfıstığı arazilerinin çıplak ve ağaçlı arazi değeri ile yaşlara göre ağaç değerlerinin belirlenmesinde gelir yöntemi kullanılmıştır. Farklı kurumlardan 2006 üretim dönemine ait veriler toplanmıştır. Geçmiş değerler yöntemi kullanılmıştır. Kapitalizasyon oranı %5 olarak belirlenmiş ancak %3-4 ile de hesaplama yapılmıştır.
Engindeniz ve ark., 2010	Makale	Manisa ili Gördes ilçesi	55 işletme ile anket yapılmıştır ve veriler 2008 üretim dönemine aittir. Zeytin bahçelerinin değerinin belirlenmesinde gelir yöntemi ve ağaçlı değer belirlenmesinde geçmiş değerler yöntemi kullanılmıştır. Kapitalizasyon oranı %5,32 olarak hesaplanmıştır.
Ereeş, 2010	Yüksek Lisans Tezi	İzmir ili Menderes ilçesi	61 işletme ile anket yapılmıştır ve veriler 2008-2009 üretim dönemine aittir. Sera değerleri gelir ve maliyet yöntemlerine göre belirlenmiştir. Farklı yaşlardaki seraların değerlemesinde geçmiş ve gelecek değerler yöntemleri kullanılmıştır. Kapitalizasyon oranı %4,74 olarak hesaplanmış ancak %6 ile de hesaplama yapılmıştır.
Okan, 2013	Yüksek Lisans Tezi	İzmir ili Selçuk ilçesi	86 işletme ile anket yapılmıştır ve veriler 2011 üretim dönemine aittir. Şeftali bahçelerinin değeri, pazar değeri ve gelir yöntemlerine göre belirlenmiştir. Ağaçlı değer belirlenmesinde geçmiş ve gelecek değerler yöntemlerinden yararlanılmıştır. Kapitalizasyon oranı %5,75 olarak belirlenmiş ancak %6-7 ile de hesaplama yapılmıştır.
Gündoğmuş ve Uyar, 2016	Makale	Aydın ili Nazilli ilçesi	Kestane üretimi yapan 30 işletme ile anket yapılmıştır ve veriler 2012 üretim dönemine aittir. Kestane bahçesi ve birim ağaç değerinin belirlenmesinde gelir yöntemi ile geçmiş değerler yöntemi kullanılmıştır. Kapitalizasyon oranı %6,42 olarak tespit edilmiş ancak %6-7 ile de hesaplama yapılmıştır.
Gündoğmuş ve Taşçı, 2017	Makale	Denizli ili Çivril ilçesi	35 işletme ile anket yapılmıştır ve veriler 2015 üretim dönemine aittir. Hünnap bahçesi ve birim ağaç değerinin belirlenmesinde gelir yöntemi ile geçmiş değerler yöntemi kullanılmıştır. Yörede hünnap bahçesi gibi meyve bahçesi alım-satımı olmadığı için sulu (%5,83) ve kuru

			(%5,03) tarla arazilerindeki kapitalizasyon oranı tespit edilmiştir. Hünnap bahçelerinde %6, %6,5 ve %7 kapitalizasyon oranlarına göre değer hesaplanmıştır.
İnan, 2017	Yüksek Lisans Tezi	İstanbul ili Silivri ilçesi	48 işletme ile anket yapılmıştır. Ceviz arazilerinin değeri, pazar değeri ve gelir yöntemlerine göre belirlenmiştir. Ağaçlı değer belirlenmesinde geçmiş ve gelecek değerler yöntemlerinden yararlanılmıştır. Kapitalizasyon oranı %3,54 olarak belirlenmiş ancak %4-5 ile de hesaplama yapılmıştır.

Meyve bahçelerinin değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalarda da veriler genellikle işletmelerden anket yapılarak elde edilmiştir. Literatürde meyve bahçelerinin değerlendirilmesi ile ilgili sera, vişne, incir, antepfıstığı, zeytin, şeftali, kestane, hünnap ve ceviz bahçeleri örnekleri mevcuttur. Kapitalizasyon oranı %3-7 aralığında hesaplanmıştır. Meyve bahçelerinin değerlendirilmesinde gelir, pazar değeri ve maliyet yöntemi kullanılmıştır. Ağaçlı değer belirlenmesinde ise geçmiş ve gelecek değerler yöntemlerinden yararlanılmıştır. Geçmiş değerler yönteminde meyve bahçelerinin ömür başlangıcındaki çıplak toprak değerinden hareket edilerek geçmiş yıllardaki rantları, gelecek değerler yönteminde ise içinde bulunduğu ömrün sonundaki çıplak toprak değerinden hareket edilerek gelecekte beklenen rantları esas alınır. Değerleme anında meyve bahçeleri ekonomik ömürün başına yakınsa geçmiş değerler, ekonomik ömürün sonuna yakınsa gelecek değerler yöntemi tercih edilmektedir (Okan, 2013).

Tarımsal değerlendirme ve tarım arazilerinin değerine etki eden faktörlerin ele alındığı çalışmalar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Tarımsal değerlendirme ve değere etki eden faktörler ile ilgili çalışmalar

