



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): 5

Dergi Sahibi/Owner

Prof. Dr. Turgay UZUN
Rektör

Sorumlu Müdür/Director

Prof. Dr. Eyyup TEL
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

Baş Editör/Editor in Chief

Prof. Dr. Tugay AYAŞAN

Yardımcı Editorler/Associate Editors

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



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

Alan Editörleri Konu Editörleri Subject Editors

Prof. Dr. Ertaç HÜRDOĞAN	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	ehurdogan@osmaniye.edu.tr
Doç. Dr. Jülide ÖNER	Uşak Üniversitesi, UŞAK	julide.oner@usak.edu.tr
Doç. Dr. Özge ÖZTEKİN	Gaziantep Üniversitesi, GAZİANTEP	ozgedzo@gmail.com
Doç. Dr. Şeyda ŞAHİN	Cumhuriyet Üniversitesi, SİVAS	seydasahin@cumhuriyet.edu.tr
Doç. Dr. Nermin MERVE YALÇINKAYA	Çukurova Üniversitesi, ADANA	nbaykan@cu.edu.tr
Doç. Dr. Sadrettin YÜKSEL	Atatürk Üniversitesi, ERZURUM	sadrettin71@hotmail.com
Dr. Öğretim Üyesi Mansur Seymen SEĞMENOĞLU	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	mansurseymen@gmail.com

Dil Editörleri Language Editors

Doç. Dr. Kushvar MAMEDOVA	Azerbaijan State Agricultural University, AZERBAIJAN	kgmammadova@gmail.com
Dr. Öğretim Üyesi Fatih ÜNAL BOZDAĞ	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	fatihbozdog@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Pırl TEKİN	Adana Alpaslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, ADANA	ptekin@atu.edu.tr

Yazım Editörleri Spelling Editors

Doç. Dr. Buse EMİRLER	Çukurova Üniversitesi, ADANA	bemirler@cu.edu.tr
Doç. Dr. Demet ÖZKIR	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, NİĞDE	dozkir@ohu.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Dilek ŞENTÜRK DEMİREL	Dicle Üniversitesi, DİYARBAKIR	senturk@dicle.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Oğuzhan DER	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, BANDIRMA	oder@bandirma.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Merve GÖRE	Ege Üniversitesi Ödemiş Meslek Yüksekokulu, İZMİR	merve.gore@ege.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Nursel ÇÖL KESKİN	Selçuk Üniversitesi, KONYA	nurselcol@selcuk.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Şimal KÜRÜMOĞLU	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, TEKİRDAĞ	skurumoglu@nku.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Emre YILDIRIM	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	emreyildirim@osmaniye.edu.tr

İstatistik Editörleri Statistics Editors

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

Mizanpaj Editörleri Layout Editors

Prof. Dr. Özen ÖZER	Kırklareli Üniversitesi, KIRKLARELİ	ozenozer@klu.edu.tr
Doç. Dr. Özlem KARADAĞOĞLU	Kafkas Üniversitesi, KARS	drozlemkaya@hotmail.com
Doç. Dr. Nehir TOKGÖZ	Sakarya Üniversitesi, SAKARYA	nehirtokgoz@sakarya.edu.tr
Doç. Dr. Hatice TÜRK TEN	Ondokuz Mayıs Üniversitesi, SAMSUN	hatice.turkten@omu.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Benian Pınar AKTEPE	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	benianaktepe@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim 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	ezeynepsensoy@osmaniye.edu.tr
Öğretim Görevlisi Rabia ACEMİOĞLU	İğdır Üniversitesi, İĞDIR	rabia.acemioglu@igdir.edu.tr

*Mizanpaj editörleri, çıkan sayılara göre değişiklik gösterebilecektir.

Son Okuyucu Editörleri Final Reader Editors

Doç. Dr. Burcu TAYLAN	Ege Üniversitesi, İZMİR	burcu.taylan@ege.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Özlem VAROL AVCILAR	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	ovarolavcilar@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Orhan ERMETİN	Yozgat Bozok Üniversitesi, YOZGAT	orhan.ermetin@yobu.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Valiollah PALANGI	Ege Üniversitesi, İZMİR	valiollah.palangi@ege.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Cavidan GÜL VARİŞ	Adıyaman Üniversitesi, ADIYAMAN	cgul@adiyaman.edu.tr
Dr. Ar. Gör. Kadriye KURŞUN	Çukurova Üniversitesi, ADANA	kadriyehatipoglu01@gmail.com
Ar. Gör. Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	emriyecinar@osmaniye.edu.tr
Öğretim Gör. Tuba SAYGILI YILDIRIM	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	tubasaygiliyildirim@osmaniye.edu.tr

*Birden fazla rolü olan editörler, tek bir kısımda yazılmıştır



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

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

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

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

Dergi İçin Yazışma Adresi /Correspondence Address

Prof. Dr. Tugay AYASAN (Editor in Chief)

Osmaniye Korkut Ata University, Osmaniye-TÜRKİYE

e-mail: tugayayasan@osmaniye.edu.tr

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



The referees list (Hakem listesi)

Year 2024, Volume 7, Issue 5 list of referees is given below.
(2024 yılı, Cilt 7, Sayı 5'deki hakemlerin listesi aşağıda verilmiştir).

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

HAKEMLER	KURUM
Prof. Dr. İbrahim ATMACA	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı, ANTALYA
Prof. Dr. Mustafa Tolga BALTA	Uşak Üniversitesi/Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi/Makine Mühendisliği Bölümü/Termodinamik Anabilim Dalı/
Prof. Dr. Melahat BAYAR	Kocaeli Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Anabilim Dalı, KOCAELİ
Prof. Dr. Mehmet BİLGİLİ	Çukurova Üniversitesi Ceyhan Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalı, ADANA
Prof. Dr. Betül BÜRÜN	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Genel Biyoloji Anabilim Dalı, MUĞLA
Prof. Dr. Süleyman Savaş DURDURAN	Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü Arazi Yönetimi Anabilim Dalı, KONYA
Prof. Dr. Fahri ERENEL	İstinye Üniversitesi İktisadi, İdari Ve Sosyal Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü İşletme Pr. , İSTANBUL
Prof. Dr. Sinan GERÇEK	Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Arazi ve Su Kaynakları Anabilim Dalı, KAYSERİ
Prof. Dr. Ahmet İRVEM	Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Arazi Ve Su Kaynakları Anabilim Dalı, ANTAKYA
Prof. Dr. Necmi İŞLER	Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Endüstri Bitkileri Anabilim Dalı, ANTAKYA
Prof. Dr. Filiz KARADAŞ	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü Yemler Ve Hayvan Besleme Anabilim Dalı, VAN
Prof. Dr. Ümit KEBAPÇI	Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Zooloji Anabilim Dalı, BURDUR
Prof. Dr. Esin Sipahi KILIÇ	Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi Ve Uzay Bilimleri Bölümü Astrofizik Anabilim Dalı, İZMİR
Prof. Dr. Ali İhsan ÖZTÜRK	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Kimya Bölümü Anorganik Kimya Anabilim Dalı, OSMANİYE
Prof. Dr. İsmail ŞEN	Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi

	Biyomedikal Mühendisliği Bölümü Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, ISPARTA
Prof. Dr. Oğuz TAŞBOZAN	Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü Yetiştiricilik Anabilim Dalı, ADANA
Prof. Dr. Mahmut TOPRAK	Bingöl Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Fizikokimya Anabilim Dalı, BİNGÖL
Prof. Dr. Esra Evrim YALÇINKAYA	Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü Fizikokimya Anabilim Dalı, İZMİR
Prof. Dr. Serdar YURTSEVER	Girne Amerikan Üniversitesi Siyasal Bilimler Fakültesi Siyaset Bilimi Ve Kamu Yönetimi Bölümü Siyaset Bilimi Ve Kamu Yönetimi Pr. , KKTC
Doç. Dr. Berk ANBAROĞLU	Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü Fotogrametri Anabilim Dalı, ANKARA
Doç. Dr. Barış ATEŞ	Milli Savunma Üniversitesi Atatürk Stratejik Araştırmalar Ve Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Savaş Araştırmaları Anabilim Dalı, İSTANBUL
Doç. Dr. Ebru Batı AY	Amasya Üniversitesi Suluova Meslek Yüksekokulu Bitkisel Ve Hayvansal Üretim Bölümü Tıbbi Ve Aromatik Bitkiler Pr. AMASYA
Doç. Dr. Erdal AYDEMİR	Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, ISPARTA
Doç. Dr. Özkan AYDIN	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Temel İş Ve Termodinamik Anabilim Dalı, OSMANİYE
Doç. Dr. Alper ÇİÇEK	Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı, EDİRNE
Doç. Dr. Asuman ARSLAN DURU	Uşak Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü Yemler Ve Hayvan Besleme Anabilim Dalı, UŞAK
Doç. Dr. Merve Şeyda KARAÇİL ERMUMCU	Akdeniz Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme Ve Diyetetik Bölümü Toplum Beslenmesi Anabilim Dalı, ANTALYA
Doç. Dr. İlyas KACAR	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü Makine Ve Tasarım Anabilim Dalı, NİĞDE
Doç. Dr. Çağın KAMIŞCIOĞLU	Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı, ANKARA
Doç. Dr. Aysen ŞİMŞEK KANDEMİR	Kocaeli Üniversitesi Hereke Ömer İsmet Uzunyol Meslek Yüksekokulu Büro Hizmetleri Ve Sekreterlik Bölümü Büro Yönetimi Ve Yönetici Asistanlığı Pr. KOCAELİ
Doç. Dr. Hande KARADENİZ	Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı, GİRESUN
Doç. Dr. Fuat KAYA	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı, NİĞDE
Doç. Dr. Müge KİRMİKİL	Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Arazi Ve Su Kaynakları Anabilim Dalı, BURSA
Doç. Dr. Merve OKUTAN	Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Kimyasal Teknolojiler Anabilim Dalı, ÇORUM
Doç. Dr. Sibel AKÇA ÖZALP	Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Anabilim Dalı, ADANA
Doç. Dr. Özlem PERSİL ÖZKAN	Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme Ve Diyetetik Bölümü Diyetetik Anabilim Dalı, Bandırma-BALIKESİR

Doç. Dr. Nihat PAMUK	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı, ZONGULDAK
Doç. Dr. Behlül SEVİM	Aksaray Üniversitesi Aksaray Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Gıda İşleme Bölümü Süt Ve Ürünleri Teknolojisi Pr., AKSARAY
Doç. Dr. Fatma KÜRÜM VAROLGÜNEŞ	Bingöl Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü Bina Bilgisi Anabilim Dalı, BİNGÖL
Doç. Dr. Sefa YILDIRIM	Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Alanya-ANTALYA
Doç. Dr. Ebru YILMAZ	Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı, ADANA
Doç. Dr. Murat YÜCALAR	Manisa Celâl Bayar Üniversitesi Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi Yazılım Mühendisliği Bölümü Bilgisayar Yazılım Anabilim Dalı, MANİSA
Dr. Öğretim Üyesi Aslı AKILLI	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü Tarım İşletmeciliği Anabilim Dalı, KIRŞEHİR
Dr. Öğretim Üyesi Fatma Hülyam EREN	Doğu Akdeniz Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme Ve Diyetetik Bölümü Beslenme Ve Diyetetik Pr. , KKTC
Dr. Öğretim Üyesi Sezgin ESER	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Makine Teorisi Ve Dinamiği Anabilim Dalı, KARAMAN
Dr. Öğretim Üyesi Dilşad AKGÜMÜŞ GÖK	İstanbul Aydın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Makine Mühendisliği Pr. İSTANBUL
Dr. Öğretim Üyesi Gökçe CAKMAK KAFADAR	Kırklareli Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme Ve Diyetetik Bölümü Beslenme Ve Diyetetik Anabilim Dalı, KIRKLARELİ
Dr. Öğretim Üyesi Gülistan AKKAYA SELÇİN	Bitlis Eren Üniversitesi Organize Sanayi Bölgesi Meslek Yüksekokulu Elektrik Ve Enerji Bölümü/Elektrik Pr. BİTLİS
Dr. Öğretim Üyesi Pırlı TEKİN	Adana Alparslan Türkeş Bilim Ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, ADANA
Dr. Öğretim Üyesi Ceren YAĞCI	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü Kamu Ölçmeleri Anabilim Dalı, OSMANİYE
Öğretim Gör. Ebru KAYA BAŞAR	Akdeniz Üniversitesi Rektörlük, ANTALYA
Öğretim Gör. Ezgi NİZAMOĞLU	Uşak Üniversitesi Mimarlık Ve Tasarım Fakültesi Mimarlık Bölümü Bina Bilgisi Anabilim Dalı, UŞAK
Öğretim Gör. Bahadır Erman YÜCE	Bursa Uludağ Üniversitesi Yenişehir İbrahim Orhan Meslek Yüksekokulu Elektrik Ve Enerji Bölümü İklimlendirme Ve Soğutma Teknolojisi Pr., BURSA



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): 5

CONTENTS (İçindekiler)

RESEARCH ARTICLES (ARAŞTIRMA MAKALELERİ)	Sayfalar
Muhittin ŞAHAN, Hasan KÜÇÜK, Ramazan KAYA Osmaniye’de Güney Yönünde Altı Farklı Eğim Açısında (0°, 30°, 37°, 45°, 60° ve 90°) Fotovoltaik Kolektörler Kullanılarak Toplam Güneş Radyasyonun Ölçülmesi <i>Measurement of Global Solar Radiation Using Photovoltaic Collectors at Six Different Tilt Angles (0°, 30°, 37°, 45°, 60° and 90°) in the South Direction in Osmaniye</i>	1948-1969
Rağbet Ezgi DURAN In Vitro Callus Culture of <i>Salvia officinalis</i> L. and the Effect of Some Amino Acids on Rosmarinic Acid Accumulation <i>Salvia officinalis L.’in İn Vitro Kallus Kültürü ve Bazı Amino Asitlerin Rosmarinik Asit Birikimi Üzerine Etkisi</i>	1970-1981
Elife BÜYÜKÖZTÜRK Mimari Bağlamda Kullanıcı Odaklı Tasarım <i>User-Oriented Design in the Architectural Context</i>	1982-1998
Ahmet ALKAYA, Hülya ŞEREFLİŞAN A Study on Age Determination and Life Cycle of <i>Pelophylax ridibundus</i> (Pallas, 1771) by Skeletochronology Method <i>Pelophylax ridibundus’un (Pallas, 1771) İskeletkronoloji Yöntemiyle Yaş Tespiti ve Yaşam Döngüsü Üzerine Bir Araştırma</i>	1999-2009
Efdal KAYA Shiny Kütüphanesi ile Açık Kaynak Kodlu WEB Tabanlı CBS Uygulaması Geliştirme <i>Developing Open-Source WEB Based GIS Application with Shiny Library</i>	2010-2025
Yunus SAYAN, Jung-Sık KİM, Houzheng WU Düzlemsel Elektrolit Destekli Tek Odacıklı Katı Oksit Yakıt Pilinin Tek Aşamalı Ortak Sinterleme Yöntemiyle Üretimi ve Elektriksel Performansına Etkisi <i>Production of Planar Electrolyte Supported Single Chamber Solid Oxide Fuel Cell by Single Step Co-Sintering Method and Its Effect on Electrical Performance</i>	2026-2052
Gamze BOZKURT Examination of the Electrochemical Behavior of Ru Nanoparticles Prepared on MgO <i>MgO Üstüne Hazırlanan Ru Nanopartiküllerin Elektrokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi</i>	2053-2064
Sema DEMİRCİ UZUN, Aytuğ ONAN, Vahide BULUT Tuzlu Suda Metan Hidrat Oluşum Koşullarının Tahmini için Regresyon Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi <i>Comparative Analysis of Regression Algorithms for Prediction of Methane Hydrate Formation Conditions in Salt Water</i>	2065-2083

<p>Onur YEMENİCİ Dikdörtgen Kanatlı Yüzeyler Üzerindeki Isı Transfer Karakteristiklerinin Taguchi Yöntemiyle Deneysel Olarak İncelenmesi <i>Experimental Investigation of Heat Transfer Characteristics over Rectangular Fin Surfaces by Taguchi Method</i></p>	2084-2093
<p>M. Kürşat YALÇIN Açısal Momentum Kontrolü İçin Rijit Dinamik Simülasyon Kullanılarak Mekanik Bir Jiroskop Volanının Tasarımı <i>Design of a Flywheel of a Mechanical Gyroscope Using Rigid Dynamic Simulation for Angular Momentum Control</i></p>	2094-2113
<p>Hediye KIRLI AKIN E-Atık Geri Dönüşümü: Bibliyometrik Analiz ve VOSviewer ile Haritalama <i>E-Waste Recycling: Bibliometric Analysis and Mapping with VOSviewer</i></p>	2114-2125
<p>Turgut Muhammet ÇALIŞKANLAR, Serhat ÇAKIR Kamu İçin Teknoloji Tahmin ve Öngörüsü Hakkında Yeni Bir Model Tasarımı: Kamu Politikaları İçin Savunma Sanayii Teknoloji Öngörüsü Modeli <i>Design of a New Model on Technology Forecast and Foresight for the Public: Defense Industry Technology Foresight Model for the Public Policies</i></p>	2126-2138
<p>Oğuz DOĞAN, Celalettin YÜCE, Fatih KARPAT A Novel Method for Tooth Bending Stress Calculation of Gears with Asymmetric Teeth <i>Asimetrik Dişlilerde Diş Dibi Gerilmelerinin Hesaplanması için Yeni Bir Yöntem</i></p>	2139-2157
<p>Eda PARLAK, Helin KIRŞAN Elit Basketbolcularda Akdeniz Diyeti Uyum Ölçeği ile Uyku Kalitesi Arasındaki İlişkinin İncelenmesi <i>Investigation of the Relationship Between Mediterranean Diet Adherence Screener and Sleep Quality Status in Elite Basketball Players</i></p>	2158-2172
<p>Ahmet Engin TÜZÜN, Esra Tuğçe GÜL, Osman OLGUN, Alpönder YILDIZ Rasyona Domates (<i>Solanum lycopersicum</i>) Tozu İlavesinin Bildircinlarda Yumurta Verimi, Yumurta Kalitesi ve Yumurta Sarısı Rengi Üzerine Etkisi <i>Effect of Addition of Tomato (<i>Solanum lycopersicum</i>) Powder to the Diet on Egg Production, Egg Quality and Yolk Color in Quails</i></p>	2173-2180
<p>Lutfi NOHUTCU, Murat TUNCTURK, Ruveyde TUNCTURK, Ezelhan SELEM Investigation of Nutrient Element Content, Physicochemical and Biochemical Properties of Evening Primrose (<i>Oenothera biennis</i> L.) <i>Ezan Çiçeğinin (<i>Oenothera biennis</i> L.) Besin Elementi İçeriği, Fizikokimyasal ve Biyokimyasal Özelliklerinin Araştırılması</i></p>	2181-2189
<p>Ali Kaan YETİK, Zeynep ÜNAL Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ile Sulama Sistemi Seçimi: Niğde İli Örneği <i>Irrigation System Selection Using Analytical Hierarchy Process (AHP): The Case Study of Niğde</i></p>	2190-2204
<p>Eda ALICI FCC-μp 'da Foton-Foton Etkileşmesi ile Anormal Çeşni Değiştiren Nötr Akımların tγ Geçişleri Üzerine Bir Çalışma <i>A Study on Flavor Changing Neutral Current tγ Transitions via Photon-Photon Interactions at the FCC-μp</i></p>	2205-2216
<p>Burak ESENBOĞA Comparative Performance Analysis of PMSGs Using Various Core Materials for Wind Turbine Application <i>Rüzgâr Türbini Uygulaması İçin Çeşitli Çekirdek Malzemelerin Kullanıldığı PMSG'lerin Karşılaştırmalı Performans Analizi</i></p>	2217-2231
<p>Nilay KÖLEOĞLU, Şenol ÇELİK Regresyon Modeli Kullanılarak Aracı Değişken Analizi: Tarım Verilerinde Uygulaması <i>Mediating Variable Analysis Using Regression Model: Application to Agricultural Data</i></p>	2232-2243
<p>Filiz ARICAK, Evren ÇAĞLARER Bir Fabrika Mutfağı Örneği: Kapsamlı Risk Analizi ve İyileştirme Önerileri <i>An Example of A Factory Kitchen: Comprehensive Risk Analysis and Improvement Suggestions</i></p>	2244-2262

Taner Mustafa CENGİZ Orta Karadeniz Bölgesi Yağış Değişimlerinin İstatistiksel ve Grafikselsel Yaklaşımlarla Analizi <i>Analysis of Precipitation Changes in the Central Black Sea Region with Statistical and Graphical</i>	2263-2283
Ömer Faruk BOZKIR, Ataberk URFALI, Azer CELIKTEN, Semih DEMIREL, Abdulkadir BUDAK, Hakan KARATAS, Murat CEYLAN Enhancing Aorta Segmentation in Contrast CT Images: A Novel Deep Architectural Approach <i>Aort Segmentasyonunu Kontrastlı Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinde Geliştirme: Yenilikçi Derin Mimari Yaklaşımı</i>	2284-2303
Ahmet Şahin ADANALI, Ali AYBEK, Hamza KUZU Kahramanmaraş İlinde Yumurta Tavukçuluğu Yapan İşletmelerde Karşılaşılan Sorunların Belirlenmesi <i>Identification of Encountered Problems of Egg Poultry Enterprises in Kahramanmaraş Province</i>	2304-2314
Gökhan ADIGÜZELLİ, Etem OSMA, Tuğçe VAROL, Samed ŞİMŞEK, Ali KANDEMİR Erzincan İli-Ergan Dağı'nın Farklı Rakımlarında Yayılış Gösteren Bazı Taksonların Antioksidan Kapasiteleri <i>Antioxidant Capacities of Some Taxa Distributed at Different Altitudes of Erzincan Province-Ergan Mountain</i>	2315-2332
Nuriye KERTMEN, İsmail TİYEK Investigation of the Effect of Addition of Different Boron Compounds on Thermal Properties of Polyacrylonitrile-co-Vinyl Acetate Fibers Produced by Wet Spinning Method <i>Farklı Bor Bileşikleri Katkısının Yaş Çekim Yöntemiyle Üretilen Poliakrilonitril-ko-Vinil Asetat Liflerinin Termal Özelliklerine Etkisinin Araştırılması</i>	2333-2345
Tanay KARADEMİR Farklı Geomembran Astarlarının 2B Yüzey Topografyası Değişimleri: Danecik Şekli, Bağlı Yoğunluk ve Yükleme Perspektifleri <i>2D Surface Topography Alterations of Different Geomembrane Liners: Grain Shape, Relative Density and Loading Perspectives</i>	2346-2363
Mehmet DOKGÖZ, Bahri Devrim ÖZCAN Relationship of Calpastatin Gene Polymorphism with Growth Traits in Some Locally Reared Awassi and Akkaraman Sheep Breeds <i>Halk Elinde Yetiştirilen Bazı İvesi ve Akkaraman Koyun Irklarında Calpastatin Gen Polimorfizminin Büyüme Özellikleri ile İlişkisi</i>	2364-2373
Naime Filiz KARADAŞ, Köksal KARADAŞ, Hakan DUMAN Adıyaman ve Iğdır İllerinde Tüketicilerin Su Ürünleri Tüketim Tercihlerinin Belirlenmesi <i>Determination of Consumers' Fisheries Consumption Preferences in Adıyaman and Iğdır Provinces</i>	2374-2392
REVIEWS	
Çiğdem KÜÇÜK Rizobakterilerin Potansiyel Antimikrobiyalleri: Bakteriyosinler <i>Potential Antimicrobials of Rhizobacteria: Bacteriocins</i>	2393-2404