Kaynak Adı	Kaynak Türü	Çalışma Alanı	Materyal ve Metot
Karakayacı, 2005	Yüksek Lisans Tezi	Konya ili Ereğli ilçesi	46 tarım arazisi incelenmiştir. Kapitalizasyon oranı sulu arazilerde %6,02, kuru arazilerde %7 olarak hesaplanmıştır. Gelir ve pazar değeri yöntemine göre değer belirlenmiş ve elde edilen değerler arasında önemli bir farklılık olmadığı görülmüştür. Arazi değerini etkileyen faktörler regresyon analizi ile incelenmiştir.
Hurma, 2007	Doktora Tezi	Trakya	Edirne, Tekirdağ ve Kırklareli ili ve ilçelerine bağlı köylerde 312 adet anket yapılmıştır. Çevre kalitesinin tarım arazi değeri üzerinde etkileri hedonik yöntemle, tarımsal arazi talebini etkileyen faktörler ise faktör analizi ve kümeleme analizi ile incelenmiştir.
Vural ve Fidan, 2009	Makale	Bursa ili Karacabey ilçesi	54 işletme ile anket yapılarak veri elde edilmiştir. Hedonik yöntem kullanılarak arazi değerini etkileyen faktörler analiz edilmiştir.
Karakayacı, 2011	Doktora Tezi	Konya ili Çumra ilçesi	Tarım arazilerinin değerlendirilmesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılmıştır. Kapitalizasyon oranı %6,7 olarak hesaplanmış ve gelir yöntemi ile değer belirlenmiştir. Değere etki eden faktörler çoklu regresyon, hedonik yöntem ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanılarak analiz edilmiştir. Gri İlişkisel Analiz (GIA) yöntemi ile her parsel için %5,72 ile %6,16 arasında kapitalizasyon oranı hesaplanmıştır. CBS ile nominal değer ve gelir değeri haritası oluşturulmuştur.
Koç, 2011	Doktora Tezi	Kırıkkale ili Keskin ilçesi	Tarım arazisinin değerinde etkili olan faktörleri ve bu faktörlerin etki derecelerini belirlemek için 1148 arazi sahibiyle anket çalışması yapılmış ve elde edilen verilerin %'de değişim oranları dikkate alınarak iki aşamalı bir çalışma yapılmıştır. Engle-Granger iki aşamalı tahmin yöntemi ve genelden özele modelleme

				yöntemine benzer bir yöntem kullanılmıştır.
Öztürk Çoşar, 2013	Yüksek Lisans Tezi	İzmir ili Menemen ilçesi		Sulu tarım arazilerinin değeri ve değeri etkileyen faktörler analiz edilmiştir. 89 işletme ile anket yapılmış ve kapitalizasyon oranı %5,63 olarak hesaplanmıştır. Arazi değerleri pazar değeri ve gelir yöntemlerine göre belirlenmiştir. Faktörlerin incelenmesinde faktör analizi ve hedonik yöntem kullanılmıştır.
Ertas, 2014	Bildiri	Konya ili Çeltik ilçesi		Tarım arazilerinin verimsel ve konumsal özellikleri dikkate alınarak arazi değer puanları hesaplanmıştır. Araziler, arazi değer puanlarından arındırılıp yalın hale getirildikten sonra sulu ve kuru tarım arazileri için kapitalizasyon oranı hesaplanmış ve bu yöntem yalın değerlendirme yöntemi olarak ifade edilmiştir.
Karakayacı, 2015	Makale			Tarım arazilerinin değerini etkileyen faktörler AHP yöntemi ile analiz edilmiştir.
Subaşı Kaplan, 2015	Yüksek Lisans Tezi	Şanlıurfa ili Harran ovası		81 işletme ile anket yapılmıştır. Bölge genelinde kullanılabilir kapitalizasyon oranı %2 olarak hesaplanmıştır. Tarım arazilerinin opsiyon değerleri hesaplanmış ve bunun için %5 kapitalizasyon oranı kullanılmıştır.
Başer, 2015	Yüksek Lisans Tezi	Samsun ili Ladik ilçesi		72 parsel için veriler anket çalışması ile elde edilmiştir. Arazi değerini etkileyen faktörlerin belirlenmesinde hedonik yöntem kullanılmıştır.
Aksu, 2017	Yüksek Lisans Tezi	Manisa ili Kırkağaç ilçesi		164 işletme ile anket yapılmıştır ve veriler 2014 üretim dönemine aittir. Faktörlerin değerlendirilmesinde hedonik yöntem kullanılmıştır.
Öztürk ve ark., 2017	Makale	İzmir ili Bergama, Ödemiş, Torbalı, Bayındır ve Tire ilçeleri		Sulanabilir tarım arazilerinin değeri ve arazi değerini etkileyen faktörler analiz edilmiştir. 90 işletme ile anket yapılmış ve arazi değeri pazar değeri ve gelir yöntemlerine göre belirlenmiştir. Her ilçe için kapitalizasyon oranı hesaplanmıştır. Faktör analizinde hedonik yöntem kullanılmıştır ve her ilçe için ayrı modeller oluşturulmuştur.
Çınar ve ark., 2018	Bildiri	Aydın ili Nazilli, Koçarlı ve Söke ilçeleri		150 işletme ile anket yapılarak veri elde edilmiştir. Arazilerin değerinin belirlenmesinde pazar yöntemi, faktörlerin analizinde hedonik yöntem kullanılmıştır.
Karakayacı, 2018	Makale	Konya ili Selçuklu, Karatay ve Meram ilçeleri		Kentsel saçaklanma alanlarında bulunan arazilerin değerini etkileyen faktörler regresyon modeli ile analiz edilmiştir.
Başaran, 2019	Yüksek Lisans Tezi	Aydın ili Efeler ilçesi		Kentsel saçaklanmanın tarım arazilerindeki etkisi araştırılmıştır. 73 işletmeden 2016 üretim dönemine ait veriler toplanmıştır. Kapitalizasyon oranı %5,23 olarak hesaplanmış, değerlendirilmede pazar değeri ve gelir yöntemleri kullanılmıştır. Değeri etkileyen faktörler, faktör analizi ve hedonik yöntemle analiz edilmiştir.
Susam, 2019	Yüksek Lisans Tezi	İzmir ili Bergama ilçesi		Yortanlı barajının işletmeye açılmasının tarım arazilerine etkisi araştırılmıştır. 87 işletme ile anket yapılarak veri elde edilmiştir. Kapitalizasyon oranı %4,13 olarak hesaplanmış, değerlendirilmede pazar değeri ve gelir yöntemleri kullanılmıştır. Değeri etkileyen faktörler, faktör analizi ve hedonik yöntemle analiz edilmiştir.
Yiğit, 2019	Yüksek Lisans Tezi	Konya ili Meram ilçesi		50 işletme ile anket yapılmıştır. Kentsel saçaklanma alanında arazi değeri, pazar değeri ve gelir yöntemlerine göre hesaplanmıştır. Kapitalizasyon oranı %3 olarak hesaplanmıştır. Tarım arazilerinin değerini etkileyen faktörler tarımsal amaç dışı ve tarımsal özellikler olarak ele alınmış ve hedonik yöntem ile analiz edilmiştir. Kentsel saçaklanma alanlarında tarım dışı özelliklerin etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
Başer ve ark., 2019	Makale	Samsun ili Ladik ilçesi		56 işletme ile anket yapılarak veri elde edilmiştir. Arazi değerini etkileyen faktörlerin doğrudan ve dolaylı etkilerini belirlemek için Path analizi kullanılmıştır.
Akbay, 2020	Makale	Kahramanmaraş ili Afşin-Elbistan ovası		118 işletme ile anket yapılmıştır. Net gelir yöntemine göre arazi değeri tespit edilmiştir. Kapitalizasyon oranı sulu tarla %5,76; kuru tarlada ise %5,21 olarak tespit edilmiştir. Araştırma sonucunda net gelir ile elde edilen değer işletmelerin arazilerine biçtikleri değerden daha yüksek çıkmıştır.

Aygün Filiz, 2021	Yüksek Lisans Tezi	Antalya ili Muratpaşa, Aksu ve Serik ilçeleri	134 arazi sahibi ile anket yapılmıştır. İl merkezi, imar alanlarına uzaklık ve nüfus yoğunluğunun çalışma alanındaki tarım arazisi değerine etkisi araştırılmıştır. Hedonik yöntem kullanılmıştır.
Özdemir, 2021	Doktora Tezi	Ankara ili Evren ilçesi	Arazi toplulaştırmasından etkilenen tarım işletmelerinin üretim ve işletme yapısı ile toplulaştırma, arazi derecelendirme ve değerlemeye bakış açıları incelenmiştir. Gelir yöntemi kullanılarak parsel bazlı değerlendirme yapılmış ve GIA kullanılarak parsel bazlı kapitalizasyon oranı hesaplanmıştır. AHP yöntemi ile faktörlerin önem dereceleri belirlenmiştir.
Fıratlı, 2022	Yüksek Lisans Tezi	Şanlıurfa ili Eyyübiye ve Haliliye ilçeleri	Kentsel saçaklanmanın tarım arazilerindeki etkisi araştırılmıştır. 39 yerleşim birimi araştırma kapsamına alınmış ve 100 işletmeden 2022 üretim dönemine ait veriler toplanmıştır. Pazar değerini etkileyen faktörler hedonik yöntemle analiz edilmiştir.
Çınar ve Bünyan Ünel, 2022	Makale	Mersin ili Erdemli ilçesi	Orman vasfını yitirmiş 2/B arazilerden tarım arazisine dönüşen taşınmazların değerlendirilmesinde Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemleri kullanılmıştır. 414 parsel için resmi değerler kullanılarak model oluşturulmuş ve CBS ile değer haritaları üretilmiştir.
Er ve ark., 2022	Makale	Mersin ili Mezitli ilçesi	Tarım arazilerinin değerinin belirlenmesinde ÇLR ve YSA yöntemleri kullanılmıştır. CBS ile değer haritaları üretilmiştir.
Karaduman, 2023	Yüksek Lisans Tezi	Aksaray ili Merkez ilçesi	Tarım arazilerinin değerlendirilmesinde yalnız değerlendirme, ÇLR ve YSA kullanılmış ve CBS ile değer haritaları elde edilmiştir.
Karakayacı, 2023	Makale	Konya ili 31 ilçesi	Kapitalizasyon oranının tespiti için satışı yapılmış 226 adet parsel, gelir yöntemine göre değer tespiti için 900 parsel için veri anket ile toplanmıştır. Kapitalizasyon oranı sulu tarım arazisi için %2,40-%6,80 aralığında, kuru tarım arazisi için %3,25-%7,80 aralığında belirlenmiştir. Arazi değeri pazar değeri ve gelir yöntemlerine göre tespit edilmiştir.

Tarımsal değerlendirme ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde; tarım arazilerinin değerlendirilmesinde genel olarak geleneksel değerlendirme yöntemlerinden pazar değeri ve gelir yöntemlerinin; tarım arazilerinin değerine etki eden faktörlerin incelenmesinde ise faktör analizi ve hedonik yöntemin kullanıldığı tespit edilmiştir. Bazı çalışmalarda tarım arazilerinin değerlendirilmesinde istatistiksel değerlendirme yöntemlerinin (ÇLR) ve modern değerlendirme yöntemlerinin (YSA) kullanıldığı görülmüştür. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan AHP yöntemi faktör analizinde; GIA yöntemi ise kapitalizasyon oranının belirlenmesinde kullanılmıştır. CBS ile değer haritalarının üretildiği çalışmalar da mevcuttur.

Literatürde; tarım arazilerinin değerinin belirlenmesinde kullanılan pazar değeri ve gelir yönteminin incelenmesi (Keskin, 2022), tarım arazilerinde kamulaştırma bedellerinin belirlenmesiyle ilgili birliktir raporlarının incelenmesi (Kılıç, 2022), tarımsal değerlemede mevcut sorunlar (Başer, 2020), kamulaştırmada tarım arazilerine değer biçmede karşılaşılan sorunlar (Engindeniz ve ark., 2015; Şahin ve Karadağ Gürsoy, 2016), arazi toplulaştırma uygulamalarının değere etkisi (Karakayacı ve ark., 2016) ve CBS'nin tarım arazilerinin değerlendirilmesinde kullanım olanakları (Öztürk Çoşar ve Engindeniz, 2011) ile ilgili çalışmalar da vardır.