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): 5

Dergi Sahibi/Owner

Prof. Dr. Turgay UZUN
Rektör

Sorumlu Müdür/Director

Prof. Dr. Eyyup TEL
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

Baş Editör/Editor in Chief

Prof. Dr. Tugay AYAŞAN

Yardımcı Editorler/Associate Editors

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



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

Alan Editörleri Konu Editörleri Subject Editors

Prof. Dr. Ertaç HÜRDOĞAN	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	ehurdogan@osmaniye.edu.tr
Doç. Dr. Jülide ÖNER	Uşak Üniversitesi, UŞAK	julide.oner@usak.edu.tr
Doç. Dr. Özge ÖZTEKİN	Gaziantep Üniversitesi, GAZİANTEP	ozgedzo@gmail.com
Doç. Dr. Şeyda ŞAHİN	Cumhuriyet Üniversitesi, SİVAS	seydasahin@cumhuriyet.edu.tr
Doç. Dr. Nermin MERVE YALÇINKAYA	Çukurova Üniversitesi, ADANA	nbaykan@cu.edu.tr
Doç. Dr. Sadrettin YÜKSEL	Atatürk Üniversitesi, ERZURUM	sadrettin71@hotmail.com
Dr. Öğretim Üyesi Mansur Seymen SEĞMENOĞLU	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	mansurseymen@gmail.com

Dil Editörleri Language Editors

Doç. Dr. Kushvar MAMEDOVA	Azerbaijan State Agricultural University, AZERBAIJAN	kgmammadova@gmail.com
Dr. Öğretim Üyesi Fatih ÜNAL BOZDAĞ	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	fatihbozdog@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Pırl TEKİN	Adana Alpaslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, ADANA	ptekin@atu.edu.tr

Yazım Editörleri Spelling Editors

Doç. Dr. Buse EMİRLER	Çukurova Üniversitesi, ADANA	bemirler@cu.edu.tr
Doç. Dr. Demet ÖZKIR	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, NİĞDE	dozkir@ohu.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Dilek ŞENTÜRK DEMİREL	Dicle Üniversitesi, DİYARBAKIR	senturk@dicle.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Oğuzhan DER	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi, BANDIRMA	oder@bandirma.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Merve GÖRE	Ege Üniversitesi Ödemiş Meslek Yüksekokulu, İZMİR	merve.gore@ege.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Nursel ÇÖL KESKİN	Selçuk Üniversitesi, KONYA	nurselcol@selcuk.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Şimal KÜRÜMOĞLU	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, TEKİRDAĞ	skurumoglu@nku.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Emre YILDIRIM	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	emreyildirim@osmaniye.edu.tr

İstatistik Editörleri Statistics Editors

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

Mizanpaj Editörleri Layout Editors

Prof. Dr. Özen ÖZER	Kırklareli Üniversitesi, KIRKLARELİ	ozenozer@klu.edu.tr
Doç. Dr. Özlem KARADAĞOĞLU	Kafkas Üniversitesi, KARS	drozlemkaya@hotmail.com
Doç. Dr. Nehir TOKGÖZ	Sakarya Üniversitesi, SAKARYA	nehirtokgoz@sakarya.edu.tr
Doç. Dr. Hatice TÜRK TEN	Ondokuz Mayıs Üniversitesi, SAMSUN	hatice.turkten@omu.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Benian Pınar AKTEPE	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	benianaktepe@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim 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	ezeynepsensoy@osmaniye.edu.tr
Öğretim Görevlisi Rabia ACEMİOĞLU	İğdır Üniversitesi, İĞDIR	rabia.acemioglu@igdir.edu.tr

*Mizanpaj editörleri, çıkan sayılara göre değişiklik gösterebilecektir.

Son Okuyucu Editörleri Final Reader Editors

Doç. Dr. Burcu TAYLAN	Ege Üniversitesi, İZMİR	burcu.taylan@ege.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Özlem VAROL AVCILAR	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	ovarolavcilar@osmaniye.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Orhan ERMETİN	Yozgat Bozok Üniversitesi, YOZGAT	orhan.ermetin@yobu.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Valiollah PALANGI	Ege Üniversitesi, İZMİR	valiollah.palangi@ege.edu.tr
Dr. Öğretim Üyesi Cavidan GÜL VARİŞ	Adıyaman Üniversitesi, ADIYAMAN	cgul@adiyaman.edu.tr
Dr. Ar. Gör. Kadriye KURŞUN	Çukurova Üniversitesi, ADANA	kadriyehatipoglu01@gmail.com
Ar. Gör. Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	emriyecinar@osmaniye.edu.tr
Öğretim Gör. Tuba SAYGILI YILDIRIM	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	tubasaygilyildirim@osmaniye.edu.tr

*Birden fazla rolü olan editörler, tek bir kısımda yazılmıştır



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

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

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

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

Dergi İçin Yazışma Adresi /Correspondence Address

Prof. Dr. Tugay AYASAN (Editor in Chief)

Osmaniye Korkut Ata University, Osmaniye-TÜRKİYE

e-mail: tugayayasan@osmaniye.edu.tr

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



The referees list (Hakem listesi)

Year 2024, Volume 7, Issue 5 list of referees is given below.
(2024 yılı, Cilt 7, Sayı 5'deki hakemlerin listesi aşağıda verilmiştir).

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

HAKEMLER	KURUM
Prof. Dr. İbrahim ATMACA	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı, ANTALYA
Prof. Dr. Mustafa Tolga BALTA	Uşak Üniversitesi/Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi/Makine Mühendisliği Bölümü/Termodinamik Anabilim Dalı/
Prof. Dr. Melahat BAYAR	Kocaeli Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Anabilim Dalı, KOCAELİ
Prof. Dr. Mehmet BİLGİLİ	Çukurova Üniversitesi Ceyhan Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim Dalı, ADANA
Prof. Dr. Betül BÜRÜN	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Genel Biyoloji Anabilim Dalı, MUĞLA
Prof. Dr. Süleyman Savaş DURDURAN	Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü Arazi Yönetimi Anabilim Dalı, KONYA
Prof. Dr. Fahri ERENEL	İstinye Üniversitesi İktisadi, İdari Ve Sosyal Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü İşletme Pr. , İSTANBUL
Prof. Dr. Sinan GERÇEK	Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Arazi ve Su Kaynakları Anabilim Dalı, KAYSERİ
Prof. Dr. Ahmet İRVEM	Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Arazi Ve Su Kaynakları Anabilim Dalı, ANTAKYA
Prof. Dr. Necmi İŞLER	Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Endüstri Bitkileri Anabilim Dalı, ANTAKYA
Prof. Dr. Filiz KARADAŞ	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü Yemler Ve Hayvan Besleme Anabilim Dalı, VAN
Prof. Dr. Ümit KEBAPÇI	Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Zooloji Anabilim Dalı, BURDUR
Prof. Dr. Esin Sipahi KILIÇ	Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi Ve Uzay Bilimleri Bölümü Astrofizik Anabilim Dalı, İZMİR
Prof. Dr. Ali İhsan ÖZTÜRK	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Kimya Bölümü Anorganik Kimya Anabilim Dalı, OSMANİYE
Prof. Dr. İsmail ŞEN	Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi

	Biyomedikal Mühendisliği Bölümü Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, ISPARTA
Prof. Dr. Oğuz TAŞBOZAN	Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü Yetiştiricilik Anabilim Dalı, ADANA
Prof. Dr. Mahmut TOPRAK	Bingöl Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Fizikokimya Anabilim Dalı, BİNGÖL
Prof. Dr. Esra Evrim YALÇINKAYA	Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü Fizikokimya Anabilim Dalı, İZMİR
Prof. Dr. Serdar YURTSEVER	Girne Amerikan Üniversitesi Siyasal Bilimler Fakültesi Siyaset Bilimi Ve Kamu Yönetimi Bölümü Siyaset Bilimi Ve Kamu Yönetimi Pr. , KKTC
Doç. Dr. Berk ANBAROĞLU	Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü Fotogrametri Anabilim Dalı, ANKARA
Doç. Dr. Barış ATEŞ	Milli Savunma Üniversitesi Atatürk Stratejik Araştırmalar Ve Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Savaş Araştırmaları Anabilim Dalı, İSTANBUL
Doç. Dr. Ebru Batı AY	Amasya Üniversitesi Suluova Meslek Yüksekokulu Bitkisel Ve Hayvansal Üretim Bölümü Tıbbi Ve Aromatik Bitkiler Pr. AMASYA
Doç. Dr. Erdal AYDEMİR	Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, ISPARTA
Doç. Dr. Özkan AYDIN	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Temel İş Ve Termodinamik Anabilim Dalı, OSMANİYE
Doç. Dr. Alper ÇİÇEK	Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı, EDİRNE
Doç. Dr. Asuman ARSLAN DURU	Uşak Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü Yemler Ve Hayvan Besleme Anabilim Dalı, UŞAK
Doç. Dr. Merve Şeyda KARAÇİL ERMUMCU	Akdeniz Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme Ve Diyetetik Bölümü Toplum Beslenmesi Anabilim Dalı, ANTALYA
Doç. Dr. İlyas KACAR	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü Makine Ve Tasarım Anabilim Dalı, NİĞDE
Doç. Dr. Çağın KAMIŞCIOĞLU	Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fizik Mühendisliği Bölümü Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı, ANKARA
Doç. Dr. Aysen ŞİMŞEK KANDEMİR	Kocaeli Üniversitesi Hereke Ömer İsmet Uzunyol Meslek Yüksekokulu Büro Hizmetleri Ve Sekreterlik Bölümü Büro Yönetimi Ve Yönetici Asistanlığı Pr. KOCAELİ
Doç. Dr. Hande KARADENİZ	Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı, GİRESUN
Doç. Dr. Fuat KAYA	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı, NİĞDE
Doç. Dr. Müge KİRMİKİL	Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Arazi Ve Su Kaynakları Anabilim Dalı, BURSA
Doç. Dr. Merve OKUTAN	Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Kimyasal Teknolojiler Anabilim Dalı, ÇORUM
Doç. Dr. Sibel AKÇA ÖZALP	Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Nükleer Fizik Anabilim Dalı, ADANA
Doç. Dr. Özlem PERSİL ÖZKAN	Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme Ve Diyetetik Bölümü Diyetetik Anabilim Dalı, BANDIRMA-BALIKESİR

Doç. Dr. Nihat PAMUK	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı, ZONGULDAK
Doç. Dr. Behlül SEVİM	Aksaray Üniversitesi Aksaray Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Gıda İşleme Bölümü Süt Ve Ürünleri Teknolojisi Pr., AKSARAY
Doç. Dr. Fatma KÜRÜM VAROLGÜNEŞ	Bingöl Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü Bina Bilgisi Anabilim Dalı, BİNGÖL
Doç. Dr. Sefa YILDIRIM	Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Alanya-ANTALYA
Doç. Dr. Ebru YILMAZ	Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı, ADANA
Doç. Dr. Murat YÜCALAR	Manisa Celâl Bayar Üniversitesi Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi Yazılım Mühendisliği Bölümü Bilgisayar Yazılım Anabilim Dalı, MANİSA
Dr. Öğretim Üyesi Aslı AKILLI	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü Tarım İşletmeciliği Anabilim Dalı, KIRŞEHİR
Dr. Öğretim Üyesi Fatma Hülyam EREN	Doğu Akdeniz Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme Ve Diyetetik Bölümü Beslenme Ve Diyetetik Pr. , KKTC
Dr. Öğretim Üyesi Sezgin ESER	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Makine Teorisi Ve Dinamiği Anabilim Dalı, KARAMAN
Dr. Öğretim Üyesi Dilşad AKGÜMÜŞ GÖK	İstanbul Aydın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Makine Mühendisliği Pr. İSTANBUL
Dr. Öğretim Üyesi Gökçe CAKMAK KAFADAR	Kırklareli Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme Ve Diyetetik Bölümü Beslenme Ve Diyetetik Anabilim Dalı, KIRKLARELİ
Dr. Öğretim Üyesi Gülistan AKKAYA SELÇİN	Bitlis Eren Üniversitesi Organize Sanayi Bölgesi Meslek Yüksekokulu Elektrik Ve Enerji Bölümü/Elektrik Pr. BİTLİS
Dr. Öğretim Üyesi Pırlı TEKİN	Adana Alparslan Türkeş Bilim Ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, ADANA
Dr. Öğretim Üyesi Ceren YAĞCI	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü Kamu Ölçmeleri Anabilim Dalı, OSMANİYE
Öğretim Gör. Ebru KAYA BAŞAR	Akdeniz Üniversitesi Rektörlük, ANTALYA
Öğretim Gör. Ezgi NİZAMOĞLU	Uşak Üniversitesi Mimarlık Ve Tasarım Fakültesi Mimarlık Bölümü Bina Bilgisi Anabilim Dalı, UŞAK
Öğretim Gör. Bahadır Erman YÜCE	Bursa Uludağ Üniversitesi Yenişehir İbrahim Orhan Meslek Yüksekokulu Elektrik Ve Enerji Bölümü İklimlendirme Ve Soğutma Teknolojisi Pr., BURSA



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): 5

CONTENTS (İçindekiler)

RESEARCH ARTICLES (ARAŞTIRMA MAKALELERİ)	Sayfalar
Muhittin ŞAHAN, Hasan KÜÇÜK, Ramazan KAYA Osmaniye’de Güney Yönünde Altı Farklı Eğim Açısında (0°, 30°, 37°, 45°, 60° ve 90°) Fotovoltaik Kolektörler Kullanılarak Toplam Güneş Radyasyonunun Ölçülmesi <i>Measurement of Global Solar Radiation Using Photovoltaic Collectors at Six Different Tilt Angles (0°, 30°, 37°, 45°, 60° and 90°) in the South Direction in Osmaniye</i>	1948-1969
Rağbet Ezgi DURAN In Vitro Callus Culture of <i>Salvia officinalis</i> L. and the Effect of Some Amino Acids on Rosmarinic Acid Accumulation <i>Salvia officinalis L.’in İn Vitro Kallus Kültürü ve Bazı Amino Asitlerin Rosmarinik Asit Birikimi Üzerine Etkisi</i>	1970-1981
Elife BÜYÜKÖZTÜRK Mimari Bağlamda Kullanıcı Odaklı Tasarım <i>User-Oriented Design in the Architectural Context</i>	1982-1998
Ahmet ALKAYA, Hülya ŞEREFLİŞAN A Study on Age Determination and Life Cycle of <i>Pelophylax ridibundus</i> (Pallas, 1771) by Skeletochronology Method <i>Pelophylax ridibundus’un (Pallas, 1771) İskeletkronoloji Yöntemiyle Yaş Tespiti ve Yaşam Döngüsü Üzerine Bir Araştırma</i>	1999-2009
Efdal KAYA Shiny Kütüphanesi ile Açık Kaynak Kodlu WEB Tabanlı CBS Uygulaması Geliştirme <i>Developing Open-Source WEB Based GIS Application with Shiny Library</i>	2010-2025
Yunus SAYAN, Jung-Sık KİM, Houzheng WU Düzlemsel Elektrolit Destekli Tek Odacıklı Katı Oksit Yakıt Pilinin Tek Aşamalı Ortak Sinterleme Yöntemiyle Üretimi ve Elektriksel Performansına Etkisi <i>Production of Planar Electrolyte Supported Single Chamber Solid Oxide Fuel Cell by Single Step Co-Sintering Method and Its Effect on Electrical Performance</i>	2026-2052
Gamze BOZKURT Examination of the Electrochemical Behavior of Ru Nanoparticles Prepared on MgO <i>MgO Üstüne Hazırlanan Ru Nanopartiküllerin Elektrokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi</i>	2053-2064
Sema DEMİRCİ UZUN, Aytuğ ONAN, Vahide BULUT Tuzlu Suda Metan Hidrat Oluşum Koşullarının Tahmini için Regresyon Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi <i>Comparative Analysis of Regression Algorithms for Prediction of Methane Hydrate Formation Conditions in Salt Water</i>	2065-2083

<p>Onur YEMENİCİ Dikdörtgen Kanatlı Yüzeyler Üzerindeki Isı Transfer Karakteristiklerinin Taguchi Yöntemiyle Deneysel Olarak İncelenmesi <i>Experimental Investigation of Heat Transfer Characteristics over Rectangular Fin Surfaces by Taguchi Method</i></p>	2084-2093
<p>M. Kürşat YALÇIN Açısal Momentum Kontrolü İçin Rijit Dinamik Simülasyon Kullanılarak Mekanik Bir Jiroskop Volanının Tasarımı <i>Design of a Flywheel of a Mechanical Gyroscope Using Rigid Dynamic Simulation for Angular Momentum Control</i></p>	2094-2113
<p>Hediye KIRLI AKIN E-Atık Geri Dönüşümü: Bibliyometrik Analiz ve VOSviewer ile Haritalama <i>E-Waste Recycling: Bibliometric Analysis and Mapping with VOSviewer</i></p>	2114-2125
<p>Turgut Muhammet ÇALIŞKANLAR, Serhat ÇAKIR Kamu İçin Teknoloji Tahmin ve Öngörüsü Hakkında Yeni Bir Model Tasarımı: Kamu Politikaları İçin Savunma Sanayii Teknoloji Öngörüsü Modeli <i>Design of a New Model on Technology Forecast and Foresight for the Public: Defense Industry Technology Foresight Model for the Public Policies</i></p>	2126-2138
<p>Oğuz DOĞAN, Celalettin YÜCE, Fatih KARPAT A Novel Method for Tooth Bending Stress Calculation of Gears with Asymmetric Teeth <i>Asimetrik Dişlilerde Diş Dibi Gerilmelerinin Hesaplanması için Yeni Bir Yöntem</i></p>	2139-2157
<p>Eda PARLAK, Helin KIRŞAN Elit Basketbolcularda Akdeniz Diyeti Uyum Ölçeği ile Uyku Kalitesi Arasındaki İlişkinin İncelenmesi <i>Investigation of the Relationship Between Mediterranean Diet Adherence Screener and Sleep Quality Status in Elite Basketball Players</i></p>	2158-2172
<p>Ahmet Engin TÜZÜN, Esra Tuğçe GÜL, Osman OLGUN, Alpönder YILDIZ Rasyona Domates (<i>Solanum lycopersicum</i>) Tozu İlavesinin Bildircinlerde Yumurta Verimi, Yumurta Kalitesi ve Yumurta Sarısı Rengi Üzerine Etkisi <i>Effect of Addition of Tomato (<i>Solanum lycopersicum</i>) Powder to the Diet on Egg Production, Egg Quality and Yolk Color in Quails</i></p>	2173-2180
<p>Lutfi NOHUTCU, Murat TUNCTURK, Ruveyde TUNCTURK, Ezelhan SELEM Investigation of Nutrient Element Content, Physicochemical and Biochemical Properties of Evening Primrose (<i>Oenothera biennis</i> L.) <i>Ezan Çiçeğinin (<i>Oenothera biennis</i> L.) Besin Elementi İçeriği, Fizikokimyasal ve Biyokimyasal Özelliklerinin Araştırılması</i></p>	2181-2189
<p>Ali Kaan YETİK, Zeynep ÜNAL Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ile Sulama Sistemi Seçimi: Niğde İli Örneği <i>Irrigation System Selection Using Analytical Hierarchy Process (AHP): The Case Study of Niğde</i></p>	2190-2204
<p>Eda ALICI FCC-μp 'da Foton-Foton Etkileşmesi ile Anormal Çeşni Değiştiren Nötr Akımların tγ Geçişleri Üzerine Bir Çalışma <i>A Study on Flavor Changing Neutral Current tγ Transitions via Photon-Photon Interactions at the FCC-μp</i></p>	2205-2216
<p>Burak ESENBOĞA Comparative Performance Analysis of PMSGs Using Various Core Materials for Wind Turbine Application <i>Rüzgâr Türbini Uygulaması İçin Çeşitli Çekirdek Malzemelerin Kullanıldığı PMSG'lerin Karşılaştırmalı Performans Analizi</i></p>	2217-2231
<p>Nilay KÖLEOĞLU, Şenol ÇELİK Regresyon Modeli Kullanılarak Aracı Değişken Analizi: Tarım Verilerinde Uygulaması <i>Mediating Variable Analysis Using Regression Model: Application to Agricultural Data</i></p>	2232-2243
<p>Filiz ARICAK, Evren ÇAĞLARER Bir Fabrika Mutfağı Örneği: Kapsamlı Risk Analizi ve İyileştirme Önerileri <i>An Example of A Factory Kitchen: Comprehensive Risk Analysis and Improvement Suggestions</i></p>	2244-2262