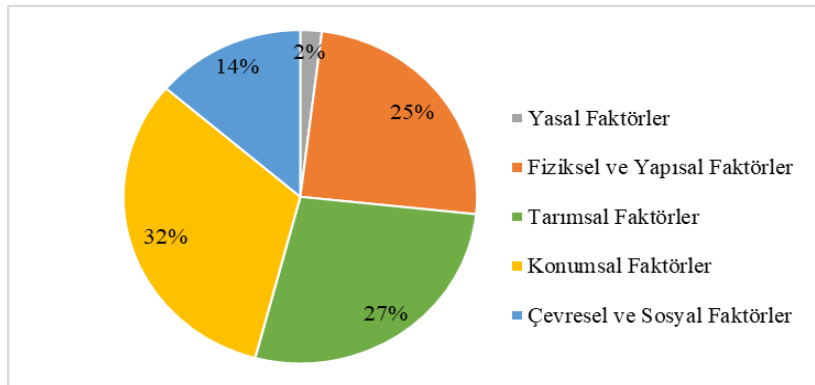
Tarımsal arazi değerlendirme ile ilgili Tablo 3'te verilen çalışmalardan, tarım arazisi değerini etkileyen faktörler derlenmiş ve gruplandırılmıştır (Tablo 4). Ayrıca bu faktörlerin kullanıldığı çalışma sayısı da verilmiştir.

Tablo 4. Tarım arazisi değerini etkileyen faktörler

Gruplar	Faktörler	Çalışma Sayısı
Yasal Faktörler	Arazinin imara açılma olasılığı	2
	Arazinin yasal kısıtlayıcısı olması	2
	Arazinin kadastro görmüş olması	1
Fiziksel ve Yapısal Faktörler	Arazinin büyüklüğü	17
	Arazinin geometrik şekli	14
	Eğim	11
	Arazinin niteliği	6
	Arazideki yapılaşma durumu	5
	Arazinin tasarruf şekli	2
	Tek parça olması	2
	Arazideki ağaç durumu	1
	Arazideki alt yapı durumu	1
	Arazinin cephe sayısı	1
	Bakı	1
	Erozyon durumu	1
	Jeolojik durum	1
Tarımsal Faktörler	Toprak verimi	16
	Sulama durumu	16
	Taşlılık durumu	8
	Münavebe durumu	7
	Arazi kullanım kabiliyeti	6
	Toprak kalitesi	4
	Toprak yapısı	4
	Tuzluluk durumu	3
	Islah durumu	2
	Drenaj durumu	2
	Organik madde durumu	1
Tarım aleti kullanılabilirliği	1	
Konumsal Faktörler	Ana yola yakınlık	17
	İl merkezine yakınlık	12
	Köye yakınlık	11
	İlçe merkezine yakınlık	10
	Yerleşim yerine yakınlık	6
	Su kaynağına yakınlık	4
	Pazara yakınlık	4
	Orman alanına yakınlık	3
	Mera alanına yakınlık	3
	İşletme merkezine yakınlık	2
	Sanayi bölgesine yakınlık	2
	Mahalleye yakınlık	1
	Tren yoluna yakınlık	1
	Benzin istasyonuna yakınlık	1
	Nehre yakınlık	1
	Baraja yakınlık	1
	Kirlilik kaynağına yakınlık	1
Fabrikaya yakınlık	1	
Maden yatağına yakınlık	1	
Çevresel ve Sosyal Faktörler	Ulaşım Olanakları	8
	Arazi Piyasası	7
	Nüfus	6
	Arazi geliri	3
	Arazi kirası	2
	Sağlık koşulları	2
	Hava kirliliği	1
	Su kirliliği	1
	Gürültü kirliliği	1
	Toprak kirliliği	1
	Manzara	1

Tablo 4 incelendiğinde, yasal faktörlerden arazinin imara açılma olasılığı ve arazinin yasal kısıtlayıcısı (irtifak hakkı) olması; fiziksel ve yapısal faktörlerden arazinin büyüklüğü, arazinin geometrik şekli, eğim, arazinin niteliği ve arazideki yapılaşma durumu; tarımsal faktörlerden toprak verimi, sulama durumu, taşlılık durumu, münavebe durumu, arazinin kullanım kabiliyeti, toprak kalitesi ve toprak yapısı; konumsal faktörlerden ana yola yakınlık, il merkezine yakınlık, köye yakınlık, ilçe merkezine yakınlık, yerleşim yerine yakınlık, su kaynağına yakınlık ve pazara yakınlık; çevresel ve sosyal faktörlerden ulaşım olanakları, arazi piyasası ve nüfus faktörlerinin ağırlıklı olarak kullanıldığı tespit edilmiştir.

Ana faktörlerin yüzdesel dağılımı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Ana faktörlerin yüzdesel dağılımı

Şekil 1’de verilen ana faktörlerin yüzdesel dağılımı incelendiğinde büyükten küçüğe sıralaması şu şekildedir; konumsal faktörler (%32), tarımsal faktörler (%27), fiziksel ve yapısal faktörler (%25), çevresel ve sosyal faktörler (%14) ve yasal faktörler (%2). Tarımsal değerlendirme uygulamalarında, tarım arazilerinin değerini etkileyen faktörlerin tespit edilmesi aşamasında Tablo 4’te verilen faktörler ve kullanılma sıklıkları araştırmacılar için yönlendirici olacaktır.

4. Tartışma ve Sonuç

Tarım arazileri gıda üretimi, beslenme ve ekonomik refah sağlamak için temel kaynaktır. Artan nüfusun gıda ihtiyacını karşılaması, tarımsal üretim ile ekonomiye katkıda bulunması, biyoçeşitliliğin korunması ve kırsal kalkınma açısından tarım arazilerinin korunması ve sürdürülebilir yönetimi önemlidir. Tarım arazilerinin değerlendirilmesi de korunması ve yönetimi kadar önemli bir konudur. Kamulaştırma, toplulaştırma, vergilendirme, kredilendirme gibi uygulamalar için tarım arazilerinin değerinin doğru belirlenmesi hem arazi sahibi hem yatırımcı hem de kurum ve kuruluşlar için gereklidir. Ayrıca tarım politikalarında ve tarımsal planlamalarda tarım arazilerinin değerlendirilmesi önemli bir role sahiptir.