Taner Mustafa CENGİZ Orta Karadeniz Bölgesi Yağış Değişimlerinin İstatistiksel ve Grafikselsel Yaklaşımlarla Analizi <i>Analysis of Precipitation Changes in the Central Black Sea Region with Statistical and Graphical</i>	2263-2283
Ömer Faruk BOZKIR, Ataberk URFALI, Azer CELIKTEN, Semih DEMIREL, Abdulkadir BUDAK, Hakan KARATAS, Murat CEYLAN Enhancing Aorta Segmentation in Contrast CT Images: A Novel Deep Architectural Approach <i>Aort Segmentasyonunu Kontrastlı Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinde Geliştirme: Yenilikçi Derin Mimari Yaklaşımı</i>	2284-2303
Ahmet Şahin ADANALI, Ali AYBEK, Hamza KUZU Kahramanmaraş İlinde Yumurta Tavukçuluğu Yapan İşletmelerde Karşılaşılan Sorunların Belirlenmesi <i>Identification of Encountered Problems of Egg Poultry Enterprises in Kahramanmaraş Province</i>	2304-2314
Gökhan ADIGÜZELLİ, Etem OSMA, Tuğçe VAROL, Samed ŞİMŞEK, Ali KANDEMİR Erzincan İli-Ergan Dağı'nın Farklı Rakımlarında Yayılış Gösteren Bazı Taksonların Antioksidan Kapasiteleri <i>Antioxidant Capacities of Some Taxa Distributed at Different Altitudes of Erzincan Province-Ergan Mountain</i>	2315-2332
Nuriye KERTMEN, İsmail TİYEK Investigation of the Effect of Addition of Different Boron Compounds on Thermal Properties of Polyacrylonitrile-co-Vinyl Acetate Fibers Produced by Wet Spinning Method <i>Farklı Bor Bileşikleri Katkısının Yaş Çekim Yöntemiyle Üretilen Poliakrilonitril-ko-Vinil Asetat Liflerinin Termal Özelliklerine Etkisinin Araştırılması</i>	2333-2345
Tanay KARADEMİR Farklı Geomembran Astarlarının 2B Yüzey Topografyası Değişimleri: Danecik Şekli, Bağlı Yoğunluk ve Yükleme Perspektifleri <i>2D Surface Topography Alterations of Different Geomembrane Liners: Grain Shape, Relative Density and Loading Perspectives</i>	2346-2363
Mehmet DOKGÖZ, Bahri Devrim ÖZCAN Relationship of Calpastatin Gene Polymorphism with Growth Traits in Some Locally Reared Awassi and Akkaraman Sheep Breeds <i>Halk Elinde Yetiştirilen Bazı İvesi ve Akkaraman Koyun Irklarında Calpastatin Gen Polimorfizminin Büyüme Özellikleri ile İlişkisi</i>	2364-2373
Naime Filiz KARADAŞ, Köksal KARADAŞ, Hakan DUMAN Adıyaman ve Iğdır İllerinde Tüketicilerin Su Ürünleri Tüketim Tercihlerinin Belirlenmesi <i>Determination of Consumers' Fisheries Consumption Preferences in Adıyaman and Iğdır Provinces</i>	2374-2392
REVIEWS	
Çiğdem KÜÇÜK Rizobakterilerin Potansiyel Antimikrobiyalleri: Bakteriyosinler <i>Potential Antimicrobials of Rhizobacteria: Bacteriocins</i>	2393-2404

Osmaniye’de Güney Yönünde Altı Farklı Eğim Açısında (0°, 30°, 37°, 45°, 60° ve 90°) Fotovoltaik Kolektörler Kullanılarak Toplam Güneş Radyasyonun Ölçülmesi

Muhittin ŞAHAN^{1*}, Hasan KÜÇÜK², Ramazan KAYA³

^{1,2,3}Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Fizik Bölümü, Osmaniye, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0001-6716-8463>

²<https://orcid.org/0000-0003-3150-8037>

³<https://orcid.org/0000-0003-3150-8037>

*Sorumlu yazar: muhittinsahan@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 21.02.2024

Kabul tarihi: 22.04.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Toplam güneş radyasyonu

Güneş enerjisi

Güneş kolektörü

Eğim açısı

Yüzey yönelimi

ÖZ

Bu çalışma, Eylül 2022 - Ağustos 2023 döneminde Osmaniye’de (37°.04 D, 36°.22 K) ölçülen güneş radyasyon verilerinin bir incelemesini sunmaktadır. Ölçümler, beşi güneşe ($\beta=30^\circ$, 37° , 45° , 60° ve 90°) ve biri başucu doğrultusuna ($\beta=0^\circ$) doğru yönlendirilmiş toplam altı farklı fotovoltaik (PV) güneş pili sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dakikalık olarak volt biriminde ölçülen veriler W/m^2 biriminde saatlik, günlük, aylık, mevsimlik ve yıllık olarak analiz edilmiştir. $\beta=0^\circ$, 30° , 37° , 45° , 60° ve 90° yönlerinde ölçülen günlük toplam güneş ışınımının aylık ortalamaları sırasıyla $327.92 W/m^2$, $400.05 W/m^2$, $406.20 W/m^2$, $401.37 W/m^2$, $374.80 W/m^2$ ve $279.37 W/m^2$ olarak belirlenmiştir. Tüm yönlerde ($\beta=0^\circ$, 30° , 37° , 45° , 60° ve 90°) ölçülen yıllık ortalama güneş enerjisi sırasıyla $310.99 W/m^2$, $355.93 W/m^2$, $359.23 W/m^2$, $351.60 W/m^2$, $317.57 W/m^2$ ve $221.99 W/m^2$ olduğunu görülmüştür. Günlük, aylık ve yıllık değişimleri incelendiğinde, Osmaniye’nin enlem açısına ($37^\circ.04$) yakın olan $\beta=30^\circ$, 37° ve 45° yönlerindeki FV güneş panellerinden daha yüksek güneş enerjisinin elde edildiği görülmektedir. Sonuçlar, “ $\beta=37^\circ$ ” yönünde ölçülen ortalama güneş radyasyonunun, $\beta=30^\circ$, 45° , 60° , 0° ve 90° yönlerinde ölçülenlerden sırasıyla %0.93, %2.17, %13.12, %15.51 ve %61.82 daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu çalışmanın eğimli yüzeylerde kullanılacak olan FV güneş panellerinin tasarlanması ve kurulumu için yardımcı olacağını düşünmekteyiz.

Measurement of Global Solar Radiation Using Photovoltaic Collectors at Six Different Tilt Angles (0°, 30°, 37°, 45°, 60° and 90°) in the South Direction in Osmaniye

Research Article

Article History:

Received: 21.02.2024

Accepted: 22.04.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

Global solar radiation

Solar energy

Solar collector

Tilt angle

Surface orientation

ABSTRACT

This paper presents a study of the solar radiation data measured in Osmaniye ($37^\circ.04 E$, $36^\circ.22 N$) during September 2022 - August 2023. Measurements were carried out using total six different solar Photovoltaic (PV) systems, which five oriented towards the south ($\beta=30^\circ$, 37° , 45° , 60° and 90°) and one towards the zenith direction ($\beta=0^\circ$). Data measured in volts per minute were analyzed hourly, daily, monthly, seasonally and annually in W/m^2 . The monthly averages of daily total solar radiation measured at $\beta=0^\circ$, 30° , 37° , 45° , 60° and 90° directions were determined to be $327.92 W/m^2$, $400.05 W/m^2$, $406.20 W/m^2$, $401.37 W/m^2$, $374.80 W/m^2$ and $279.37 W/m^2$, respectively. The average annual solar energy measured in all directions ($\beta=0^\circ$, 30° , 37° , 45° , 60° and 90°) was $310.99 W/m^2$, $355.93 W/m^2$, $359.23 W/m^2$, $351.60 W/m^2$, $317.57 W/m^2$, and $221.99 W/m^2$, respectively. When the daily, monthly and annual variations are

examined, it is seen that higher solar energy is obtained from PV solar panels in the $\beta= 30^\circ, 37^\circ$ and 45° directions, which are close to the latitude angle of Osmaniye ($37^\circ.04$). The results showed that the average solar radiation measured in the “ $\beta=37^\circ$ ” direction was 0.93%, 2.17%, 13.12%, 15.51% and 61.82% higher than those measured in the $\beta=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 0^\circ$ and 90° directions. We think that this study will be helpful for the design and installation of PV solar panels to be used on inclined surfaces.

To Cite: Şahan M., Küçük H., Kaya R. Osmaniye’de Güney Yönünde Altı Farklı Eğim Açısında ($0^\circ, 30^\circ, 37^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ ve 90°) Fotovoltaik Kolektörler Kullanılarak Toplam Güneş Radyasyonun Ölçülmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(5): 1948-1969.

1. Giriş

Tüm dünyada ekonominin temel itici güçlerinden biri olan enerji, sosyal ve ekonomik kalkınmada her zaman çok önemli bir rol oynamıştır (Kaygusuz, 2007; Gairaa ve Bakelli, 2011; Toklu 2013; Bilgili ve ark., 2015). Dünya nüfusunun gün geçtikçe artması ve ekonomik olarak kalkınmasıyla birlikte enerjinin çok fazla tüketilmesine ve daha fazla enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmuştur (Xingang ve ark., 2011; Bilgili ve ark., 2015; Raza ve ark., 2016). Hızlı ve bilinçsiz olarak tüketilen fosil yakıtlar atmosferde sera gazı emisyonlarının artmasına, CO₂ emisyon oranının artmasına, asit yağmurlarına, ozon tabakasının incelmeye, küresel iklim değişikliğine ve küresel ısınmaya ve buna bağlı olarak da tüm canlıların zarar görmesine yol açmaktadır (Bilgili ve ark., 2015; Jaszczur ve ark., 2018; Alshahrani ve ark., 2019).

Genel olarak, yapılan çalışmalar, dünyada var olan fosil yakıtların yakın zamanda tükeneceğini ve buna bağlı olarak da küresel enerji talebinin hızla artacağını göstermektedir. Bu nedenle, tüm dünyada sera gazı salınımını azaltacak çevreye duyarlı, temiz, güvenilir ve yenilenebilir yeni enerji kaynakları (güneş, rüzgar, hidroelektrik, biyo-kütle ve jeotermal enerji gibi) için giderek daha yoğun araştırmalar yapılmakta ve bu alanda büyük yatırımlar yapılmaktadır. Güneş radyasyonu, onu kullanan uygulamaların çeşitlenmesi nedeniyle şu anda üzerinde en çok araştırma yapılan yenilenebilir enerji kaynağıdır. Artan küresel enerji talebi göz önüne alındığında, fosil kaynakların aksine güneş enerjisi küresel ısınmanın azaltılmasında ve sürdürülebilir kalkınma ile ilgili olarak yenilenebilir enerji üretiminde merkezi bir rol oynayan temiz, tükenmez ve ücretsiz bir enerji kaynağıdır (Faranda ve Leva, 2008; Laricoa ve Gutierrez, 2022; Suki, 2022; Vernet ve Fabregat, 2023). Güneş, uzaya sürekli olarak saniyede 3.8×10^{23} kW oranında enerji yayar. Güneşten yayılan bu enerji dünyanın dış atmosferine kadar ulaşır. Güneş enerjisi, atmosferden geçerken atmosferdeki gaz molekülleri, su buharı, toz zerrecikleri gibi değişik partiküller tarafından soğurulması, saçılması, yansıtılması sonucu, enerjinin yaklaşık %70’lik kısmını kaybederek sadece 1.8×10^{18} kWh kadarlık küçük bir kısmı yeryüzüne ulaşır. Buna rağmen bu enerji Dünya’nın yıllık enerji tüketiminden on binlerce kat daha fazladır (Raza ve ark., 2016). Bu nedenle, tarım, sanayi, konut gibi pek çok alanda ihtiyaç duyulan toplam enerji talebinin önemli bir kısmının güneş enerjisinden sağlanması gerekiyorsa, güneş enerjisinin uygun maliyetli bir şekilde toplanması, depolanması ve bu alanlarda kullanılması kritik önem taşımaktadır (Zhang ve ark., 2013).

Yatay yüzeye gelen güneş enerjisi miktarı bulut, hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgarın hızı ve yönü gibi pek çok bölgesel hava şartlarına (Qing ve Niu 2018; Wojtkiewicz ve ark., 2019) ve coğrafik konuma bağlı olarak ülkelere göre değişiklik göstermektedir. Ekvator çizgisinin yaklaşık 45° altındaki güney bölgesinden 45° üstündeki kuzeye bölgesine kadar olan bölgeler oldukça yoğun güneş enerjisi almaktadır (Maxwell ve ark., 1986; Malik ve ark., 2006; Gairaa ve Bakelli, 2011; Abdullah ve ark., 2002; Zhang ve ark., 2013; Raza ve ark., 2016). Türkiye coğrafyası, 26°-45° doğu boylamları ile 36°-42° kuzey enlemleri arasında bulunduğundan güneş enerjisi bakımından oldukça iyi durumdadır. Osmaniye (37°.04 D, 36°.22 K) güneş ışınımı bakımından oldukça zengin bir konumda yer aldığından fotovoltaik teknolojisi ile enerji üretimi için iyi bir potansiyele sahiptir. Bu nedenle, güneş enerjisinin bu bölgede yıllık olarak takip edilmesi, bu enerjiden en verimli şekilde yararlanılması ve bölge ekonomisine sağlayacağı katkı için oldukça önemlidir (Şahan ve Kaya, 2022).

Bir bölgede toplam güneş enerjisinin düzenli olarak ölçülmesi veya tahmin edilmesi fotovoltaik (FV) sistemlerle enerji üretimi için önemli bir faktördür. Çünkü FV tesislerinin belirli bir zamanda üretilen güç miktarını tahmin edilmesine ve zaman içindeki FV performansını modellemesine olanak sağlamaktadır (Yang ve ark., 2012; Marquez ve Coimbra 2013; Law ve ark., 2014; Wojtkiewicz ve ark., 2019). Dünya yüzeyine ulaşan güneş ışınımının doğru bir şekilde ölçülmesi veya tahmin edilmesi sadece enerji üretimi açısından ilgi çekici olmakla kalmaz, aynı zamanda mimarlık, kentsel gelişim ve tarım alanları, ısınma ve aydınlanma gibi diğer alanlar için de önem taşımaktadır (Vernet ve Fabregat, 2023). Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi merkez yerleşkesinde (Enlem: 37°.04, Boylam: 36°.22) Mayıs 2013 tarihinden itibaren Eppley Black & White Pronometresi (8-48 Model) kullanılarak toplam güneş enerjisi ölçümleri düzenli olarak yapılmaktadır (Şahan ve ark., 2015; Şahan, 2018, 2019; Şahan ve Emrahoğlu, 2021). Ayrıca, FV piller kullanılarak “Üst”, “Doğu”, “Batı”, “Güney” ve “Kuzey” doğrultularında bir yıl boyunca (Nisan 2020 - Mart 2021) güneş radyasyonunu ölçülmüş ve analizleri yapılmıştır (Kaya, 2021; Şahan ve Kaya, 2022).

Bu çalışmada, yukarıda verilen çalışmalara ek olarak güneye doğru altı farklı eğim açılarında ($\beta=0^\circ, 30^\circ, 37^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ ve 90°) yönlendirilmiş bir FV güneş pili sistemi tasarlanmış ve bir yıl boyunca (1 Eylül 2022- 31 Ağustos 2023) birim yüzeye gelen toplam güneş enerjisi dakikalık olarak ölçülmüştür. Güneş enerjisinin saatlik, günlük, aylık, mevsimlik ve yıllık değişimlerinin araştırılması yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Yeryüzündeki her hangi bir yere her hangi bir zamanda yeryüzüne göre belirli bir yönelime sahip bir düzlem ile gelen güneş ışınımı arasındaki geometrik ilişkiler bir kaç açı cinsinden tanımlanabilir. Şekil 1a’da eğik yüzeye gelen güneş ışınlarının zenit açısına (tepe açısı), eğim açısına, yüzey azimut açısına ve güneş azimut açısına göre konumu verilmiştir (Duffie ve Beckman, 1991). Burada α_s ve θ_z sırasıyla güneşin yükseklik ve zenit açılarıdır. Güneşin dünyaya göre konumu,

$$\begin{aligned} \cos\theta &= \sin\delta \sin\phi \sin\beta - \sin\delta \cos\phi \sin\beta \cos\gamma + \cos\delta \cos\phi \cos\beta \cos w \\ &+ \cos\delta \sin\phi \sin\beta \cos\gamma \cos w + \cos\delta \sin\gamma \sin w \end{aligned} \quad (1)$$

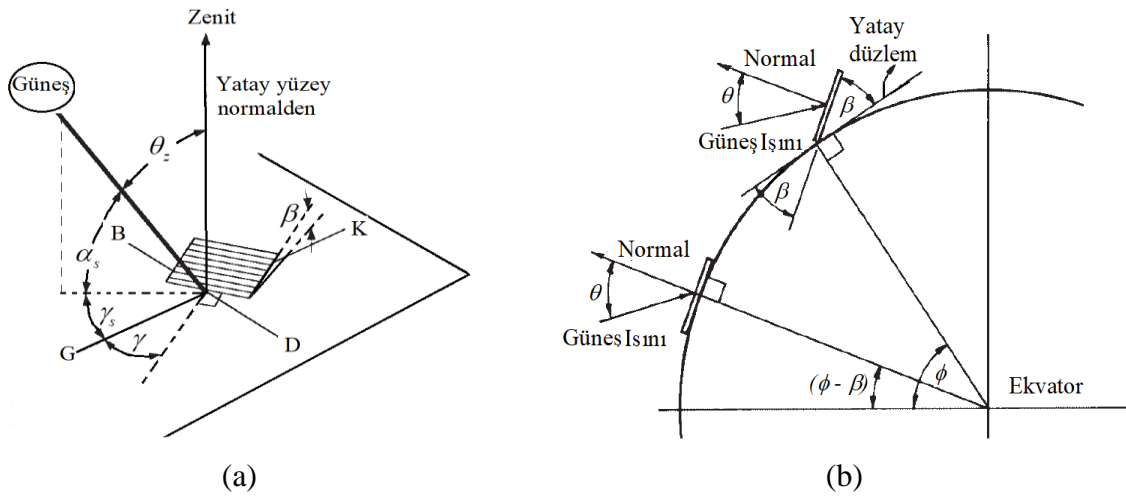
ile verilen trigonometrik eşitlikle belirlenir. Burada θ Güneş ışınlarının yüzeye gelme açısıdır (bir yüzeydeki güneş radyasyonu ile o yüzeyin normal arasındaki açı). δ güneşin öğle vakti ekvator düzlemine göre açısal konumunu gösteren deklinasyon açısıdır ve

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (284 + N) \right] \quad (2)$$

ile hesaplanır. Burada, N yılın günleridir (1 Ocak – 31 Aralık arası) ve deklinasyon açısı $-23^\circ.45 \leq \delta \leq +23^\circ.45$ arasında değerler alır. ϕ ölçüm yapılan yerin enlemini ($-90^\circ \leq \phi \leq +90^\circ$); β eğimli bir yüzeyin yüzey eğim açısını (yüzey düzlemi ile yatay arasındaki açı) ($0^\circ \leq \beta \leq +180^\circ$), γ yüzey azimut açısını ($-180^\circ \leq \gamma \leq +180^\circ$), w güneşin saat açısını ($w = 15^\circ [\text{saat} - 12]$) göstermektedir (Düz plakalı bir yüzey için Kuzey yarımkürede 0° , Güney yarımkürede ise 180° derecedir.) (Cooper 1969; Iqbal, 1983; Duffie ve Beckman, 1991; Kalogirou, 2014). Yatay bir yüzey üzerindeki güneş ışınlarının gelme açısı ya da güneşin zenit açısı (θ_z , tepe açısı) ile güneşin yükseklik açısının (α_s) toplamı 90° 'dir ($\theta_z = \pi/2 - \alpha_s$). Eşitlik 1'de eğimli yüzeyin β eğim açısı 0° olarak göz önüne alındığında (yatay yüzey) herhangi bir konum için yılın herhangi bir zamanında zenit açısı (θ_z);

$$\cos\theta_z = \cos\phi \cos\delta \cos w + \sin\phi \sin\delta \quad (3)$$

olarak elde edilir. Bu θ_z açısı, gök küre üzerinde Güneş'in yatay bir yüzeye dikey düzlemde saat 12 yönündeki konumunu belirtir (Iqbal, 1983; Duffie ve Beckman, 1991).



Şekil 1. a) Eğik bir yüzey için zenit açısı, eğim, yüzey azimut açısı ve güneş azimut açısını gösteren plan görünümü, b) Güneye bakan bir yüzey için β , θ , ϕ ve $\phi - \beta$ 'yi gösteren dünyanın kesiti (Duffie ve Beckman, 1991)

Kuzey yarım kürede güneye doğru β eğim açısı ile güneş ışınlarının eğimli yüzeylere θ gelme açısı, gelen ışın radyasyonu ϕ - β enlemindeki yatay bir yüzeye aynı açısal ilişkiye sahip olmasından türetilir (Şekil 1b). Buna göre Eşitlik 3 aşağıdaki gibi düzenlenir.

$$\cos\theta = \cos(\phi - \beta) \cos\delta \cos w + \sin(\phi - \beta) \sin\delta \quad (4)$$

Kuzey yarımkürede güneye bakan eğimli yüzey için güneşin öğle vakti özel durumu için,

$$\theta_{\text{öğlen}} = |\phi - \delta - \beta| \quad (5)$$

Burada $\beta = 0$, geliş açısı zenit açısıdır ve kuzey yarımküre için

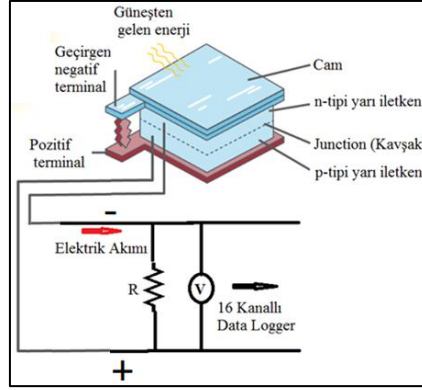
$$\theta_{z,\text{öğlen}} = |\phi - \delta| \quad (6)$$

olur.

Bir bölgede güneş enerjisini en üst düzeyde elde etmek için o bölgeye fotovoltaik (PV) panel sistemleri kurulmalıdır. Optimum FV eğimi ve yönelimi enleme, yerel iklime ve yük tüketiminin zamansal profiline bağlıdır. Fotovoltaik sistemlerin performansı, güneşe göre yönelimi ve eğimi de dahil olmak üzere çeşitli faktörlerden etkilenir. Genel olarak, ölçüm yapılacak coğrafik konumun enlemine eşit olan bir eğim açısına sahip yüzeyler maksimum güneş ışığı alır (Mondola ve ark., 2007). Normalde, yaz aylarında güneş ışığı, 15° daha az eğimli bir yüzeyde ve kış aylarında 15° daha fazla eğime sahip bir yüzey için maksimuma çıkar. Benzer şekilde, güneş ışığı ve PV çıkışı, güneye doğru 30° ile yönlendirilmiş eğimli bir yüzey için maksimum ve güneyden 90° doğuya veya batıya doğru yönlendirilmiş dikey yüzeyler için minimumdur (Mondola ve ark., 2007; Duffie ve Beckman, 2013; Hua ve ark., 2019).

Bu çalışmada, Fotovoltaik (FV) güneş pilleri kullanılarak altı farklı doğrultuda yıllık güneş enerjisi ölçümleri yapılmıştır. FV piller, üzerlerine düşen güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren maddeler olup Si, Ga, As, CdTe gibi yarı iletken malzemelerden elde edilirler. Şekil 2'de gösterildiği gibi FV güneş pilleri temelde üst yüzeye yakın konumlandırılmış birleşme noktasına sahip geniş alanlı bir P-N tipi maddeden yapılmıştır. Genel olarak, N tipi yarı iletkenlerde serbest elektronlar fazla olduğundan elektron vermeye daha yatkın ve P tipi yarı iletkenlerde serbest holler daha fazla olduğundan elektron almaya daha yatkındır. P ve N tipi yarı iletkenlerin birleşim yerlerinde verici atomların elektronları alıcı atomların hollerine eşlenir. Alıcı atomlar elektron aldıkları için negatif (-) iyon durumuna verici atomlar ise elektron verdikleri için pozitif (+) iyon durumuna geçerler. N tipi yarı iletkenlerde serbest elektronlar akım taşıyıcısı olarak görev yaparlar. P ve N tipi malzeme bir arada kullanılırsa, bu birleşime PN birleşimi (junction) denir. P-N yarı iletkenlerin birlikte kullanımı diyotların, transistörlerin ve diğer katkı hal devrelerinin temelini oluşturmaktadır. Şekil 2'de görüldüğü gibi Güneş ışınları N tipi yarı iletkenin kontak noktasına düştüğünde elektronlar P tipi yarı iletken yüzeyine doğru akarlar. Geçen iletkenlik elektronları holler ile birleşirler. Valans elektronları boşluklara

taşınırken boşluklar da N tipi yarı iletken bölgesine taşınırlar ve sürekli bir akım meydana gelir ve dolayısıyla elektrik enerjisine dönüştürürler. Elektrik akımı atomların bu gevşek elektronlarının hareketleri sayesinde ortaya çıkarlar. Elektronlar taşıdıkları enerjilerini karşılaştıkları engeller (direnç veya yük) üzerinde bırakarak iş yapmış ve dolayısıyla enerji üretmiş olurlar. P ve N tabakaları arasında tel çekilerek güneş hücresi (+) ve (-) kutuplara sahip bir pil halini alır ve böylelikle bir sisteme güç sağlamak için kullanılabilir. FV pil sistemleri, kurulum ve tasarım bakımından oldukça basit, elektrik üretim açısından ideal teknolojilere sahiptirler.



Şekil 2. Fotovoltaik güneş pili Sistem Şeması

FV piller ile ölçülen toplam güneş radyasyon değerlerinin kalibrasyonları piranometreler kullanılarak yapılmıştır. Piranometreler, 300 nm ile 2800 nm arasında değişen dalga boyundaki ışımaya akılarından kaynaklanan toplam güneş ışınımını düz bir yüzey üzerinde ölçmek için tasarlanmıştır (Şahan ve ark., 2015; Şahan, 2018, 2019; Şahan ve Emrahoğlu, 2021). Bazı ülkeler gerekli güneş enerjisi veri tabanlarına sahip olmadıklarından, bu ülkelerde özellikle eğimli yüzeylerde toplam güneş enerjisinin mevsimsel ve yıllık olarak tahmin edilmesi için bazı sayısal modellerin tasarlanması, geliştirilmesi ve kullanılmasını önerilmektedir. Geliştirilen sayısal modellerden elde edilen sonuçlar kurulacak güneş enerjisi ölçüm tesislerinin tasarlanmasında önemli bir etkiye sahip olacaktır (Othman ve ark., 2008).

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, Osmaniye’de günlük olarak toplam güneş enerjisini ölçmek için güneye doğru farklı eğim açılarındaki ($\beta=0^\circ, 30^\circ, 37^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ ve 90°) yönlendirilmiş toplam altı farklı bir FV güneş pil sistemi tasarlanmıştır (Şekil 2). Özellikle “ $\beta=37^\circ$ ” eğim açılı FV pil sistemi ölçüm yapılan yerin enlemine ($\phi=37^\circ.04$) yakın olarak ayarlanmıştır. Tasarlanan FV pil sistemi Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi merkez yerleşkesine (Enlem: $37^\circ.04$, Boylam: $36^\circ.22$) yerleştirilmiş ve gerekli test çalışmaları tamamlandıktan sonra ölçümlerine başlanılmıştır. Ölçümler yapılırken eş zamanlı olarak Eppley B&W Piranometresi (8-48 Model) ile de toplam güneş enerjisi ölçümleri yapılmıştır. Altı farklı eğimli (β)

yüzeyle sahip FV güneş piller ve piranometre ile alınan günlük ölçümler 24 saat boyunca dakikalık olarak 16 kanallı MS6D Data Logger'a kaydedilmiştir.

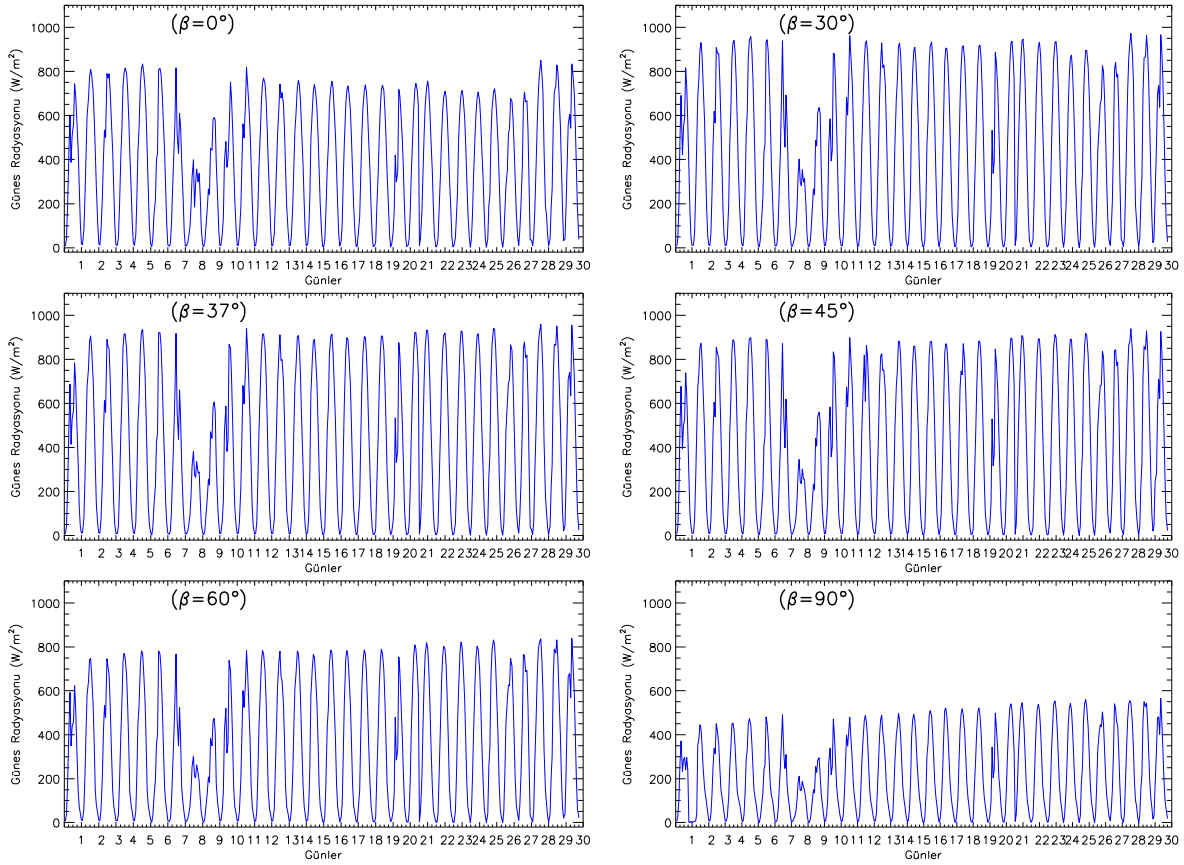
Güneş radyasyonu 1 Eylül 2022-31 Ağustos 2023 tarihleri arasında bir yıl boyunca altı farklı doğrultuda dakikalık olarak "volt" biriminde ölçülmüştür. Ölçülen güneş radyasyon verileri piranometre verileri kullanılarak kalibre edilmiştir. Kalibrasyon için başlangıçta piranometre ile aynı doğrultudaki ($\beta=0^\circ$) FV pil ile ölçülen güneş ışınım verileri kullanılmıştır. FV pil sistemden ölçülen verilerin kalibrasyonları yapılırken havanın açık ve kapalı olduğu farklı zaman aralıklarındaki birden fazla günlük veri kullanılmış ve enerji birimine (W/m^2) dönüştürülmüştür (Kaya, 2021; Şahan ve Kaya 2022). " $\beta=0^\circ$ " doğrultusundaki kalibre edilmiş olan FV güneş enerjisi verilerinin doğruluğunu test etmek amacıyla regresyon analizleri yapılmış ve R^2 değerlerine bakılmıştır. R^2 değerinin yaklaşık % 98 oranında iyi bir sonuç elde edilinceye kadar kalibrasyon belirleme işlemleri tekrarlanmıştır. Daha sonra, belirlenen kalibrasyon katsayısı kullanılarak diğer beş farklı doğrultuda ($\beta=30^\circ, 37^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ ve 90°) ölçülen güneş ışınım verilerinin kalibrasyonları da W/m^2 biriminde yapılmıştır (Kaya, 2021; Şahan ve Kaya 2022).

Altı farklı eğimli ($\beta=0^\circ, \beta=30^\circ, \beta=37^\circ, \beta=45^\circ, \beta=60^\circ$ ve $\beta=90^\circ$) yüzeydeki FV güneş pilleri (Şekil 2) kullanılarak bir yıl süreyle (1 Eylül 2022- 31 Ağustos 2023 arası) ölçülen toplam güneş enerjisi verilerinin dakikalık, saatlik, günlük, aylık, mevsimlik ve yıllık olarak ortalamalarının ve toplamalarının değişimleri W/m^2 biriminde elde edilmiştir. Veri analizlerinde IDL (Interactive Data Language) bilgisayar yazılım kodları kullanılmıştır. Aşağıda yapılan analizler hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

Ağustos 2023 ayı boyunca günlük olarak W/m^2 biriminde ölçülen güneş enerjisinin saatlik değişimleri Şekil 3'de verilmiştir. Güneş ışınları güneş ufuk düzleminden itibaren yükselmeye başladığında yüzeye gelen güneş enerjisi miktarı da artmaya başlar ve öğle saatlerinde maksimum düzeye ulaşır. Öğleden sonra güneş ufuk düzlemine doğru inmeye başladığında ise güneş enerjisi de azalarak tekrar en düşük seviyesine ulaşır. Analizler yapılırken, IDL'de yazılan kodlar kullanılarak sabah güneşin doğuş saati ile akşam batış saatleri belirlenmiş ve güneşin ufuk düzleminin altında kaldığı zamanlardaki alınan veriler günlük verilerden çıkartılmıştır. Örneğin, güneş 15 Ağustos 2023 tarihinde güneş sabah saat 05.51'de doğup akşam 19.27'de batmıştır ve bu sürede toplam 14 saatlik veri ölçümü gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, Ağustos ayı boyunca her doğrultudaki FV pillerden toplam 447 tane dakikalık güneş enerjisi verisi elde edilmiştir. Şekil 3'de tüm yönlerde ölçülen güneş enerjisi değerleri incelendiğinde 7-8 Ağustos tarihlerinde havanın kapalı olması nedeniyle bu tarihte elde edilen güneş enerjisi değerleri diğer günlerde ölçülen değerlere göre daha düşük olduğu görülmektedir.

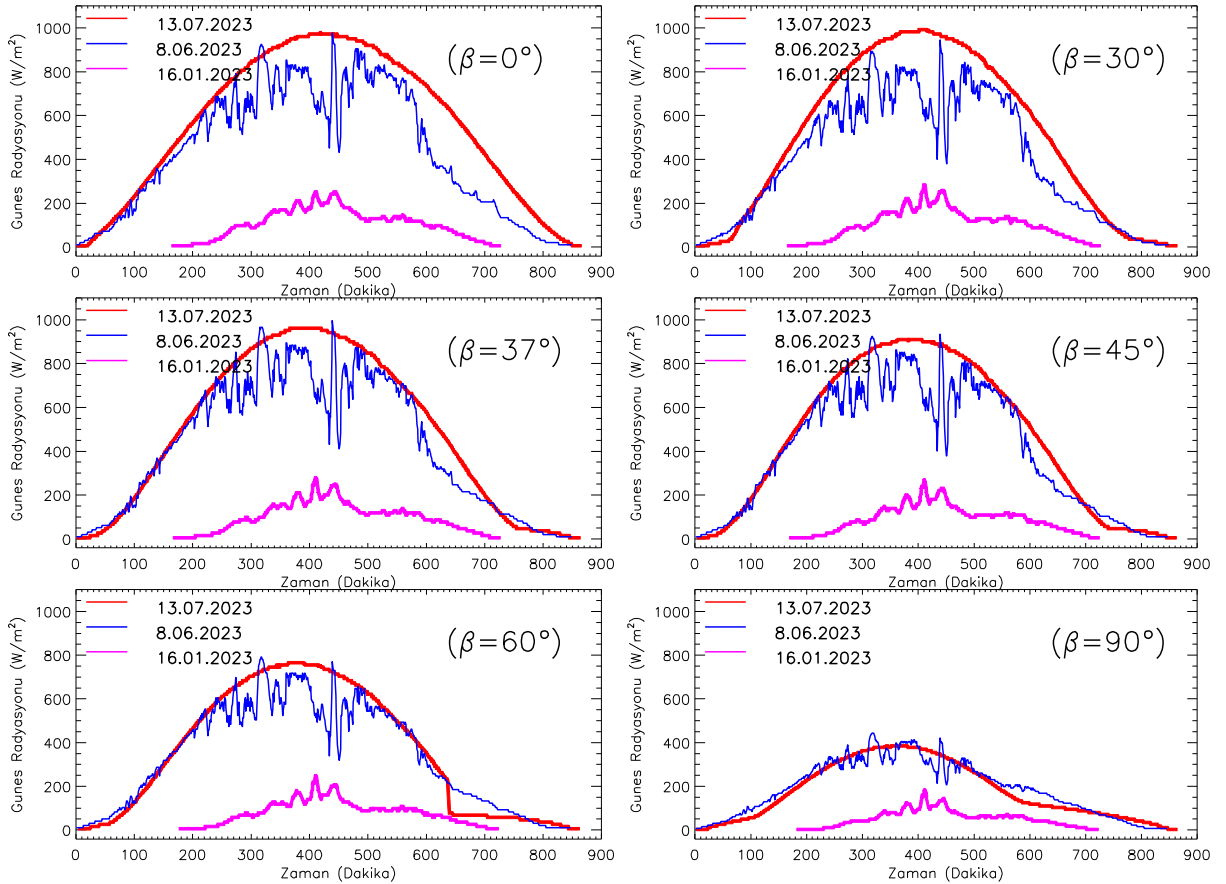
Şekil 3'de yatay eksenler dakika biriminde zamanı, düşey eksenler ise W/m^2 biriminde günlük güneş enerjisini göstermektedir. " $\beta=0^\circ$ " doğrultusunda Ağustos ayında ölçülen aylık toplam ve ortalama güneş radyasyon değerleri sırasıyla $167411.94 W/m^2$ ve $375.36 W/m^2$ olarak elde edilmiştir. Akşam saat 19.00-20.00'da $2.06 W/m^2$ ile en düşük (25.08.2023), ve öğle saat 12.00-13.00'da $849.89 W/m^2$ ile en düşük değer (29.08.2023) ölçülmüştür. " $\beta=30^\circ$ " doğrultusunda aylık olarak hesaplanan toplam ve ortalama değerleri sırasıyla $191554.41 W/m^2$ ve $429.49 W/m^2$ olarak ölçülmüştür. 25.08.2023 tarihinde akşam

saat 19.00-20.00'da 1.37 W/m² ile en düşük ve 29.08.2023 tarihinde öğle saatlerinde saat 12.00-13.00'da 972.30 W/m² ile en yüksek değer ölçülmüştür. Ölçüm yapılan yerin enlemiyle yaklaşık aynı eğimde olan “ $\beta=37^\circ$ ” doğrultusundaki FV pil ile Ağustos ayı boyunca aylık olarak hesaplanan toplam ve ortalama değerleri sırasıyla 187405.29 W/m² ve 420.19 W/m² olarak ölçülmüştür. 25.08.2023 tarihinde akşam saat 19.00-20.00'da 1.37 W/m² ile en düşük ve 29.08.2023 tarihinde öğle saatlerinde saat 12.00-13.00'da 959.97 W/m² ile en yüksek değer ölçülmüştür. “ $\beta=45^\circ$ ” doğrultusundaki FV pil ile ölçülen aylık toplam ve ortalama güneş enerji değerleri sırasıyla 178646.87 W/m² ve 400.55 W/m² olarak ölçülürken 25.08.2023 tarihinde akşam saat 19.00-20.00'da 0.69 W/m² ile minimum ve 29.08.2023 tarihinde öğle saat 12.00-13.00'da 937.72 W/m² ile en maksimum enerji değeri ölçülmüştür. “ $\beta=60^\circ$ ” doğrultusunda aylık olarak hesaplanan toplam ve ortalama değerleri sırasıyla 154811.15 W/m² ve 347.11 W/m² olarak ölçülmüştür. 26.08.2023 tarihinde akşam saat 19.00-20.00'da 0.79 W/m² ile en düşük ve 31.08.2023 tarihinde öğle saatlerinde saat 12.00-13.00'da 839.27 W/m² ile en yüksek değer ölçülmüştür. Benzer şekilde ölçüm yapılan yerin enlem açısına en yakın eğikliğe sahip olan “ $\beta=90^\circ$ ” doğrultusundaki FV pil ile aylık olarak ölçülen toplam ve ortalama değerleri sırasıyla 97868.54 W/m² ve 219.44 W/m² olarak ölçülmüştür. 25.08.2023 tarihinde akşam saat 19.00-20.00'da 0.51 W/m² ile en düşük, ve 31.08.2023 tarihinde öğle saatlerinde saat 12.00-13.00'da 564.89 W/m² ile en yüksek değer ölçülmüştür.



Şekil 3. Ağustos 2023 ayı boyunca günlük olarak altı farklı doğrultuda ölçülen güneş enerjisinin saatlik değişimleri

Bir yüzeye gelen güneş ışınları, ölçüm yapılan yerin coğrafi koordinatlarına bağlı olmasının yanı sıra hava durumuna göre havanın bulutsuz (açık), kısmen bulutlu ve çok bulutlu (kapalı) koşullarına bağlı olarak düşük veya yüksek değerler göstermektedir. Genel olarak, havanın bulutsuz olduğu bir günde, güneş ışınımının günlük değişim eğrisi, yüzey güneş ışınımı esas olarak güneş yükseklik açısına bağlı olarak değişir. Kışın Dünya yüzeyine çok az güneş enerjisi ulaşır. İlkbaharda güneş açısı artar ve gün uzar, dolayısıyla gelen güneş enerjisi miktarı kışa göre daha fazla olur. Yaz aylarında, güneş radyasyonu akışı en fazla olur ve sonbahara doğru tekrar düşmeye başlar. FV pillerin tüm yüzeylerinden ölçülen bulutlu bir günde güneş radyasyonu, bulut nedeniyle açık bir güne göre daha fazla değiştiği gözlenmiştir. Bu amaçla, ölçülen günlük güneş enerjisi verilerinden bir tane gökyüzünün çok bulutlu olduğu gün (1 Ocak 2023), bir tane kısmen bulutlu olduğu gün (24 Mayıs 2023) ve bir tane de havanın tamamen açık olduğu bir gün (13 Temmuz 2023) seçilmiş ve her doğrultuda alınan güneş ışınım verilerinin dakikalık değişim grafikleri Şekil 4’de verilmiştir. Havanın açık ve kısmen bulutlu olduğu günler yaz mevsiminden seçilirken, çok bulutlu olduğu gün ise kış mevsiminden seçilmiştir. Bu nedenle havanın kısmen bulutlu olduğu gündeki güneş enerjisi verilerinin günlük değişimi havanın açık olduğu gündeki değişimine oldukça yakın olduğu açıkça görülmektedir. Havanın tamamen kapalı olduğu günde, gelen güneş enerjisi miktarı atmosferdeki bulutlar tarafından tamamen soğrulması veya saçılması sonucu oldukça düşüktür.



Şekil 4. Havanın açık, kısmen bulutlu ve çok bulutlu olduğu günlerde altı farklı doğrultuda ölçülen güneş ışınımının dakikalık değişimi.