Kapitalizasyon oranının hesaplanması ile ilgili çalışmalar (Tablo 1) incelendiğinde, tüm çalışmalarda veriler anket yoluyla elde edilmiştir. Bu çalışmalarda, işletme tasarruf şekillerine ve tarım arazilerinin niteliğine göre farklı durumlar için kapitalizasyon oranları hesaplanmıştır. Mal sahibi, kiracılık ve ortaklık (Keskin, 1994; Sayılı, 1996; Birinci, 1997; Kalyoncu, 2018); mal sahibi ve kiracılık (Aktaş, 2000; Akay ve ark., 2001) ve mal sahibi (Aslan, 2002; Aydın, 2007; Avcı, 2010; Baştürk, 2011; İncir, 2015; Sert, 2019; Yüksel, 2019, Karadoğan, 2022) olarak işletme tasarruf şekilleri belirlenmiştir. Tarım arazisinin niteliğine göre genel olarak kuru tarım ve sulu tarım arazileri için kapitalizasyon oranı tespit edilmiştir. Ancak sadece kuru tarım arazileri (Yüksel, 2019) ve sadece sulu tarım arazileri (Aktaş, 2000; Oğuz ve Ünal, 2004; Avcı, 2010; Karadoğan, 2022) ile ilgili çalışmalar da vardır. Tablo 1’de verilen 19 çalışmadan 9’unun çalışma alanı Tokat ilidir. Tokat ilinde, Kazova bölgesinde (Sayılı, 1996; Karadoğan, 2022) ve Erbaa ilçesinde (Akay ve ark., 2001; Yüksel, 2019) farklı yıllarda çalışmalar yapılmıştır. Kazova bölgesinde, 1996 yılında yapılan çalışmada sulu tarım arazilerinde kapitalizasyon oranı %3.88 olarak hesaplanırken, 2022 yılında yapılan çalışmada %4.31 olarak hesaplanmıştır. Erbaa ilçesinde, 2001 yılında yapılan çalışmada kuru tarım arazilerinde kapitalizasyon oranı %3.41 olarak hesaplanırken, 2019 yılında yapılan çalışmada %5.65 olarak hesaplanmıştır. Bu da bölgeden bölgeye, yöreden yöreye değişen kapitalizasyon oranının zamanla bölgenin gelişmişlik düzeyine göre de değiştiğini kanıtlamaktadır. Kamulaştırma değerinin tespitinde bilirkişi raporlarında bazı hata ve eksiklikler olabilmektedir. Yaygın ürün desenine bakılmaksızın son bir veya iki yılın verileri dikkate alınarak münavebenin belirlenmesi ve net gelirin hesaplanmasında Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından ilçe düzeyinde yayınlanan verilerin kontrollerinin ve düzeltmelerinin yapılmadan olduğu gibi kamulaştırılan arazilere uygulanması bilirkişi raporlarındaki hata ve eksikliklerden bazılarıdır (Kılıç, 2022). Bunlar, kapitalizasyon oranının belirlenmesini de etkilemektedir. Kapitalizasyon oranının gerçekçi bir şekilde tespiti için net gelirin belirlenmesinde kullanılan veriler ile gerçek arazi satış değerlerinin doğru bir şekilde saptanması ve mümkün olduğunca güncel olması, yaygın münavebe sisteminin dikkate alınması, arazilerin işletme tasarruf şekillerinin aynı olması ve kapitalizasyon oranı hesaplanacak araziler ile değerlemesi yapılacak araziler arasında benzerlik olması önemlidir (Gündoğdu ve Taşçı, 2017).

Meyve bahçelerinin değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar (Tablo 2) incelendiğinde, antepfıstığı bahçelerinin değerlendirilmesinde veriler farklı kurumlardan elde edilirken (Engindeniz, 2007), diğer çalışmalarda anket yoluyla elde edilmiştir. Meyve bahçelerinin değerlendirilmesinde pazar değeri ve gelir yöntemleri, ağaçlı değerlerin belirlenmesinde geçmiş ve gelecek değerler yöntemleri kullanılmıştır (Özüdoğru, 1998; Engindeniz, 2001b; Okan, 2013; İnan, 2017). Sadece gelir ve geçmiş değerler yöntemlerinin de kullanıldığı çalışmalar vardır (Engindeniz, 2007; Engindeniz ve ark., 2010; Gündoğmuş ve Uyar, 2016; Gündoğmuş ve Taşçı, 2017). Bu çalışmalardan farklı olarak seraların değerlendirilmesinde gelir ve maliyet yöntemleri kullanılmıştır (Ereeş, 2010).

Tarım arazilerinin değerine etki eden faktörler ile ilgili çalışmalar (Tablo 3) incelendiğinde, faktörlerin değerlendirilmesinde hedonik yöntem (Vural ve Fidan, 2009; Başer, 2015; Aksu, 2017; Öztürk ve ark.,

2017; Çınar ve ark., 2018; Yiğit, 2019; Aygün Filiz, 2021; Fıratlı, 2022), faktör analizi (Öztürk Çoşar, 2013; Başaran, 2019; Susam, 2019) ve regresyon analizi (Karakayacı, 2005; Karakayacı, 2018) kullanılmıştır. Ayrıca çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHP yöntemi (Karakayacı, 2011; Karakayacı, 2015; Özdemir, 2021), kümeleme analizi (Hurma, 2007) ve Path analizi (Başer ve ark., 2019) de faktör analizlerinde kullanılmıştır. Diğer çalışmalardan farklı olarak Karakayacı (2011) ve Özdemir (2021), GIA yöntemi kullanarak parsel bazlı kapitalizasyon oranı hesaplamışlardır. Tüm çalışmalarda kapitalizasyon oranı belli bir bölge için hesaplanırken, Karakayacı (2023) tarafından Konya ilinin 31 ilçesi için kapitalizasyon oranı hesaplanmıştır. Genel olarak tarım arazilerinin değerlendirilmesinde gelir ve pazar değeri yöntemleri kullanılmıştır (Karakayacı, 2005; Öztürk Çoşar, 2013; Öztürk ve ark., 2017; Başaran, 2019; Susam, 2019; Yiğit, 2019). Tarım arazilerinin değerlendirilmesinde yalın değerlendirme yöntemi Ertaş (2014) tarafından geliştirilmiştir ve Karaduman (2023), çalışmasında bu yöntemi kullanmıştır. Geleneksel yöntemlerden farklı olarak istatistiksel ve modern yöntemlerden olan ÇLR ve YSA yöntemleri de tarımsal değerlemede kullanılmış ve CBS ile değer haritaları üretilmiştir (Çınar ve Bünyan Ünel, 2022; Er ve ark., 2022; Karaduman, 2023). Tarımsal değerlemede CBS ilk kez Karakayacı (2011) tarafından kullanılmıştır.

Taşınmaz değerlendirme alanına olan ilgi arttıkça, bu alanda geleneksel yöntemlere alternatif olarak bilgisayar zekasının ve hızının dahil edildiği modern yöntemler kullanılmaya başlanmıştır ve böylece değerlendirme süreci objektif bir şekilde yürütülmektedir (Çınar ve Bünyan Ünel, 2022). Tarım arazilerinin değerlendirilmesinde de modern yöntemlerin kullanılması, arazi değerine etki eden faktörlerin ve etki derecelerinin tespiti, CBS ile tarımsal verilerin analizi ve değer haritalarının üretilmesi ile bilgisayar teknolojisinin uygulamalara dahil edilmesi, değerlendirme işlemlerinin daha objektif ve hızlı bir şekilde yürütülmesini sağlayacaktır.

Bilgilendirme

Bu çalışma, T. Alkan'ın doktora tezi için yapılan araştırmadan faydalanılarak hazırlanmıştır.

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

Akay M., Akçay Y., Sayılı M. Tokat ili Erbaa ovası tarla arazilerinde kapitalizasyon faiz oranı üzerine bir araştırma. Kooperatifçilik Dergisi Türk Kooperatifçilik Kurumu Yayını 2001; 131.

- Akbay C. Afşin-Elbistan Ovası'nda sulu ve kuru tarla arazilerde kapitalizasyon oranı ve arazi değerlerinin tespiti. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi* 2020; 35(2): 147-156.
- Akış B. İstatistiki yöntemlerle değer belirleme ve değer haritası üretimi Selçuklu örneği. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Konya, Türkiye, 2013.
- Aksu B. Tarımsal arazi satış fiyatını etkileyen faktörlerin analizi: Manisa ili Kırkağaç ilçesi örneği. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Antalya, Türkiye, 2017.
- Aktaş AR. Tokat ili Niksar ovası tarla arazilerinde kapitalizasyon faiz oranının saptanması üzerine bir araştırma. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Tokat, Türkiye, 2000.
- Alkan T., Durduran SS. Turizm kentlerinde taşınmaz değerlemenin CBS ve AHP yöntemi yardımıyla incelenmesi: Alanya kenti örneği. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2021; 10(1): 178-187.
- Amirtaimoori S. Estimation of agricultural lands value using the hedonic method: A case study in Orzou'iyeh County (Persian). *Journal of Rural Research* 2018; 8(4): 663-674.
- Aslan İ. Tokat ili Artova ilçesi tarla arazilerinde kapitalizasyon faiz oranının tespiti üzerine bir araştırma. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Tokat, Türkiye, 2002.
- Avcı İ. Tokat ili Pazar ilçesi tarla arazilerinde kapitalizasyon oranının tespiti üzerine bir araştırma. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Tokat, Türkiye, 2010.
- Awasthi MK. Socioeconomic determinants of farmland value in India. *Land Use Policy* 2014; 39: 78-83.
- Aydın H. Zile ovası tarla arazilerinde kapitalizasyon oranının tespiti üzerine bir araştırma. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Tokat, Türkiye, 2007.
- Aygün Filiz HG. Şehirleşmenin tarım arazilerinin değerine etkisi: Antalya ili örneği. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Antalya, Türkiye, 2021.
- Başaran C. Kentsel saçaklanmanın tarım arazisi piyasasına etkilerinin analizi: Aydın ili Efeler ilçesi örneği. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir, Türkiye, 2019.
- Başaran Caner C., Engindeniz S., Örük G. Kentsel saçaklanmanın tarım arazisi değerlerine etkilerinin analizi: Aydın ili Efeler ilçesi örneği. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi* 2022; 57(4): 2590-2604.
- Başer U. Samsun ili Ladik ilçesinde arazi fiyatını etkileyen faktörlerin belirlenmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Samsun, Türkiye, 2015.
- Başer U., Kılıç O., Abacı HS. Arazi fiyatını etkileyen faktörlerin doğrudan ve dolaylı etkilerinin path analizi ile belirlenmesi: Samsun ili Ladik ilçesi örneği. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi* 2019; 6(1): 50-56.
- Başer V. Tarımsal arazi değerlemesinde mevcut sorunlar ve çözüm yaklaşımları. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi* 2020; 10(2): 431-442.