Genel olarak havanın kısmen bulutlu olduğu günde ölçülen toplam enerji açık olduğu güne göre ortalama %20 daha düşük iken bulutlu olan günlerin yaklaşık %80 oranında daha düşük olduğu görülmektedir. Sadece “ $\beta=90^\circ$ ” FV pili ile ölçülen değerler arasındaki kısmen bulutlu günde ölçülen güneş enerjisinin açık havada ölçülene göre yaklaşık %10 daha yüksek, bulutlu olduğu günde %30 oranında daha düşük olduğu görülmektedir. Bu nedenle, açık günde ölçülen ortalama güneş enerjisi kısmen bulutlu ve bulutlu günlere göre daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir. Genel olarak bulutlu bir yaz gününde bile dünya yüzeyinde açık bir kış gününe göre daha fazla güneş ışığının ölçülür. Ayrıca, bulutlu günlerde güneş ışınımındaki değişim açık ve kısmen bulutlu güne göre daha yüksek seviyede dalgalanmalar gözlemlenmektedir. Bulutlu bir günde tüm FV pillerden ölçülen güneş ışınımı gün boyunca 225.31 W/m^2 'nin altında kaldığı görülürken, kısmen bulutlu bir günde gün boyunca yaklaşık 1032.43 W/m^2 'nin altında kaldığı görülmüştür. Havanın açık olduğu günlerde ise 979.66 W/m^2 ($\beta=30^\circ$) ile 973.50 W/m^2 ($\beta=0^\circ$) arasında ölçüldüğü görülmüştür. Güneş ışınımı günün büyük bölümü saat 11.00'dan 13.00'a kadar en yüksek görülürken bu saatlerin dışında kalan zamanlarda en düşük olduğu görülmüştür.

Şekil 4'de dakikalık olarak üç farklı hava şartlarında alınan güneş enerjisi verilerinin saatlik değişimleri de Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1 incelendiğinde, havanın açık, kısmen bulutlu ve çok bulutlu olduğu günlerde hesaplanan saatlik ortalama günlük güneş enerjisi değerleri “ $\beta=0^\circ$ ” için sırasıyla 537.48 W/m^2 , 483.35 W/m^2 ve 103.24 W/m^2 olarak tespit edilmiştir. “ $\beta=30^\circ$ ” için sırasıyla 491.63 W/m^2 , 418.60 W/m^2 ve 100.68 W/m^2 olarak, “ $\beta=37^\circ$ ” için sırasıyla 475.51 W/m^2 , 456.55 W/m^2 ve 96.29 W/m^2 olarak, “ $\beta=45^\circ$ ” için sırasıyla 447.13 W/m^2 , 430.94 W/m^2 ve 87.91 W/m^2 , “ $\beta=60^\circ$ ” için sırasıyla 359.95 W/m^2 , 348.47 W/m^2 ve 77.25 W/m^2 olarak ve “ $\beta=90^\circ$ ” 175.07 W/m^2 , 194.53 W/m^2 ve 51.75 W/m^2 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, bu günlerde hesaplanan günlük en yüksek güneş enerjisi değerleri $\beta=0^\circ$ için sırasıyla 973.50 W/m^2 , 943.03 W/m^2 ve 220.01 W/m^2 olarak, “ $\beta=30^\circ$ ” için 979.66 W/m^2 , 889.09 W/m^2 ve 225.31 W/m^2 olarak, “ $\beta=37^\circ$ ” için 954.84 W/m^2 , 1003.98 W/m^2 ve 217.95 W/m^2 olarak, “ $\beta=45^\circ$ ” için 907.24 W/m^2 , 963.57 W/m^2 ve 202.54 W/m^2 , “ $\beta=60^\circ$ ” için 763.43 W/m^2 , 826.94 W/m^2 ve 181.14 W/m^2 olarak ve “ $\beta=90^\circ$ ” için de 386.83 W/m^2 , 467.89 W/m^2 ve 125.93 W/m^2 olarak tespit edilmiştir.

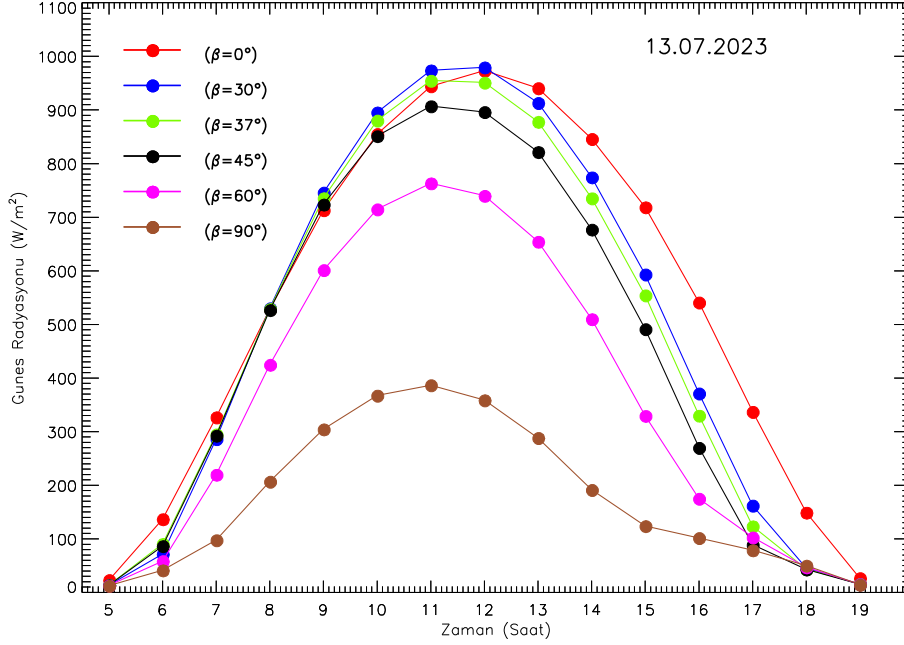
Tablo 1. FV piller ile altı farklı doğrultuda havanın açık, kısmen bulutlu ve bulutlu olduğu günlerde ölçülen güneş ışınımının saatlik değişimi.

13 Temmuz 2023 (Açık)							24 Mayıs 2023 (Kısmen Bulutlu)						
Saat	$\beta=0^\circ$	$\beta=30^\circ$	$\beta=37^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$	$\beta=90^\circ$	Saat	$\beta=0^\circ$	$\beta=30^\circ$	$\beta=37^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$	$\beta=90^\circ$
5	23.19	14.09	14.09	13.80	13.21	12.67	5	23.63	18.75	20.29	18.75	16.95	12.43
6	136.97	71.91	90.74	86.63	58.55	41.55	6	96.22	72.08	83.89	76.70	69.17	49.20
7	327.01	286.43	295.17	292.77	219.83	97.76	7	237.81	225.48	270.51	264.18	223.94	134.47
8	528.70	530.41	529.04	526.98	424.94	206.99	8	471.17	430.59	523.56	521.51	440.70	244.21
9	713.26	746.13	735.69	723.88	601.63	304.49	9	672.17	620.29	724.56	717.03	610.19	342.09
10	855.19	895.60	880.53	851.43	714.97	367.46	10	812.39	761.54	873.69	852.11	729.87	414.87
11	944.57	974.01	954.84	907.24	763.43	386.83	11	943.03	889.09	1003.98	963.57	826.94	467.89
12	973.50	979.66	951.24	896.28	740.14	358.79	12	708.64	653.00	725.59	688.61	583.66	331.13
13	940.80	913.41	878.14	821.81	654.54	288.43	13	895.60	793.90	859.30	804.00	653.34	327.44
14	846.29	774.55	735.52	677.14	510.04	191.57	14	805.03	693.91	723.88	668.23	514.49	210.05
15	718.74	593.41	554.38	491.37	329.58	124.02	15	660.53	536.23	529.21	470.66	325.30	135.23
16	541.02	371.35	330.09	270.00	174.99	101.71	16	485.55	350.98	316.91	261.44	95.36	108.85
17	337.11	162.14	123.61	89.03	102.83	79.02	17	295.34	166.93	128.41	95.88	75.16	81.83
18	149.12	45.71	43.66	43.15	47.25	50.22	18	121.39	51.53	49.99	47.94	48.97	47.03
19	26.78	15.59	15.96	15.41	15.59	14.61	19	21.71	14.71	14.48	13.54	13.07	11.30

1 Ocak 2023 (Çok Bulutlu)						
Saat	$\beta=0^\circ$	$\beta=30^\circ$	$\beta=37^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$	$\beta=90^\circ$
5						
6						
7						
8	12.16	11.64	10.96	9.25	7.02	4.59
9	52.56	46.74	44.00	40.23	34.07	21.29
10	114.71	108.89	103.58	94.68	83.04	53.40
11	178.40	174.98	169.50	154.60	137.48	93.04
12	220.01	225.31	217.95	202.54	181.14	125.93
13	150.84	145.36	137.31	123.96	108.55	70.36
14	133.72	130.98	125.16	112.83	99.30	66.40
15	105.64	102.04	96.91	88.69	76.36	52.00
16	53.42	50.85	47.77	43.49	37.67	25.49
17	10.99	10.03	9.80	8.84	7.88	4.98
18						
19						

Tablo 1’de verilen havanın açık olduğu günde (13 Temmuz 2023) ölçülen güneş ışınımının günlük olarak saatlik değişim grafiği Şekil 5’de verilmiştir. 23 Eylül sonbahar ekinoksunda güneş öğle saatlerinde yaklaşık tepededir ($\delta=0$). Yani, yaz aylarında öğle saatlerinde güneş tam tepededir ve yeryüzüne gelen güneş ışınları zenit doğrultusunda en yüksek düzeye ulaşır. Buna göre Tablo 1’de görüldüğü gibi “ $\beta=0^\circ$ ” FV pilinden ölçülen güneş ışınları saat 12.00-13.00 arasında 973.50 W/m^2 olarak ey yüksek değerindedir. Osmaniye’nin enlemine eşit olan “ $\beta=37^\circ$ ” FV pilinden ölçülen güneş ışınları saat 11.00-12.00 arasında 954.84 W/m^2 olarak ölçülmüştür. “ $\beta=37^\circ$ ” yönündeki FV pile en yakın eğim açısına sahip olan “ $\beta=30^\circ$ ” ve “ $\beta=45^\circ$ ” FV pillerden alınan güneş enerjisi değerleri ise sırasıyla saat

12.00-13.00'da 9979.66 W/m² ve saat 11.00-12.00 arasında 896.28 W/m² olduğu açıkça görülmektedir. Tablo 1 ve Şekil 5'de görüldüğü gibi yaz aylarında güneş ışınlarının dik gelmesi ve güney yönünde gölgelemenin fazla olması nedeniyle güneye doğru daha yüksek açılarda ölçüm yapılan “β=60°” ve “β=90°” FV pillerinden ise saat 11.00-12.00 arasında sırasıyla 763.43 W/m² ve 386.83 W/m² değerinde güneş enerjisi ölçülmüştür.

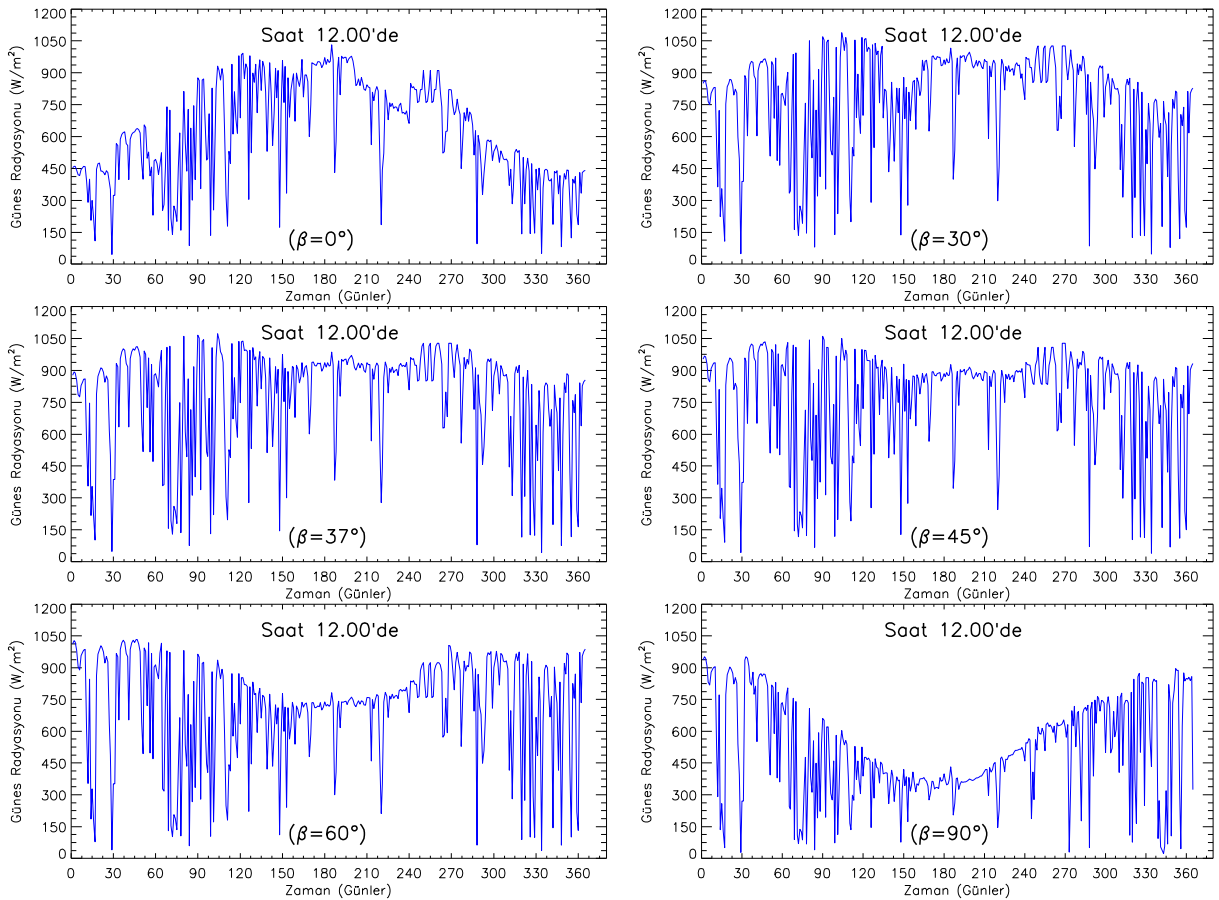


Şekil 5. Gökyüzünün açık olduğu 13.07.2023 tarihinde altı farklı doğrultuda ölçülen günlük güneş ışınımının saatlik değişimleri

FV güneş pili sistemi ile bir yıl boyunca ölçülen yıllık ortalama toplam günlük güneş ışınım şiddetinin sadece saat 12.00-13.00 arasındaki ölçüm sonuçlarının yıllık değişimleri Şekil 6'da verilmiştir. Öğle saatlerinde her doğrultuda ölçülen güneş enerjisi değerlerinin kış aylarında yaz aylarına göre çok daha fazla değişiklik gösterdiği açıkça görülmektedir. Şekil 6'da incelendiğinde doğrudan zenit yönüne bakan “β=0°” FV pili ile elde edilen değerlerin genel olarak kış aylarında en düşük iken yaz aylarında en yüksek oranda değişim gösterdiği belirgin olarak görülmektedir. Yüze gelen güneş ışınım şiddeti dünyanın eğikliğine bağlı olarak değiştiğinden öğle saatlerinde ölçülen güneş ışınımının değişimleri yüzey eğim açalarına bağlı olarak “β=0°” eğimli yüzeydekenden “β=90°” eğimli yüzeye doğru azaldığı açıkça görülmektedir. Buna göre, yaz aylarında (Haziran, Temmuz ve Ağustos) “β=0°”, “β=30°”, “β=37°”, “β=45°”, “β=60°” ve “β=90°” yönlerindeki FV piller ile saat 12.00-13.00 arasında ölçülen ortalama güneş enerjisi değerlerinin en yüksek olarak ölçüldüğü Ağustos ayında sırasıyla 707.68 W/m², 858.82 W/m², 847.87 W/m², 815.23 W/m², 717.62 W/m² ve 452.65 W/m² olarak elde edilmiştir. Genel olarak yaz mevsiminde ölçülen güneş enerjilerinin ortalama değerleri ise sırasıyla 816.04 W/m², 879.29 W/m², 867.16 W/m², 826.47 W/m², 700.59 W/m² ve 390.18 W/m² olduğu görülmüştür. Kış mevsiminde (Aralık, Ocak ve Şubat) “β=0°”, “β=30°”, “β=37°”, “β=45°”, “β=60°” ve “β=90°” yönlerinde saat 12.00-13.00 arasında en yüksek olarak ölçüldüğü Şubat ayında sırasıyla 544.42 W/m², 832.52 W/m²,

872.79 W/m², 895.22 W/m², 892.76 W/m², 766.54 W/m² olarak elde edilmiştir. Bu üç ayda ölçülen güneş enerjilerinin ortalama değerleri ise sırasıyla 426.85 W/m², 692.50 W/m², 725.91 W/m², 751.13 W/m², 772.11 W/m², 657.55 W/m² olduğu görülmüştür. İlkbahar (Mart, Nisan ve Mayıs) mevsiminde ölçülen toplam güneş enerjisi değerleri 638.74 W/m², 702.65 W/m², 712.82 W/m², 690.50 W/m², 614.69 W/m² ve 398.36 W/m² olarak belirlenirken sonbahar (Eylül, Ekim ve Kasım) mevsiminde ise 582.06 W/m², 777.49 W/m², 792.79 W/m², 787. W/m², 772.25 W/m² 599.64 W/m² olduğu görülmüştür. Tüm mevsimlerde saat 12.00-13.00 arasında ölçülen ortalama güneş enerjisi değerleri ise $\beta=0^\circ$, $\beta=30^\circ$, $\beta=37^\circ$, $\beta=45^\circ$, $\beta=60^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ yönlerinde sırasıyla 617.05 W/m², 763.33 W/m², 774.89 W/m², 763.84 W/m², 714.44 W/m² ve 510.39 W/m² olduğu görülmüştür.

FV güneş pili sistemi (Şekil 2) ile farklı yönlerde bir yıl boyunca saat 12.00-13.00 arasında ölçülen toplam güneş enerjisi verilerinin en yüksek, en düşük, yıllık toplam ve ortalama değerlerine de bakılmıştır. Mayıs-Eylül ayları arasında genellikle havanın açık olduğu güneşli günler olması nedeniyle saat 12.00-13.00 arasında ölçülen güneş enerjilerinin değerleri $\beta=0^\circ$, $\beta=30^\circ$, $\beta=37^\circ$, $\beta=45^\circ$, $\beta=60^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ yönlerinde sırasıyla 1031.03 W/m², 1061.33 W/m², 1038.39 W/m², 1027.26 W/m², 1005.00 W/m², 654.11 W/m² arasında değişen yüksek oranda güneş ışımasını görülürken, bunun dışında kalan diğer günlerde havanın parçalı bulutlu, bulutlu ya da çok bulutlu olmasından dolayı güneş ışımasını dalgalanmalar ve azalmalar görülmektedir.



Şekil 6. Pronometre ve altı farklı doğrultudaki ($\beta=0^\circ$, $\beta=30^\circ$, $\beta=37^\circ$, $\beta=45^\circ$, $\beta=60^\circ$ ve $\beta=90^\circ$) FV pil ile saat 12:00'da ölçülen güneş enerjisi verileri

Yıl boyunca güneşin doğuşundan batışına kadar geçen sürelerde ölçülen güneş enerjisi değerlerinin günlük olarak saatlik değişimleri elde edilmiş ve günlük değişimleri incelenmiştir. Elde edilen saatlik güneş enerjisi verilerin yıllık toplam ve ortalama değerleri sırasıyla “ $\beta=0^\circ$ ” ile 1616377.24 W/m² ve 342.16 W/m², “ $\beta=30^\circ$ ” ile 1920360.25 W/m² ve 406.43 W/m², “ $\beta=37^\circ$ ” ile 1943405.70 W/m² ve 412.09 W/m², “ $\beta=45^\circ$ ” ile 1911356.96 W/m² ve 405.89 W/m², “ $\beta=60^\circ$ ” ile 1762994.95 W/m² ve 375.03 W/m² ve “ $\beta=90^\circ$ ” ile 1275190.44 W/m² ve 271.61 W/m² olarak tespit edilmiştir. Buna göre ölçüm yapılan yerin enlemine (Enlem: 37°.04) yakın yönlerdeki “ $\beta=30^\circ$ ”, “ $\beta=37^\circ$ ” ve “ $\beta=45^\circ$ ” eğim açılarında yıllık olarak en yüksek güneş enerjisi elde edilmiştir. Ayrıca, yıl boyunca günlük olarak ölçülen saatlik güneş enerjisi değerlerinin en yüksek ve en düşük değerleri ise sırasıyla “ $\beta=0^\circ$ ” ile 1031.03 W/m² ve 2.57 W/m², “ $\beta=30^\circ$ ” ile 1089.41 W/m² ve 1.89 W/m², “ $\beta=37^\circ$ ” ile 1072.46 W/m² ve 1.87 W/m², “ $\beta=45^\circ$ ” ile 1065.44 W/m² ve 1.62 W/m², “ $\beta=60^\circ$ ” ile 1033.77 W/m² ve 0.69 W/m² ve “ $\beta=90^\circ$ ” ile 971.35 W/m² ve 0.38 W/m² olarak belirlenmiştir.

Toplam güneş radyasyonunun günlük değişimi mevsimsel ve yerel hava koşullarındaki değişime bağlı olarak da değiştiğinden, yıllık olarak mevsimsel güneş enerjisinin saatlik değişimleri de incelenmiştir. Tüm FV pillerin yüzeyleri için kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar aylarında elde edilen mevsimsel güneş enerjisinin dağılımı Tablo 2 ve Şekil 7’de verilmiştir. Osmaniye bölgesi kışın ılık ve yağışlı, yazın sıcak ve kurak geçtiği ılgın bir Akdeniz iklimine sahiptir. Güneşlenme süresinin kıaldığı kış aylarında Güneş ışınları yeryüzüne eğik gelirken, güneşlenme süresinin arttığı yaz aylarında ise dik gelmektedir. Buna bağlı olarak farklı eğim açılara sahip olan FV pillerin yüzeylerine gelen güneş ışınım şiddetlerinin değerleri mevsimlere göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle, kış aylarında güneşe doğru farklı açılarda (özellikle “ $\beta=30^\circ$ ”, “ $\beta=37^\circ$ ”, “ $\beta=45^\circ$ ” ve “ $\beta=90^\circ$ ”) yönlendirilmiş FV piller ile daha yüksek güneş enerjisi elde edilirken, “ $\beta=0^\circ$ ” yönündeki FV pil ile en düşük güneş enerjisi elde edilmiştir (Şekil 7). Yaz aylarında ise güneş ışınları yüzeye dik geldiğinden “ $\beta=0^\circ$ ” ve buna yakın yönlerdeki FV piller ile en yüksek güneş enerjisi elde edilirken, “ $\beta=90^\circ$ ” yönündeki FV pil ile en düşük güneş enerjisi elde edilmiştir.