- Baştürk A. Samsun ili Ladik ilçesi tarla arazilerinde kapitalizasyon oranının saptanması üzerine bir araştırma. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Tokat, Türkiye, 2011.
- Bayramoğlu Z., Özdemir S. Analysis of factors affecting the value of agricultural lands: the case of evren district of Ankara province. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology 2021; 9(5): 848-854.
- Bilgili ME. Adana ilindeki biyokütle potansiyelinin elektrik enerjisi ikamesinde kullanım durumu. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2020; 3(1): 41-47.
- Birinci A. Erzurum ve Erzincan illerinde tarla arazilerinin kıymetlerinin takdirinde kullanılan kapitalizasyon faizine etki eden faktörlerin tespiti üzerine bir araştırma. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Erzurum, Türkiye, 1997.
- Bozdağ A., Ertunç E. CBS ve AHP yöntemi yardımıyla Niğde Kenti örneğinde taşınmaz değerlendirme. Geomatik 2020; 5(3): 228-240.
- Çınar G., Altınok AC., Özcan H., Aslan F. Aydın ilinde tarımsal arazi değerini etkileyen faktörlerin hedonik fiyatlandırma modeli ile tahmin edilmesi. Ahtamara, 25-26 Ağustos 2018, sayfa no:58-67, Van.
- Çınar S., Bünyan Ünel F. 2/B orman vasfını yitirmiş araziden tarım arazisine dönüşen taşınmazların toplu değerlemesi. Geomatik 2022; 7(2): 112-127.
- Dağdemir V., Aşkan E., Demir O., Tercan S. Ağrı ili Merkez ilçe tarım arazilerinde kapitalizasyon oranının tespiti. Alinteri Journal of Agriculture Science 2018; 33(2): 133-139.
- Engindeniz S. Beydağ Barajı göl alanında kalan tarım arazilerinin kamulaştırılmasında kullanılabilirlik kapitalizasyon faiz oranının saptanması üzerine bir araştırma. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2001a; 38(2): 95-102.
- Engindeniz S. Meyve arazilerinin değer takdirinde uygulanabilecek esaslar: İzmir'in tire ilçesinde incir arazilerinin değer takdiri üzerine bir araştırma. TZOB Yayın; 2001b.
- Engindeniz S. Meyve arazilerinde gelir yöntemine göre değer takdiri: antepfıstığı örneği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2007; 44(3): 75-87.
- Engindeniz S., Yercan M., Adanacioglu H. The valuation of olive orchards: A case study for Turkey. Journal of Applied Horticulture 2010; 12(1): 81-84.
- Engindeniz S., Başaran C., Susam B. Tarım arazilerinin kamulaştırma bedellerinin saptanmasında gelir yönteminin uygulanmasıyla ilgili anlaşmazlıklar. 15. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 25-28 Mart 2015, sayfa no:25-28, Ankara.
- Er B., Kurugöllü S., Bünyan Ünel F. Tarım arazilerinin yapay sinir ağları ve çoklu lineer regresyon analizi ile toplu taşınmaz değerlendirme: Mersin, Mezitli-Bozön mahallesi örneği. Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi 2022; 4(1): 5-14.
- Ereeş E. İzmir'in Menderes ilçesindeki seraların değerlendirme üzerine bir araştırma. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir, Türkiye, 2010.

- Ertas M. Using bare valuation method in valuation of rural area. FIG Congress, 16-21 June 2014, Kuala Lumpur Malaysia.
- Fıratlı İ. Kentsel saçaklanmanın tarım arazilerinin amaç dışı kullanımına etkileri: (Şanlıurfa ili örneği). Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, Türkiye, 2022.
- Gündoğmuş ME., Uyar T. Kestane bahçelerinde gelir yöntemine göre değerlendirme: Aydın ili Nazilli ilçesi örneği. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi 2016; 13(1): 107-117.
- Gündoğmuş ME., Taşçı M. Hünnap (*Zizyphus jujube* mill.) bahçelerinde gelir yöntemine göre değerlendirme: Denizli ili Çivril ilçesi örneği. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi 2017; 14(2): 42-53.
- Hurma H. Çevre kalitesinin tarımsal arazi değeri üzerine etkilerinin analizi: Trakya örneği. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Tekirdağ, Türkiye, 2007.
- İnan O. Ceviz bahçelerine gelir yöntemine göre değer biçilmesi: İstanbul ili Silivri ilçesi örneği. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ, Türkiye, 2017.
- İncir S. Tokat ili Çevreli beldesi tarla arazilerinde kapitalizasyon oranının saptanması üzerine bir araştırma. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Tokat, Türkiye, 2015.
- Kalyoncu Ö. Tarla arazilerinde kapitalizasyon oranının tespiti üzerine bir araştırma: Bayburt ili Merkez ilçe örneği. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, Türkiye, 2018.
- Karadoğan N. Sulu tarım arazilerinde kapitalizasyon faiz oranının saptanması: Tokat ili Kazova bölgesi örneği. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Tokat, Türkiye, 2022.
- Karaduman H. Coğrafi bilgi sistemleri ile tarım arazilerinin değerlendirilmesi: Aksaray örneği. Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Aksaray, Türkiye, 2023.
- Karakayacı Z. Konya ili Ereğli ilçesi tarım arazilerine değer takdirinde uygulanan gelir yöntemi ve pazar değeri yöntemi arasındaki farkın incelenmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Konya, Türkiye, 2005.
- Karakayacı Z., Oğuz C. Küreselleşme çerçevesinde tarım arazileri değerlemesinde kamulaştırma kanunu uygulaması; Konya ili Ereğli ilçesi örneği. Türkiye VII. Tarım Ekonomisi Kongresi, 2006, sayfa no: 661-669, Antalya.
- Karakayacı Z. Tarım arazilerinin değerlendirilmesinde coğrafi bilgi sistemlerinin kullanılması: Konya ili Çumra ilçesi örneği. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Doktora Tezi, Konya, Türkiye, 2011.
- Karakayacı Z. Using of analytic hierarchy process on evaluating the affecting factors in the value of farmlands. Bulgarian Journal of Agricultural Science 2015; 21(4): 719-724.