Güneş ışınlarının eğik geldiği kış aylarında (Aralık-Ocak-Şubat) güneşe bakan “ $\beta=30^\circ$ ”, “ $\beta=37^\circ$ ”, “ $\beta=45^\circ$ ”, “ $\beta=60^\circ$ ” ve “ $\beta=90^\circ$ ” eğimli FV pil ile elde edilen güneş enerjisinin saatlik olarak mevsimsel ortalamaları sırasıyla 357.46 W/m², 377.42 W/m², 392.32 W/m², 406.59 W/m² ve 354.38 W/m² olarak elde edilmiştir. Ayrıca, doğrudan zenit yönüne bakan “ $\beta=0^\circ$ ” eğimli FV pil ile mevsimsel ortalama 212.96 W/m² olarak elde edilmiştir. Güneş ışınlarının dik olarak geldiği yaz aylarında (Haziran-Temmuz-Ağustos) güneşe bakan ($\beta=30^\circ$, “ $\beta=37^\circ$ ”, “ $\beta=45^\circ$ ”, “ $\beta=60^\circ$ ” ve “ $\beta=90^\circ$ ”) eğimli FV pil ile elde edilen güneş enerjisinin saatlik olarak mevsimsel ortalamaları sırasıyla 429.01 W/m², 419.18 W/m², 396.12 W/m², 325.46 W/m² ve 186.07 W/m² olarak elde edilmiştir “ $\beta=0^\circ$ ” eğimli FV pil ile mevsimsel ortalama 428.01 W/m² olarak elde edilmiştir. İlkbaharda (Mart-Nisan-Mayıs) güneşe bakan ($\beta=30^\circ$, “ $\beta=37^\circ$ ”, “ $\beta=45^\circ$ ”, “ $\beta=60^\circ$ ” ve “ $\beta=90^\circ$ ”) FV pil ile elde edilen ortalama güneş enerjisinin saatlik olarak mevsimsel sırasıyla 347.80 W/m², 351.16 W/m², 339.67 W/m², 297.57 W/m² ve 193.25 W/m² olarak elde edilmiştir. Doğrudan zenite bakan $\beta=0^\circ$ eğimli FV pil ile mevsimsel ortalama 328.22 W/m² elde edilmiştir. Benzer şekilde

sonbaharda güneye bakan ($\beta=30^\circ, 37^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ ve 90°) FV pil ile elde edilen güneş enerjisinin saatlik olarak mevsimsel ortalamaları sırasıyla $396.69 \text{ W/m}^2, 405.22 \text{ W/m}^2, 404.47 \text{ W/m}^2, 396.74 \text{ W/m}^2$ ve 322.57 W/m^2 olarak elde edilmiştir. Doğrudan zenite bakan $\beta=0^\circ$ eğimli FV pil ile mevsimsel ortalama 296.64 W/m^2 elde edilmiştir.

Tablo 2’de verilen her mevsim için üç aylık ortalama değerleri incelendiğinde, yazın güneş enerjisinin kış mevsimine göre “ $\beta=0^\circ$ ” için %100.98, “ $\beta=30^\circ$ ” için % 20.02, “ $\beta=37^\circ$ ” için %11.60, “ $\beta=45^\circ$ için %0.97 kadar daha yüksek olduğu görülürken, “ $\beta=60^\circ$ için %19.95 ve “ $\beta=90^\circ$ için %47.49 oranında daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, yaz aylarındaki “ $\beta=0^\circ$ ”, “ $\beta=30^\circ$ ” ve “ $\beta=37^\circ$ ” yönlerindeki güneş ışınım değerleri sonbahar aylarına göre sırasıyla % 44.29, % 8.15 ve % 3.44 oranında daha yüksek iken “ $\beta=45^\circ$ ”, “ $\beta=60^\circ$ ” ve “ $\beta=90^\circ$ ” yönlerindeki güneş ışınım değerleri ise sırasıyla %2.06, %17.97 ve %42.32 oranında daha düşüktür. Benzer şekilde, yaz aylarındaki “ $\beta=0^\circ$ ”, “ $\beta=30^\circ$ ”, “ $\beta=37^\circ$ ”, “ $\beta=45^\circ$ ” ve $\beta=60^\circ$ yönlerindeki güneş ışınım değerleri ilkbahar aylarına göre sırasıyla %30.40, %23.35, %19.37, %16.62 ve %9.37 daha fazla olduğu görülürken, “ $\beta=90^\circ$ ” yönündeki güneş ışınım değeri ise %3.71 daha oranında düşüktür. Buna göre yıl boyunca yüzde olarak en büyük değişiklik “ $\beta=0^\circ$ ” ve “ $\beta=90^\circ$ ” yönlerinde gözlenirken, Osmaniye’nin enlemine yakın eğim açılarındaki ($\beta=30, 37^\circ$ ve 45°) FV pillerde en düşük oranda değişiklik gözlenmiştir. Bu sonuç da beklenildiği gibi gözlem yapılan yerin enlem açısına en yakın olan eğim açılarında yıllık olarak en yüksek oranda verim alındığı görülmektedir.

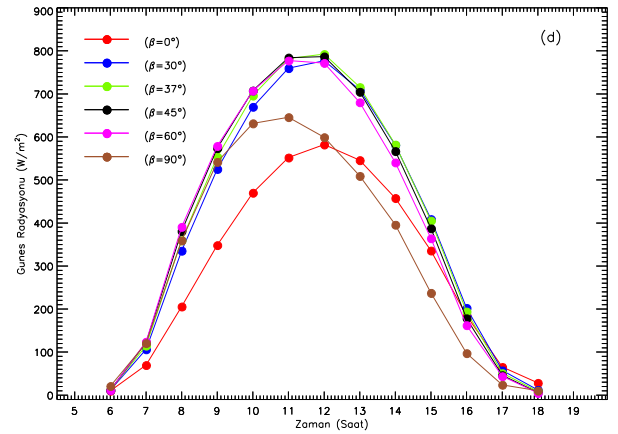
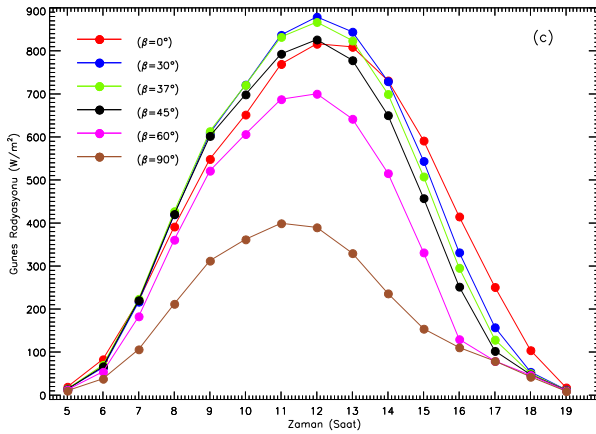
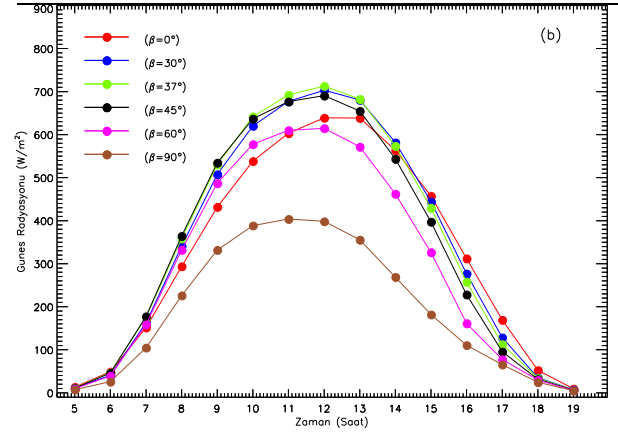
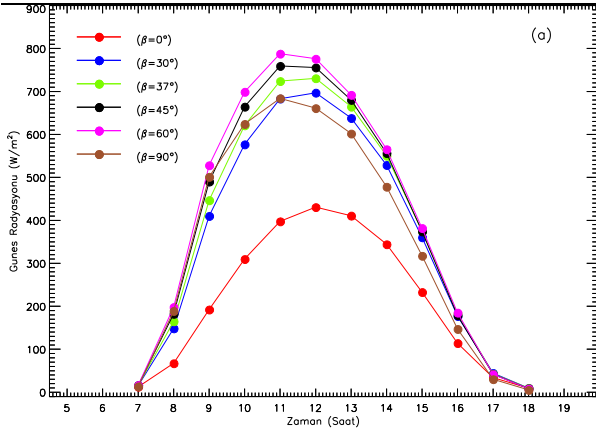
Tablo 2. Tüm FV pillerin yüzeyleri için elde edilen Güneş enerjisinin (W/m^2) kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerindeki değişimleri

Aralık-Ocak-Şubat							Mart-Nisan-Mayıs						
Saat	$\beta=0^\circ$	$\beta=30^\circ$	$\beta=37^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$	$\beta=90^\circ$	Saat	$\beta=0^\circ$	$\beta=30^\circ$	$\beta=37^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$	$\beta=90^\circ$
5							5	13.29	11.15	11.37	10.59	9.48	7.34
6							6	49.03	40.40	46.84	46.13	39.37	25.78
7	12.62	15.50	16.04	16.35	16.20	13.44	7	151.74	162.54	175.64	177.61	158.86	104.84
8	67.21	148.49	164.89	182.31	198.13	188.93	8	293.79	341.01	358.57	364.40	331.86	226.17
9	192.39	410.15	446.81	490.14	528.15	501.26	9	431.89	507.58	530.49	534.63	486.95	331.97
10	309.83	576.77	621.06	664.42	699.07	624.28	10	538.40	620.23	642.02	636.76	577.59	388.68
11	397.67	683.26	724.06	759.33	787.83	684.09	11	603.20	677.00	692.52	676.81	610.08	403.82
12	430.65	697.02	730.65	755.78	776.00	661.07	12	638.99	703.07	712.89	690.57	614.78	398.43
13	410.73	638.09	664.61	680.23	691.98	601.91	13	638.62	680.60	682.54	654.89	571.66	355.60
14	344.21	528.78	550.43	556.43	565.37	478.06	14	563.83	581.76	573.49	543.57	462.21	269.01
15	232.91	360.39	375.58	374.05	381.88	317.33	15	457.25	444.17	429.62	397.33	326.40	181.77
16	114.15	177.36	182.94	178.79	184.96	147.01	16	312.13	276.89	257.79	228.28	161.42	110.64
17	33.70	44.29	42.70	41.61	41.46	30.06	17	169.31	128.25	112.68	95.42	77.55	65.54
18	9.44	9.44	9.32	8.43	8.09	5.07	18	52.48	35.07	33.93	31.49	29.43	24.39
19							19	9.38	7.23	7.05	6.54	5.91	4.75
Ort.	212.96	357.46	377.42	392.32	406.59	354.38	Ort.	328.22	347.80	351.16	339.67	297.57	193.25

Haziran-Temmuz-Ağustos							Eylül-Ekim-Kasım						
Saat	$\beta=0^\circ$	$\beta=30^\circ$	$\beta=37^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$	$\beta=90^\circ$	Saat	$\beta=0^\circ$	$\beta=30^\circ$	$\beta=37^\circ$	$\beta=45^\circ$	$\beta=60^\circ$	$\beta=90^\circ$
5	19.31	14.57	14.62	13.63	12.49	10.11	5						
6	83.16	64.00	70.02	66.54	54.16	37.85	6	10.07	11.55	11.92	11.62	11.27	20.94
7	219.71	216.82	223.56	220.42	182.96	106.27	7	69.68	106.34	114.73	122.30	123.93	120.72
8	391.62	420.05	427.23	420.72	361.03	212.06	8	205.74	335.53	359.84	381.23	390.89	359.36
9	548.63	609.16	613.35	602.16	521.52	312.29	9	348.42	525.31	553.59	573.89	578.88	541.86
10	651.84	721.35	720.73	698.72	606.56	361.93	10	470.19	669.82	696.00	707.74	707.37	631.45
11	769.56	837.04	832.30	793.24	687.60	399.26	11	552.02	759.85	781.97	784.34	777.44	645.84
12	816.47	879.06	867.05	826.32	700.30	389.74	12	582.19	777.20	792.45	786.86	771.80	599.34
13	809.24	844.25	823.86	778.26	642.07	329.75	13	545.80	709.56	715.78	704.85	680.32	509.24
14	730.97	729.29	699.64	650.36	515.61	236.16	14	457.84	581.01	582.10	566.84	540.59	395.83
15	591.57	543.95	507.93	457.54	331.42	154.20	15	335.73	408.94	405.37	387.44	364.31	237.39
16	415.06	331.72	295.74	252.01	129.83	110.76	16	185.12	202.46	194.06	178.43	162.27	97.33

17	251.13	157.46	128.71	102.61	79.12	79.13
18	104.23	53.85	50.71	47.73	46.55	42.49
19	17.58	12.62	12.23	11.47	10.71	9.08
Ort.	428.01	429.01	419.18	396.12	325.46	186.07

17	65.24	57.30	50.85	46.19	43.73	23.88
18	28.24	12.13	9.26	6.33	4.80	10.29
19						
Ort.	296.64	396.69	405.22	404.47	396.74	322.57



Şekil 7. FV pillerin tüm yüzeyler için güneş enerjisinin (W/m^2): (a) kış, (b) ilkbahar, (c) yaz ve (d) sonbahar mevsimlerinde saatlik değişimleri.

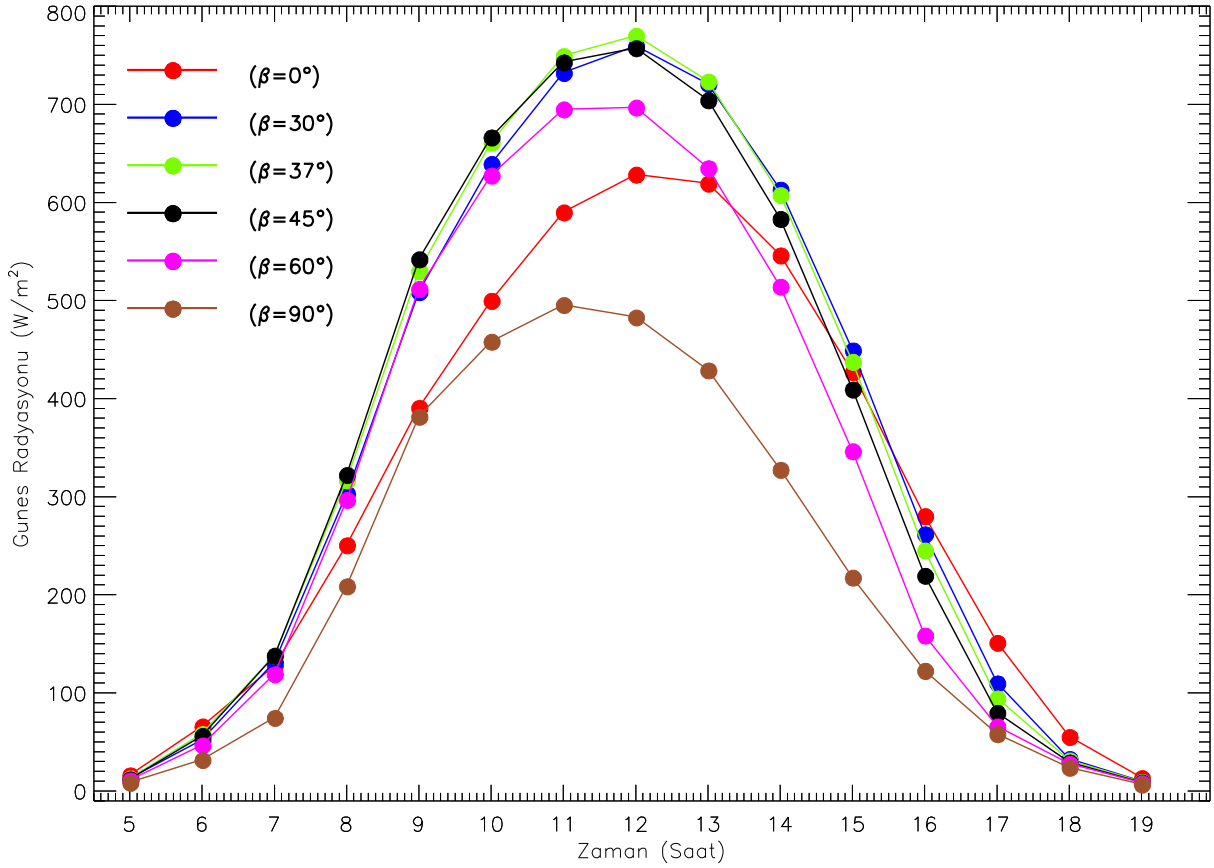
FV pillerden (Şekil 2) bir yıl boyunca (Eylül 2022 - Ağustos 2023) ölçülen güneş enerjisi verilerinin yıllık olarak saatlik ortalama değişimleri de elde edilmiş ve sonuçlar Tablo 3 ve Şekil 8’de verilmiştir. Tablo 3 ve Şekil 8’de “ $\beta=0^\circ$ ” doğrultusundaki FV pilden saatlik güneş enerjilerinin toplamı ve ortalamaları $4664.92 W/m^2$ ve $310.99 W/m^2$ olarak elde edilirken saat 12.00-13.00 arasında $628.70 W/m^2$ en yüksek değerlerde ölçülmüştür. “ $\beta=30^\circ$ ” doğrultusundaki FV pil ile ölçülen güneş radyasyonun en yüksek değerleri saat 12.00-13.00 arasında $759.71 W/m^2$ olarak elde edilmiştir. Saatlik olarak yıllık ortalama değerlerin toplamı ve ortalamaları ise sırasıyla $5338.88 W/m^2$ ve $355.93 W/m^2$ olarak elde edilmiştir. Osmaniye’nin enlemiyle (enlemi: $37^\circ.04$) aynı olan doğrultusundaki “ $\beta=37^\circ$ ” ile en yüksek değerleri 12.00-13.00 arasında $770.20 W/m^2$ olduğu görülmekte ve saatlik olarak yıllık olarak toplam ve ortalama değerleri de $5388.43 W/m^2$ ve $359.23 W/m^2$ olarak ölçülmüştür. “ $\beta=45^\circ$ ” doğrultusundaki FV pil ile öğle saatlerinde 12.00-13.00 arasında $757.56 W/m^2$ en yüksek değer olduğu görülmektedir. Benzer şekilde saatlik olarak yıllık ortalama değerlerin toplamı ve ortalamaları ise sırasıyla $5274.02 W/m^2$ ve $351.60 W/m^2$ olarak elde edilmiştir. “ $\beta=60^\circ$ ” doğrultusundaki FV pilden ölçülen güneş radyasyonu saat 12.00-13.00’da $697.03 W/m^2$ ile en yüksek olduğu görülürken, yıllık toplam ve ortalama değerleri sırasıyla $4763.57 W/m^2$ ve $317.57 W/m^2$ olarak elde edilmiştir. Doğrudan zenite

bakan “ $\beta=90^\circ$ ” doğrultusundaki FV pil ile öğlen saat 11.00-12.00’da 495.72 en yüksek ve yıllık toplam ve ortalama değerleri de sırasıyla 3329.92 W/m² ve 221.99 W/m² olarak elde edilmiştir.

Tablo 3 ve Şekil 8 incelendiğinde, yıllık olarak ölçülen ortalama saatlik güneş enerjisi verilerinin en yüksek Osmaniye’nin enlem açısıyla aynı (enlemi: 37°.04) olan “ $\beta=37^\circ$ ” doğrultusundaki FV pili ile alındığı (359.23 W/m²) görülmüştür. “ $\beta=37^\circ$ ” doğrultusundaki FV pile göre “ $\beta=30^\circ$ ” FV pil ile %0.9, “ $\beta=45^\circ$ ” FV pil ile %2.2, “ $\beta=60^\circ$ ” FV pil ile %13.1, “ $\beta=0^\circ$ ” FV pil ile %15.5 ve “ $\beta=90^\circ$ ” FV pil ile %61.8 daha düşük değerlere sahip olduğu görülmüştür.

Tablo 3. FV pillerin tüm yüzeylerine gelen güneş ışınımının yıllık olarak saatlik ortalamaları

Zaman (Saat)	$\beta=0^\circ$ (W/m ²)	$\beta=30^\circ$ (W/m ²)	$\beta=37^\circ$ (W/m ²)	$\beta=45^\circ$ (W/m ²)	$\beta=60^\circ$ (W/m ²)	$\beta=90^\circ$ (W/m ²)
05:00	16.30	12.86	12.99	12.11	10.98	8.73
06:00	66.09	52.20	58.43	56.33	46.77	31.82
07:00	128.02	131.62	138.41	138.13	119.34	74.85
08:00	250.87	303.18	316.90	322.48	297.01	209.05
09:00	390.97	508.97	530.22	542.31	512.21	381.84
10:00	500.02	639.45	661.27	666.63	627.74	458.30
11:00	590.15	732.43	749.63	743.12	695.17	495.72
12:00	628.70	759.71	770.20	757.56	697.03	483.08
13:00	619.53	720.98	723.67	704.46	635.24	429.09
14:00	546.34	613.28	607.85	583.45	514.40	327.74
15:00	427.24	449.50	437.71	409.64	346.57	217.77
16:00	280.45	261.99	245.49	219.69	158.74	122.80
17:00	151.38	110.00	94.70	79.88	66.04	58.24
18:00	55.38	32.79	31.32	29.22	28.02	23.98
19:00	13.48	9.92	9.64	9.01	8.31	6.91
Ort.	310.99	355.93	359.23	351.60	317.57	221.99



Şekil 8. FV pillerin tüm yüzeylerine gelen güneş ışınımının yıllık olarak saatlik ortalamaları

Sonuçlar

Bir yüzeye gelen güneş enerjisi miktarını ölçüm yapılan yerin coğrafik enlemi ve ölçüm cihazlarının eğim açıları önemli ölçüde etkilemektedir. Bu çalışmada, güneye doğru beş farklı eğim açısında ($\beta=30^\circ$, 37° , 45° , 60° ve 90°) yönlendirilmiş ve bir tane de zenite doğru ($\beta=0^\circ$) yönlendirilmiş toplam altı farklı bir FV güneş pil sistemi tasarlanmıştır (Şekil 2) ve Osmaniye Korkut Ata üniversitesi merkez yerleşkesine yerleştirilmiştir. Geliştirilen FV güneş pilleri kullanılarak 1 Eylül 2022- 31 Ağustos 2023 tarihleri arasında bir yıl süresince güneş enerjisi dakikalık olarak ölçülmüş ve daha sonra bu veriler kullanılarak güneş enerjisinin saatlik, günlük, aylık, mevsimlik ve yıllık değişimleri analiz edilmiş ve incelenmiştir. Osmaniye’de ölçülen yıllık ortalama toplam güneş radyasyonunun;

- Maksimum ve minimum değerleri Osmaniye’nin enlemiyle (enlemi: $37^\circ.04$) aynı olan $\beta=37^\circ$ ile 419.18 W/m^2 ve 377.42 W/m^2 değerleri yaz ve kış mevsiminde, $\beta=30^\circ$ ile 429.01 W/m^2 ve 357.46 W/m^2 değerleri yaz ve kış mevsiminde, $\beta=45^\circ$ ile 404.47 W/m^2 ve 339.67 W/m^2 değerleri sonbahar ve ilkbahar mevsiminde, $\beta=60^\circ$ ile 406.59 W/m^2 ve 297.57 W/m^2 değerleri kış ve ilkbahar mevsiminde ve $\beta=90^\circ$ ile 354.37 W/m^2 ve 186.07 W/m^2 değerleri kış ve yaz mevsiminde bulunmuştur.

- Tüm yönlerde ($\beta=0^\circ, 30^\circ, 37^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ ve 90°) yıllık ortalama güneş ışınımının sırasıyla $310.99 \text{ W/m}^2, 355.93 \text{ W/m}^2, 359.23 \text{ W/m}^2, 351.60 \text{ W/m}^2, 317.57 \text{ W/m}^2$ ve 221.99 W/m^2 olduğunu göstermektedir.
- “ $\beta=37^\circ$ ” doğrultusunda ortalama güneş ışınım enerjisi diğer yönlerde (“ $\beta=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ ve 90° ”) ölçülen güneş ışınım enerjisi ile kıyaslanmıştır. Buna göre, “ $\beta=37^\circ$ ” FV pil ile ölçülen güneş enerjisi $\beta=30^\circ$ ’a göre % 0.75, $\beta=45^\circ$ ’a göre %2.21, $\beta=60^\circ$ ’a göre %11.53 , $\beta=0^\circ$ ’a göre 13.76 ve $\beta=90^\circ$ ’a göre %38.01 oranında daha yüksek olduğu görülmektedir.
- Yıl boyunca yüzeye gelen güneş enerjisi verilerindeki en büyük değişiklikler yüzde olarak “ $\beta=0^\circ$ ” ve “ $\beta=90^\circ$ ” yönlerinde gözlenirken, Osmaniye’nin enlemine yakın eğim açılarındaki ($\beta=30, 37^\circ$ ve 45°) FV pillerde en düşük oranda değişiklik gözlenmiştir. Bu sonuç da beklenildiği gibi gözlem yapılan yerin enlem açısına en yakın olan eğim açılarındaki yıllık olarak en yüksek oranda verim alındığı görülmektedir.
- “ $\beta=30^\circ$ ”, “ $\beta=37^\circ$ ” ve “ $\beta=45^\circ$ ” ile ölçülen güneş enerjisi değerleri yıl boyunca tüm mevsimlerde en yüksek olduğu görülürken, “ $\beta=0^\circ$ ” ve “ $\beta=90^\circ$ ” doğrultularında ölçülen enerjiler mevsimlere göre değişiklik gösterdiği görülmüştür. Mevsimsel toplam güneş radyasyonu en yüksek değerlerine yaz aylarında (Haziran-Ağustos), en düşük değerlerine ise kış aylarında (Aralık-Şubat) ulaşmaktadır. Maksimum toplam güneş enerjisi “ $\beta=30^\circ$ ile Temmuz ayında yaklaşık 921.18 W/m^2 olarak, “ $\beta=37^\circ$ ile Eylül ayında yaklaşık 915.23 W/m^2 olarak ve “ $\beta=60^\circ$ ile Şubat ayında yaklaşık 912.22 W/m^2 olarak elde edilmiştir.
- Günlük, aylık ve yıllık değişimleri incelendiğinde FV güneş panellerinin Osmaniye’nin enlem (enlemi: $37^\circ.04$) göre yaklaşık ± 10 derecelik gerçek eğim açısında ($\beta=30^\circ, 37^\circ$ ve 45°) en iyi güneş radyasyonu elde edildiği görülmektedir.

Güneş enerjisinden yararlanmanın oldukça önemli olduğu günümüzde, FV piller kullanılarak yatay yüzeydeki güneş enerjisinin farklı yönlerde ölçülmesi ve yıllık incelenmesi sonucu elektrik enerjisinin üretilmesi, değerlendirmesi, binalarda ve tarım alanlarında kullanılması ve yapılan bu çalışmanın bilime oldukça önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmanın belirli eğimli yüzeylerde kullanılacak olan FV güneş panellerinin tasarlanması ve kurulumu için yardımcı olacağına inanmaktayız.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Abdullah AH., Ghoneim AA., Al-Hasan AY. Assesment of grid-connected photovoltaic systems in the Kuwaiti climate, *Renewable Energy* 2002; 26, 189-199.
- Alshahrani A., Omer S., Su Y., Mohamed E., Alotaibi S. Thetechnical challenges facing the integration of small-scale and large-scale FV systems into the grid: A critical review, *Electronics* 2019; 8, 1443.
- Bilgili M., Ozbek A., Sahin B., Kahraman A. An overview of renewable electric power capacity and progress in new technologies in the world. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2015; 49, 323-334.
- Cooper PI. The absorption of solar radiation in solar stills. *Solar Energy* 1969; 12(3): 333-346.
- Duffie JA., Beckman WA. *Solar engineering of thermal processes*, (4th ed.), John WileyandSons, Inc., New York, 2013.
- Faranda R., Leva S. Energy comparison of MPPT techniques for PV Systems, *WSEAS Transactions On Power Systems* 2008; 6(3): 446-455.
- Gairaa K., Bakelli Y. Anoverview of global solar radiationmeasurements in Ghardaiaarea, South Algeria. *International Journal of Energy and Environment* 2011; 2(2): 255-260.
- Hua Z., Ma C., Lian J., Pang X., Yang W. Optimal capacity allocation of multiple solar trackers and storage capacity for utility-scale photovoltaic plants considering output characteristics and complementary demand. *Applied Energy* 2019; 238, 721-733.
- Iqbal M. *An Introductionto solar radiation*. AcademicPress, Toronto, Canada, 1983.
- Jaszczur M., Hassan Q., Teneta J., Styszko K., Nawrot W., Hanus R. Study of dust deposition and temperature impact on solar photovoltaic modüle. *MATEC Web of Conferences, ICCHMT*, 2018; 240, 04005, 1-6.
- Kalogirou SA. *Solar energy engineering processes and systems*. Second Edition, Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo, AcademicPress is an imprint of Elsevier, 2014.
- Kaya R. Fotovoltaik piller kullanarak güneş ışınım şiddetinin beş farklı noktada ölçülmesi ve verinin analiz edilmesi. Y. Lisans Tezi, OKU Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmaniye, Türkiye, 2021.
- Kaygusuz K. Energy for sustainable development: Key issues and challenges. *Energy Sources Part B*, 2007; 2(1): 73-83.
- Laricoa ERA., Gutierrez AC. Solar tracking system with photovoltaic cells: Experimental analysis at high altitudes. *International Journal of Renewable Energy Development* 2022; 11(3): 630-639.
- Law EW., Prasad AA., Kay M., Taylor RA. Direct normal irradiance forecasting and its application to concentrated solar thermal output forecasting. A review. *Sol. Energy* 2014; 108, 287-307.
- Malik AQ., Ak Abd Malik Abd Raub Pg Ghani. Measurement of global solar radiation over Brunei Darussalam, ISESCO Scienceand Technology, Proceedings of the International Symposium on Renewable Energy: Environment Protection and Energy Solution, Malaysia, 2006; 762.

- Marquez R., Coimbra CF. Intra-hour DNI forecasting based on cloud tracking image analysis. *Sol. Energy* 2013; 91, 327-336.
- Maxwell EL., Stoffel TL., Bird RE. Measuring and modeling solar irradiance on vertical surfaces (No. SERI/TR-215-2525). Solar Energy Research Inst., Golden, CO (USA), 1986.
- Mondola J. Deb, Yohanisa YG., Norton B. The impact of array inclination and orientation on the performance of a grid-connected photovoltaic system. *Renewable Energy* 2007; 32, 118–140.
- Othman AB., Belkilani K., Besbes M. Global solar radiation on tilted surfaces in Tunisia: Measurement, estimation and gained energy assessments. *Energy Reports* 2018; 4, 101-109.
- Qing X., Niu Y. Hourly day-ahead solar irradiance prediction using weather forecasts by LSTM. *Energy* 2018; 148, 461-468.
- Raza MQ., Nadarajah M., Ekanayake C. On recent advances in PV output power forecast. *Solar Energy* 2016; 136, 125–144.
- Suki NM., Suki NM., Sharif A., Afshan S., Jermsittiparsert K. The role of technology innovation and renewable energy in reducing environmental degradation in Malaysia: A step towards sustainable environment. *Renewable Energy* 2022; 182, 245-253.
- Şahan M., Kaya R. Fotovoltaik piller kullanılarak güneş ışınım şiddetinin beş farklı doğrultuda ölçülmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi* 2022; 17(1): 155-169.
- Şahan M., Tokat Ö., Okur Y. Osmaniye’de günlük toplam güneş ışınım ölçümleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi* 2015; 10(2); 97-105.
- Şahan M. Measurement of daily solar radiation with Eppley Black and White pyranometer in Osmaniye Region, Turkey. *AIP Conference Proceedings, Turkish Physical Society 34th International Physics Congress – TPS34, Bodrum / Muğla, 2018; 2042, 020005–1–0200054.*
- Şahan M. The measurements of the global solar radiation and solar ultraviolet radiation during 2018 year. Cite as: *AIP Conference Proceedings, 2019; 2178, 030016.*
- Şahan M., Emrahoğlu N. Osmaniye’de yedi yıllık dönemde yatay yüzeydeki global güneş radyasyonu ölçümleri ve yeni ampirik modeller kullanılarak global güneş radyasyonunun tahmini. *SDÜ. Fen-Edebiyat Fakültesi - Fen Dergisi* 2021; 16(2): 349-367.
- Toklu E. Overview of potential and utilization of renewable energy sources in Turkey. *Renew Energy* 2013; 50, 456-463.
- Xingang Z., Xiaomeng L., Pingkuo L., Tiantian F. The mechanism and policy on the electricity price of renewable energy in China. *Ren Sustain Energy Rev*, 2011; 15, 4302-4309.
- Vernet A., Fabregat A. Evaluation of empirical daily solar radiation models for the northeast coast of the Iberian peninsula. *Energies* 2023; 16, 2560.
- Wojtkiewicz J., Hosseini M., Gottumukkala R., Chambers TL. Hour-ahead solar irradiance forecasting using multivariate gated recurrent units. *Energies* 2019; 12, 4055.

Yang D., Jirutitjaroen P., Walsh WM. Hourly solar irradiance time series forecasting using cloud cover index. *Sol. Energy* 2012; 86, 3531-3543.

Zhang HL., Baeyens J., Degreve J., Caceres G. Concentrated solar power plants: Review and design methodology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2013; 22, 466-481.

Salvia officinalis L.'in *In Vitro* Kallus Kültürü ve Bazı Amino Asitlerin Rosmarinik Asit Birikimi Üzerine Etkisi

Rağbet Ezgi DURAN^{1*}

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 32260, Isparta

¹<https://orcid.org/0000-0003-0853-3680>

*Sorumlu yazar: ezgiduran@sdu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 03.11.2023

Kabul tarihi:08.05.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Adaçayı

Kallus

Rosmarinik asit

L-tirozin

L-fenilalanin

ÖZ

Bu çalışmada *Salvia officinalis* (adaçayı) bitkisinin çeşitli eksplantlarının *in vitro* kallus oluşturma yeteneği ve oluşan kalluslardaki rosmarinik asit üretimi araştırılmıştır. Kallus oluşumu için genç yapraklar (<1-1.5 cm), yapraklar (>1-1.5 cm), nodlar ve gövde parçaları olmak üzere 4 çeşit eksplant 0.8 mg/L 2.4-D, 0.5 mg/L NAA ve 2.0 mg/L BAP içeren MS ortamında kültüre alınmıştır. En yüksek kallus oluşum oranı (%100) genç yaprak eksplantlarından elde edilmiştir. 4 hafta sonra oluşan kalluslar 0.1 mg/L NAA+1.0 mg/L BAP içeren MS ortamına aktarılmış, ayrıca *in vitro* rosmarinik asit üretimini artırmak için besin ortamına L-tirozin (10 mg/L) ve L-fenilalanin (10 mg/L) eklenmiştir. Kalluslar bu ortamlarda 1 ve 2 ay boyunca kültüre alınmış ve adaçayı kalluslarındaki rosmarinik asit üretimi HPLC ile analiz edilmiştir. Amino asitlerin ortama eklenmesi kalluslarda rosmarinik asit üretimini önemli ölçüde artırmıştır. Ayrıca sonuçlar amino asitler ve kallus kültür süreleri bakımından önemli ölçüde farklılıklar göstermiştir. Tirozinin adaçayı kalluslarında rosmarinik asit üretimini artırmada daha etkili olduğu gözlenmiştir. Hem tirozin hem de fenilalanin ile desteklenmiş ortamlarda 2 ay boyunca kültüre alınan kallusların, yalnızca 1 ay boyunca kültüre alınan gruba göre daha yüksek miktarda rosmarinik asit ürettiği belirlenmiştir.

In Vitro Callus Culture of *Salvia Officinalis* L. and the Effect of Some Amino Acids on Rosmarinic Acid Accumulation

Research Article

Article History:

Received: 03.11.2023

Accepted: 08.05.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

Common sage

Callus

Rosmarinic acid

L-tyrosine

L-phenylalanine

ABSTRACT

This study investigated the *in vitro* callus formation ability of various explants obtained from the *Salvia officinalis* (common sage) and the production of rosmarinic acid in the resulting calli. Four types of explants, including young leaves (<1-1.5 cm), older leaves (>1-1.5 cm), nodes, and stem pieces, were cultured on MS medium containing 0.8 mg/L 2.4-D, 0.5 mg/L NAA, and 2.0 mg/L BAP to induce callus formation. The highest callus formation (100%) was achieved from young leaf explants. After 4 weeks, the formed calli were transferred to an MS medium containing 0.1 mg/L NAA+1.0 mg/L BAP, and *in vitro* rosmarinic acid production was enhanced by adding L-tyrosine (10 mg/L) and L-phenylalanine (10 mg/L) to the nutrient medium. The calli were cultured in these media for 1 and 2 months, and the production of rosmarinic acid in sage calli was analyzed using HPLC. The addition of amino acids to the medium significantly increased rosmarinic acid production in the calli. Furthermore, the results varied significantly with different amino acids and callus culture durations. Tyrosine was observed to be more effective in increasing rosmarinic acid production in sage calli. Moreover, calli cultured for 2 months in both tyrosine- and phenylalanine-

supplemented media exhibited higher rosmarinic acid production compared to the control group cultured for only 1 month.

To Cite: Duran RE. *In Vitro* Callus Culture of *Salvia Officinalis* L. and the Effect of Some Amino Acids on Rosmarinic Acid Accumulation. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(5): 1970-1981.

1. Introduction

The genus *Salvia* consists of approximately 1000 species distributed worldwide (Kahraman et al., 2011), with many of them being utilized for herbal teas, food flavoring, cosmetics, perfumery, and pharmaceuticals. There are 99 *Salvia* species in Turkey (Tursun, 2019), more than half of which are found nowhere else (57 species) (Kahraman et al., 2011; Gökdoğan and Bürün, 2022). The well-known herbal plant with antioxidant properties is sage, which is used as a common folk remedy for alleviating various ailments such as antispasmodic and antiseptic (Hamidpour, 2014).

Secondary metabolites, formed through specific biosynthesis mechanisms, serve as a crucial part of the antioxidant system in plants, playing a central role in defending against environmental stressors. These specialized molecules are produced by plants in response to various signals, both internal and external, to ensure their survival and adaptation as relatively immobile organisms (Yeshe et al., 2022). The accumulation of these compounds within cells is often a consistent parameter in plant defense mechanisms, enhancing tolerance to different stresses. The genus *Salvia* is significant in this context, as it contains more than 160 identified phenolics and polyphenols. The type and quantity of phenolic acid derivatives may vary among *Salvia* species and different plant parts. The biosynthesis of secondary metabolites in *S. officinalis* is influenced by various genetic, environmental, and physiological factors. These specialized compounds, including rosmarinic acid (RA), caffeic acid derivatives, and terpenoids, play crucial roles in plant defense mechanisms, stress response, and ecological interactions. RA is a phenolic compound abundantly present in *S. officinalis*, where it serves as a major bioactive constituent contributing to the herb's therapeutic effects. Extensive research has demonstrated the diverse pharmacological activities of RA, ranging from antioxidant and anti-inflammatory actions to neuroprotective and anticancer properties (Noor et al., 2022). The biosynthetic pathway leading to RA involves the concerted action of enzymes within the phenylpropanoid and tyrosine-derived pathways, with regulatory mechanisms governing its production in plant tissues (Petersen et al., 2009).

Propagation of sage plants can be achieved through cuttings and seeds, but traditional propagation methods are seldom used due to low seed germination rates, poor seedling development, and slow growth. However, tissue culture techniques are recognized as one of the most effective methods for propagating sage plants (Avato et al., 2005), particularly for obtaining higher quantities of secondary metabolites. *In vitro* plant culture has been considered as an alternative subject to strict control, can generate the same valuable natural products (Espinosa-Leal et al., 2018). In recent years, the establishment of callus culture systems has emerged as a promising strategy for the mass production of bioactive compounds from medicinal plants like *S. officinalis*. Callus cultures, consisting of

undifferentiated, rapidly proliferating cells, offer several advantages over conventional plant cultivation methods, including year-round availability, controlled growth conditions, and enhanced production of secondary metabolites.

Numerous studies have demonstrated the potential of *in vitro* cultures, including shoot, root, and callus cultures, as efficient platforms for rosmarinic acid production in sage. For instance, Grzegorzczuk et al. (2005) found that diterpenoid production is strongly associated with shoot differentiation while rosmarinic acid remained consistent across callus, suspension cultures, and shoots. In another study, *in vitro* shoots of *S. officinalis* were established under various cytokinin supplementations, involving the culturing of nodal segments. It was observed that an increase in the concentration of kinetin (KIN) led to a decrease in the accumulation of rosmarinic acid (Santos-Gomes et al., 2002). However, studies demonstrating the effect of amino acids on the amount of rosmarinic acid produced in *Salvia* callus culture are quite limited in number.

RA is a natural antioxidant produced by cell cultures of sage, and its growth and production can be influenced by the type of culture medium (Khojasteh et al., 2020). The primary aim of this study is to investigate the potential of establishing callus cultures from various explants of sage, including leaf, nodes, and shoot explants, and to identify the most effective explant type for callus induction. Furthermore, we seek to assess and compare the influence of tyrosine, phenylalanine and culture duration on the production of rosmarinic acid (RA), a key secondary metabolite with significant biological activities. By elucidating the optimal conditions for callus formation and RA production, this research aims to contribute to the development of efficient biotechnological approaches for the production of valuable bioactive compounds in sage plants.

2. Material and Methods

2.1. Plant Material and Sterilization

This research was carried out in the Plant Biotechnology Laboratory, Department of Biology, Faculty of Arts and Science, Suleyman Demirel University. Sage seedling were grown in pots which contain peat and sand (3:1) in a plant growth room. Light was supplied by lamps (10-15 klux m⁻²) on a photoperiod of 16h/8h day/night at 18 ± 20°C and 51-54% humidity (PeakTech 3695).

The average diameter of 2-2.5 cm sage seedlings washed under running tap water for about 1 h and surface sterilized for 15 min in 15% sodium hypochloride solution, containing 1–2% Tween-80, then rinsed 5-6 times in sterilized distilled water. After this stage, seedlings were kept 15% ethanol for 1 minute and then rinsed 5-6 times in sterilized distilled water.

2.2. Callus Induction and Culture Condition

Murashige and Skoog (MS) (Murashige and Skoog 1962) (Sigma-M0404) basal medium solidified with 0.7% agar and supplemented with 3% sucrose, 0.8 mg/L 2,4-D, 0.5 mg/L 1-naphthaleneacetic acid (NAA) and 2.0 mg/L 6-benzylaminopurine (BAP) as plant growth regulators was used for callus

induction. Callus growth medium was prepared in the same way as the callus induction medium. However, plant growth regulators were added to this medium at a rate of 0.1 mg/L NAA and 1.0 mg/L BAP, and also 10 mg/L L-Tyrosine and 10 mg/L L-Phenylalanine amino acids were added. The pH of the culture medium was adjusted with 1 M NaOH and 1 M HCl to 5.7 ± 0.1 before addition of bacto agar for both media and autoclaved for 20 min at 121°C. The culture medium was dispensed into 9-cm Petri dishes in amounts of about 20 to 25 mL.