- Karakayacı Z., Aydın A., Gönül C., Uğur E. Arazi toplulaştırmasının arazi değerine etkisi; Konya ili Alanözü Kasabası örneği. *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2016; 21(2): 157-167.
- Karakayacı Z., Oğuz C., Reis S. Konya ili Çumra ilçesindeki tarım arazilerinin değerlerini etkileyen faktörlerin farklı yaklaşımlarla analizi. *Tarım Ekonomisi Dergisi* 2016; 22(2): 17-27.
- Karakayacı Z. Regression analysis for the factor affecting on farm land/urban land value in urban sprawl. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology* 2018; 6(10): 1357-1361.
- Karakayacı Z. Konya ili tarım arazileri için kapitalizasyon oranı ve değer tespiti. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi* 2023; 26(3): 664-672.
- Kayalık M., Polat ZA. CBS destekli nominal taşınmaz değer haritasının 3 boyutlu sunumu: Berlin Eyaleti örneği. *Geomatik* 2023; 8(2): 180-191.
- Keskin G. Eskişehir ili tarla arazilerinde ortalama kapitalizasyon oranının bulunması. *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, Türkiye, 1994.
- Keskin G. Tarımsal değerlemede gelirlerin kapitalizasyonu ve pazar değeri tartışması. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi* 2022; 4(2): 74-81.
- Kılıç O. Tarım arazisinin kamulaştırma bedelinin belirlenmesiyle ilgili bilirkişi raporlarının teknik ve hukuki yönden incelenmesi. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi* 2022; 9(1): 79-89.
- Koç M. Tarım arazisi fiyatları üzerine etkili olan faktörlerin ekonometrik analizi: Kırıkkale ili Keskin ilçesi örneği. *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, Ankara, Türkiye, 2011.
- Maleta M., Mościcka A. Selection and significance evaluation of agricultural parcels determinants. *Geodesy and Cartography* 2018; 67(2): 239-253.
- Nilsson P., Johansson S. Location determinants of agricultural land prices. *Jahrbuch für Regional Wissenschaft* 2013; 33(1): 1-21.
- Oğuz C., Ünal Z. Konya İli Çumra İlçesi sulu tarım arazilerinde kapitalizasyon faiz oranının tespiti. *Selçuk Journal of Agriculture and Food Sciences* 2004; 18(33): 8-16.
- Okan N. Şeftali bahçelerinde ağaç ve arazi değerlerinin saptanması: İzmir'in Selçuk ilçesi örneği. *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, İzmir, Türkiye, 2013.
- Özcan T. Analitik hiyerarşi yöntemi (AHP) kullanılarak coğrafi bilgi sistemi (CBS) destekli taşınmaz değer haritası üretimi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Konya, Türkiye, 2019.
- Özdemir Ş. Arazi toplulaştırma sürecinde derecelendirmenin değerlendirme standartları açısından incelenmesi: Ankara ili Evren ilçesi örneği. *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, Konya, Türkiye, 2021.
- Öztürk Çoşar G., Engindeniz S. Tarım arazilerinin değerlendirilmesinde coğrafi bilgi sisteminden yararlanma olanakları. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2011; 48(3): 283-290.

- Öztürk Çoşar G. Menemen ilçesinde sulu tarla arazilerinin değerlerini etkileyen faktörlerin saptanması üzerine bir araştırma. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir, Türkiye, 2013.
- Öztürk Çoşar G., Engindeniz S. Tarım arazisi değerlerinin hedonik analizi: İzmir'in Menemen ilçesi örneği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2013; 50(3): 241-250.
- Öztürk G., Engindeniz S., Bayraktar ÖV. İzmir'deki sulanabilir tarım arazilerinin değerini etkileyen faktörlerin analizi. Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences 2017; 31(3): 75-87.
- Özüdoğru H. Meyve bahçelerinde değer biçme; Ankara ili Çubuk ilçesi bir vişne bahçesi örneği. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye, 1998.
- Raufu MO. Pattern of land use among selected crop farmers in Osun State. Research Journal of Soil and Water Management 2010; 1(1):1-4.
- Resmî Gazete. 5403 sayılı Toprak Koruma ve Arazi Kullanımı Kanunu. Resmî Gazete 2005.
- Sayılı M. Tokat ili Kazova yöresi tarla arazilerinde kapitalizasyon faiz oranının saptanması üzerine bir araştırma. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Tokat, Türkiye, 1996.
- Sert H. Çorum ili Mecitözü ilçesi tarla arazilerinde kapitalizasyon faiz oranının belirlenmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Samsun, Türkiye, 2019.
- Sklenicka P., Molnarova K., Pixova KC., Salek ME. Factors affecting farmland prices in the Czech Republic. Land Use Policy 2013; 30(1): 130-136.
- Subaşı Kaplan H. Şanlıurfa ili sulu tarım arazilerinde değerlendirme yöntemlerinin karşılaştırılması: Harran ovası örneği. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, Türkiye, 2015.
- Susam B. Yortanlı barajının işletmeye açılmasının yöredeki tarım arazisi piyasasına etkilerinin analizi üzerine bir araştırma. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir, Türkiye, 2019.
- Susam Serez B., Engindeniz S., Örük G. Tarım arazisi değerlerini etkileyen faktörlerin analizi: Yortanlı baraj havzası örneği. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 2022; 9(2): 320-329.
- Şahin K., Karadağ Gürsoy A. Tarım alanlarının kamulaştırmasında değer biçmede karşılaşılan sorunlar: Iğdır ili örneği, XII. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi, 25-27 Mayıs 2016, sayfa no: 935-942, Isparta.
- Tanrıvermiş H., Gündoğmuş E., Birinci A., Ceyhan, V. Türkiye'de tarım arazilerinin kamulaştırma bedellerinin tespitinde karşılaşılan sorunlar ve çözüm yolları. Türkiye V Tarım Ekonomisi Kongresi, 18-20 Eylül 2002, sayfa no:111-123, Erzurum.
- Tanrıvermiş H. Gayrimenkul değerlendirme esasları. Lisanslama sınavları çalışma kitapları; 2016.
- Toktaş M., Erdoğan, S. Hazine arazileri için CBS destekli değer haritalarının üretilmesi: Afyonkarahisar örneği. Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi 2012; 4(3): 23-38.

- Ünal EÖ., Dönmez İF. Taşınmaz değerlendirilmede bulanık mantık yaklaşımı ve net gelir yöntemi ile karşılaştırılması, 17. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 25-27 Nisan 2019, Ankara.
- Vural H., Fidan H. Land marketing and hedonic price model in Turkish markets: case study of Karacabey district of Bursa province. *African Journal of Agricultural Research* 2009; 4(2): 71-75.
- Yalçın G., Selçuk O., Şentürk E. Bursa ili Mustafakemalpaşa ilçesi tarım arazilerinde kapitalizasyon oranının tespiti. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2018; 18(2): 548-560.
- Yılan A. Konya ili Ereğli ilçesi tarım arazilerinde kapitalizasyon oranının belirlenmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Samsun, Türkiye, 2020.
- Yiğit F. Kentsel saçaklanma alanlarındaki tarım arazilerinin hedonik fiyat modeli yardımıyla değerlendirilmesi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Konya, Türkiye, 2019.
- Yüksel M. Tokat ili Erbaa ilçesi tarla arazilerinde kapitalizasyon faiz oranının saptanması üzerine bir araştırma. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Tokat, Türkiye, 2019.