Young leaflets (<1-1.5 cm), leaflets (>1-1.5 cm) nodes and shoots of sage seedlings was used as explant source. Explant pieces, 0.3–0.5 cm long, were cut into pieces with sterile scalpel and inoculated onto culture media for callus induction. Each petri dish contains approximately 15 samples. The cultures were maintained darkness and at $25 \pm 2^\circ\text{C}$. After 4 weeks incubation time, callus was transferred to culture medium containing amino acids and maintained under a darkness and at $25 \pm 2^\circ\text{C}$.

2.3. HPLC Analysis of Rosmarinic Acid

The analysis of rosmarinic acid (RA) in the samples was conducted at the Innovative Technologies Application and Research Center, Suleyman Demirel University. For the determination of RA content, 100 mg of dried callus samples were ground and then extracted with 10 ml of methanol for a period of 14 hours at a controlled temperature of $15 \pm 2^\circ\text{C}$. The resulting extracts were subsequently decanted, passed through a 0.45-mm acetate filter, and separated using a Shimadzu High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) system equipped with a Diode Array Detector (DAD) with a maximum wavelength (λ_{max}) of 278 nm, an SIL-10AD vp autosampler, and an LC-10ADvp pumping system. The chromatographic column employed was an Agilent Eclipse XDB-C18 (250x4.60 mm) with a flow rate of 0.8 ml/min. The mobile phase consisted of two solvents, methanol, and 3% acetic acid, which were utilized in a gradient elution process. Each extract was injected in a 20-ml volume and subjected to measurement.

2.4. Statistical analysis

The trials were conducted using the Randomized Block Design pattern, with each trial repeated at least three times. Data analysis involved performing a One-way ANOVA using the SPSS 23.0 software package for variance analysis, followed by the Duncan Multiple Comparison Test to compare the means.

3. Results and Discussion

3.1. Callus Induction

Callus formation was induced from four different types of explants, resulting in a total of 128 calli (71.91%) out of 178 explants. The formation of calli typically occurred within 2-3 weeks, with leaf explants demonstrating a relatively shorter formation time compared to other explant types. All explants produced friable callus; however, many of them exhibited the development of brown necrotic

areas (refer to Figure 2b), which, in some instances, led to the decline and death of the explants. Nevertheless, it was observed that if the browning did not affect the entire tissue, it did not appear to inhibit callus induction. The ability to induce callus formation varied significantly among the four types of explants ($P < 0.05$). The highest percentage of callus induction (100%) was achieved with young leaf explants, followed by 85.45% from regular leaf explants, 60% from nodes, and 7.69% from shoots (Figure 1).

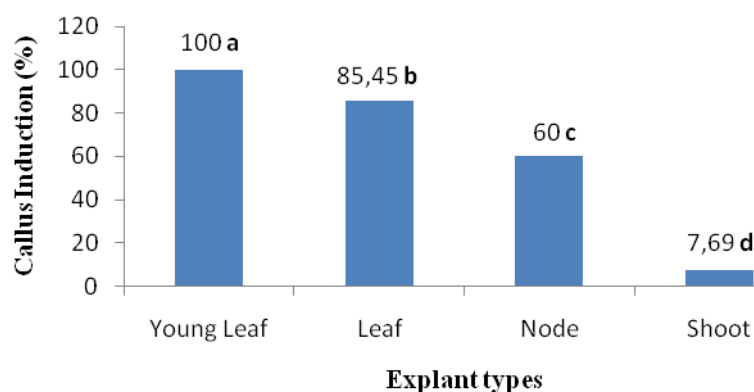


Figure 1. Callus induction capability of various explants. Values with identical letters following them are not statistically different at a significance level of 0.05

Numerous studies have focused on establishing callus cultures in *Salvia* species, highlighting the pivotal role of plant growth regulators like 2,4-D and BAP. Hemmati et al. (2020) found that *Salvia tebesana* exhibited maximum callus formation from shoot apical meristem on MS medium supplemented with 0.5 and 1.5 mg/L 2,4-D + 1 mg/L BAP, emphasizing the significant role of these regulators in callus induction and secondary metabolite production in *Salvia* species. Bano et al. (2022) reported a similar induction success rate in *S. moorcroftiana* L. leaf explants using 1 mg/L 2,4-D and 1.0 mg/L BAP. Our study employed a combination of 0.8 mg/L 2,4-D, 0.5 mg/L NAA, and 2.0 mg/L BAP, achieving 100% callus formation from young leaf explants and 85.45% from regular leaf explants, paralleling the high induction rates observed in previous research. Notably, Jafari et al. (2017) documented a 95% callus induction rate from node-type explants in *S. officinalis* using 2.0 mg/L NAA and 0.5 mg/L BAP, while Mederos-Molina (2004) achieved high induction rates using a higher ratio of NAA to BAP. Our findings of 60% induction from node-type explants and 7.69% from shoot-type explants offer valuable insights into the nuanced responses of different explant types to growth regulator combinations.

In our study, the distinctive combination of growth regulators not only facilitated a high callus induction rate but also underscored the variability in response among different *Salvia* explants. This variability is echoed in the literature, where the optimal hormonal balance for callus induction appears species and explant-specific. For instance, Modarres et al. (2018) developed an efficient procedure for cell suspension culture in *S. leriifolia*, optimizing growth regulators and sucrose concentrations for phenolic acids production. Similarly, Revutskaya et al. (2019) identified the most effective hormonal

combinations for callogenesis in *S. hispanica*, highlighting the impact of growth regulator concentration on callus growth and morphogenic ability.

The literature corroborates our findings that the specific combinations and concentrations of growth regulators play a critical role in the success of callus induction in *Salvia* species. By comparing our results with those in the literature, we demonstrate the complexity of optimizing callus culture conditions, which is influenced by the choice of explant and the specific hormonal balance. This comparison not only validates our experimental approach but also contributes to the growing body of knowledge on in vitro tissue culture techniques in *Salvia* species.

After a 4-week period, the callus was transferred to a callus growth medium containing 10 mg/L of L-Tyrosine and 10 mg/L of L-phenylalanine amino acids. The addition of L-tyrosine (10 mg/L) to the culture medium resulted in a reduced occurrence of necrotic symptoms compared to L-phenylalanine (Figure 2b-c).



Figure 2. Callus appearance 30 days post-inoculation: b) Callus cultured in a medium containing L-phenylalanine amino acid with a slight browning tint c) Callus cultured in a medium containing L-tyrosine amino acid

3.2. Rosmarinic Acid Content

The quantity and quality of growth regulators, along with the presence of sucrose in the culture or different elicitors, exerted evident effects on both culture growth and RA accumulation. Our study aimed to elucidate the accumulation of rosmarinic acid (RA) in *S. officinalis* callus following the addition of two precursor molecules, namely tyrosine and phenylalanine. Upon harvesting callus samples at 1 and 2 months of incubation, we quantified the RA content using HPLC. The inclusion of amino acids significantly enhanced RA synthesis in the callus (Figure 3). Hakkim et al. (2011) reported that RA production reached a maximum when the culture medium was supplemented with 5.0% sucrose, 0.25 g/L phenylalanine, and the elicitor MeJA in *Ocimum sanctum* cell suspension cultures. Ibrahim (1987) found that incorporating phenylalanine into agar-based medium improved rosmarinic acid yield in *Coleus blumei* cell cultures. However, Sahraroo et al. (2018) reported that 3.0 mM phenylalanine led to the highest yield of rosmarinic acid in *Satureja khuzistanica* cell suspension culture, and Khoshshokhan et al. (2023) observed a significant increase in rosmarinic acid content with 0.5 g/L phenylalanine in *Salvia nemorosa* cell suspension culture.

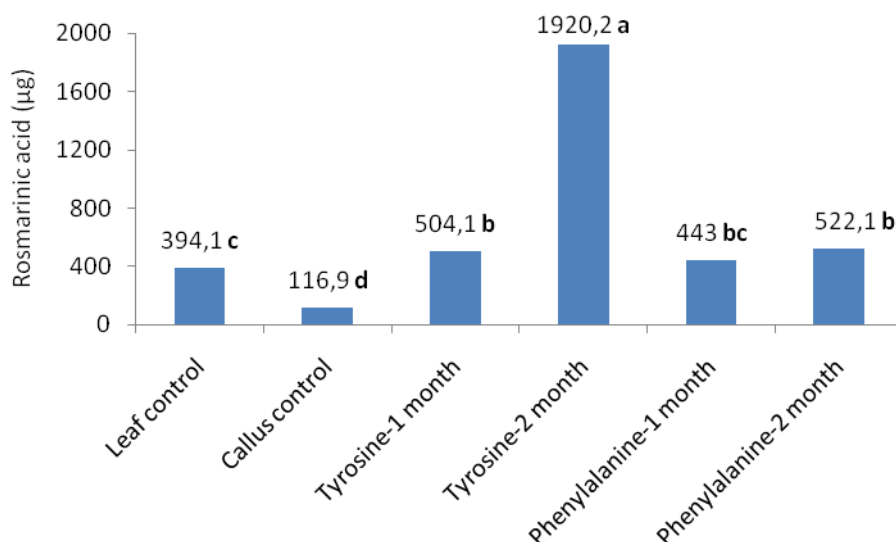


Figure 3. RA production callus using different amino acids and incubation times. Values with identical letters following them are not statistically different at a significance level of 0.05

Significant variations in RA production were observed based on different amino acids and the duration of callus culture in this study. Regardless of the culture duration, significant increases in RA production were observed in both amino acids compared to both leaf control and callus control groups. However, RA accumulation in sage callus cultured in tyrosine-enriched media was higher than in phenylalanine-enriched media, indicating that both amino acids did not elicit similar responses in enhancing RA production. The highest accumulation of RA was observed in callus cultured for 2 months and 1 month in the presence of tyrosine, with 1920.2 µg/g and 504.1 µg/g of RA in the dry callus tissue, respectively (Figure 3). Chaturvedi and Chowdhary (2013) demonstrated the enhancement of kaempferol content in callus cultures using different precursors, among which tyrosine proved to be the most effective precursor. Our study corroborates previous findings regarding the efficacy of tyrosine as a precursor for the enhancement of secondary metabolite production.

It has been observed that calli cultured for 2 months were more successful in RA production, a finding applicable to both amino acids. RA accumulated in 1 and 2 month tyrosine growth callus nearly 1.5-fold to 5-fold and 4.5-fold to 16.5-fold higher than leaf control and callus control, respectively. This value increased approximately 1.1-fold to 1.3-fold and 4-fold to 4.5-fold for 1 and 2 month old phenylalanine callus, respectively. Karam et al. (2003) found that RA production for *S. fruticosa* callus reached its maximum after 5 weeks of culture. Additionally, Kintzios et al. (1999) and Khoshshokhan et al. (2023) obtained similar results at 1-2 weeks and 4-5 weeks after culture for *S. officinalis* callus. Several studies have reported varying levels of rosmarinic acid or other secondary metabolite accumulation in callus lines, which were either positively or inversely related to the tissue growth rate (Bauer et al., 2004; Castro et al., 2016; Duran et al., 2019).

Previous research has indicated that the supplementation of amino acids enhances also various secondary metabolite productions in plant cell cultures (Masoumian et al., 2011; Indu et al., 2013).

Taha et al. (2009) reported that the highest values of mass cell cultures and indole alkaloid production in *Catharanthus roseus* were achieved with a modified MS medium containing 300 mg/L of either L-glutamine for mass cell induction or L-tryptophan for the enhancement of total indole alkaloids. Additionally, Ahmed et al. (2000) demonstrated that the indole alkaloid content of callus tissue from *Catharanthus roseus* was increased through amino acid supplementation. The impact of proline on thymol production in *Origanum vulgare* and on hyoscyamine and scopolamine in callus culture of *Hyoscyamus niger* has been investigated by Al-Jibouri et al., (2012a-b), revealing that proline enhanced the production of secondary metabolites in callus tissue. Moreover, Roy and Mukhopadhyay (2012) demonstrated that the application of excess amino acids increased tissue growth, elevated carbon levels, and enhanced phenol accumulation, possibly by stimulating the key enzyme Phenylalanine Ammonia Lyase activity. Similar increases in the contents of secondary metabolites have been observed in callus and regenerated plants of various species (Arya and Patni, 2013; Chakraborty et al., 2013; Samani et al., 2019).

However, some studies have shown that also different elicitors affect the amount of rosmarinic acid in *Salvia* species. Supporting our findings, Ejtahed et al. (2015) showed that the application of salicylic acid led to an up-regulation of PAL gene expression, albeit without a direct positive correlation to RA accumulation in *Salvia* species, suggesting the involvement of complex regulatory mechanisms in RA biosynthesis. Similarly, Su et al. (2020) highlighted the potential of optimizing extraction conditions, including the use of enzymatic methods, to enhance RA yield from *S. officinalis*, pointing towards biotechnological approaches as effective means to increase RA availability. This aligns with our observation of significant RA production enhancement following amino acid supplementation, suggesting a promising avenue for targeted genetic interventions to optimize RA yields.

Moreover, the study by Pirooz et al. (2022) on the synergistic effects of silicon and nitric oxide in modulating secondary metabolism under stress conditions in *S. officinalis* further supports the potential of elicitation strategies in improving RA and other secondary metabolite productions. These findings collectively underscore the complexity of RA biosynthesis and the potential for biotechnological and genetic strategies to enhance RA production in medicinal plants.

4. Conclusion

In conclusion, among the studied explants of sage, the young leaf explant was found to have the highest callus induction capacity. It was observed in the present investigation that both of amino acid but specially L-tyrosine could be effective in rosmarinic acid production in callus cultures of sage. Particularly, the rosmarinic acid levels in calli cultured for 2 months, which applies to both amino acids, were higher than those cultured for 1 month. The observed variation in RA accumulation between L-tyrosine and L-phenylalanine treatments underscores the importance of precursor selection in optimizing secondary metabolite yields. These results suggest potential avenues for further investigation into the metabolic pathways involved in RA biosynthesis and the optimization of callus

culture conditions for enhanced RA production. The cultivation conditions of plants from which rosmarinic acid and other secondary metabolites are obtained, due to their lengthy growth processes and seasonal limitations, *in vitro* culture will offer significant advantages in many sectors such as cosmetics and pharmaceuticals.

Acknowledgements

I would like to express my gratitude to Ahmet Serhat Tulgar, Yeşim Koparal, and Melek Altuncu for their contributions during the experimental phase.

Conflict of interest

The author declare that have no competing interests.

Consent for publication

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

References

- Ahmed FA., Abdel-Fateh OM., Kobeasy MT., Ahmed OK. Factors affecting growth and indole alkaloid content of catharanthus calli (*Catharanthus roseus* L.) amino acids, casein hydrolysate and irradiation. Arab Journal of Biotechnology 2000; 3: 61-70.
- Al-Jibouri AMJ., Abd AS., Majeed DM., Ismail EN. Influence of abiotic elicitors on accumulation of thymol in callus cultures of *Origanum vulgare* L. Journal of Life Sciences 2012a; 6(10): 1094-1099.
- Al-jibouri AMJ., Al-Samarraei KW., Abd AS., Mageed DM., Ali AA. Alkaloids production from callus of *Hyoscyamus niger* L. in vitro. Journal of Life Sciences 2012b; 6, 874-882.
- Arya D., Patni V. Comparative analysis of total flavonoids and quercetin content *in vivo* and *in vitro* and enhancement of quercetin via precursor feeding *Inpluchea lanceolata* Oliver & Hiern. International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research 2013; 5(3): 617-621.
- Avato P., Fortunato I., Ruta CD., Elia R. Glandular hairs and essential oils in micropropagated plants of *Salvia officinalis* L. Plant Science 2005; 169(1): 29-36.
- Bano AS., Khattak AM., Basit A., Alam M., Shah ST., Ahmad N., Gilani SAQ., Ullah I., Anwar S., Mohamed HI. Callus induction, proliferation, enhanced secondary metabolites production and antioxidants activity of *Salvia moorcroftiana* L. as influenced by combinations of auxin, cytokinin and melatonin. Brazilian Archives of Biology and Technology 2022; 65: e22210200.
- Bauer N., Leljak-Levanic D., Jelaska S. Rosmarinic acid synthesis in transformed callus culture of *Coleus blumei* Benth. Zeitschrift für Naturforschung C 2004; 59(c): 554-560.

- Castro AHF., Braga GQ., Sousa FM., Coimbra MC., Chagas RCS. Callus induction and bioactive phenolic compounds production from *Byrsonima verbascifolia* (L.) DC. (Malpighiaceae). *Revista Ciencia Agronomica* 2016; 47(1): 143-151.
- Chakraborty N., Banerjee D., Ghosh M., Pradhan P., Gupta NS., Acharya K., Banerjee M. Influence of plant growth regulators on callus mediated regeneration and secondary metabolites synthesis in *Withania somnifera* (L.) Dunal. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 2013; 19(1): 117-125.
- Chaturvedi P., Chowdhary A. Enhancement of antioxidant compound in *Tylophora indica* (Asclepeadaceae) callus. *Advances in Applied Science Research* 2013; 4(2) 325-330.
- Duran RE., Kilic S., Coskun Y. Melatonin influence on in vitro callus induction and phenolic compound production in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *In Vitro Cellular & Developmental Biology* 2019; 55(4): 468-475.
- Ejtahed RS., Radjabian T., Hoseini Tafreshi SA. Expression analysis of phenylalanine ammonia lyase gene and rosmarinic acid production in *Salvia officinalis* and *Salvia virgata* shoots under salicylic acid elicitation. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 2015; 176(7): 1846-1858.
- Espinosa-Leal CA., Puente-Garza CA., García-Lara S. In vitro plant tissue culture: means for production of biological active compounds. *Planta* 2018; 248(1): 1-18.
- Gökdoğan EY., Bürün B. The studies on seed germination and in vitro cultures of *Salvia* L. species from Turkish flora. *Nat. Pro. Biotech.* 2022; 2(1): 60-73.
- Grzegorzczak I., Bilichowski I., Mikiciuk-Olasik E., Wysokinska H. In vitro cultures of *Salvia officinalis* L. as a source of antioxidant compounds. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 2005; 74(1): 17-21.
- Hakkim FL., Kalyani S., Essa M., Girija S., Song H. Production of rosmarinic in *Ocimum sanctum* cell cultures by the influence of sucrose, phenylalanine, yeast extract, and methyl jasmonate. *International Journal of Medical Biochemistry* 2011; 2(4) :1070-1074
- Hamidpour M., Hamidpour R., Hamidpour S., Shahlari M. Chemistry, pharmacology and medicinal property of sage (*Salvia*) to prevent and cure illnesses such as obesity, diabetes, depression, dementia, lupus, autism, heart disease and cancer. *Journal of Traditional and Complementary Medicine* 2014; 4(2): 82-88.
- Hemmati N., Cheniany M., Ganjeali A. Effect of plant growth regulators and explants on callus induction and study of antioxidant potentials and phenolic metabolites in *Salvia tebesana* Bunge. *Botanica Serbica* 2020; 44(2): 163-173.
- Ibrahim RK. In: Constabel F, Vasil IK (eds) *Cell culture and somatic cell genetics of plants*. Academic, New York, 1987; 77-96.
- Indu S., Vijaya L., Meeta B., Jossy V., Naresh C. Production of flavonoids in callus culture of *Anthocephalus indicus* A. Rich. *Asian Journal of Plant Sciences* 2013; 12(1): 40-45.

- Jafari S., Daneshvar MH., Salmi MS., Abdi LJ. Indirect organogenesis and plant regeneration in common sage (*Salvia officinalis* L.): An important medicinal plant of Iran. *Modern Applied Science* 2017; 11(5): 22-29.
- Kahraman A., Doğan M., Celep F. *Salvia siirtica* sp. nov. (Lamiaceae) from Turkey. *Nordic Journal of Botany* 2011; 29(4): 397-401.
- Karam NS., Jawad FM., Arikat NA., Shibli RA. Growth and rosmarinic acid accumulation in callus, cell suspension, and root cultures of wild *Salvia fruticosa*. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 2003; 73: 117-121.
- Khojasteh A., Mirjalili MH., Alcalde MA., Cusido RM., Eibl R., Palazon J. Powerful plant antioxidants: A new biosustainable approach to the production of rosmarinic acid. *Antioxidants* 2020; 9(12): 1273.
- Khoshsokhan F., Babalar M., Salami SA., Sheikhabari-Mehr R., Mirjalili MH. An efficient protocol for production of rosmarinic acid in *Salvia nemorosa* L. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant* 2023; 59: 298-314.
- Kintzios S., Nikolaou A., Skoula M. Somatic embryogenesis and *in vitro* rosmarinic acid accumulation in *Salvia officinalis* and *S. fruticosa* leaf callus cultures. *Plant Cell Reports* 1999; 18(6): 462-466.
- Masoumian M., Arbakariya A., Syahida A., Maziah M. Effect of precursors on flavonoid production by *Hydrocotyle bonariensis* callus tissues. *African Journal of Biotechnology* 2011; 10(32): 6021-6029.
- Mederos-Molina S. In vitro callus induction and plants from stem and petiole explants of *Salvia canariensis* L. *Plant Tissue Culture* 2004; 14(2): 167-172.
- Modarres M., Esmailzadeh Bahabadi S., Taghavizadeh Yazdi ME. Enhanced production of phenolic acids in cell suspension culture of *Salvia leriifolia* Benth. using growth regulators and sucrose. *Cytotechnology* 2018; 70(2): 741-750.
- Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum* 1962; 15(3): 473-497.
- Noor S., Mohammad T., Rub MA., Raza A., Azum N., Yadav DK., Hassan MI., Asiri AM. Biomedical features and therapeutic potential of rosmarinic acid. *Archives of Pharmacal Research* 2022; 45(4): 205-228.
- Petersen M., Abdullah Y., Benner J., Eberle D., Gehlen K., Hucherig S., Janiak V., Kim KH., Sander M., Weitzel C., Wolters S. Evolution of rosmarinic acid biosynthesis. *Phytochemistry* 2009; 70(15-16): 1663-1679.
- Pirooz P., Amooaghaie R., Ahadi A., Sharififar F., Torkzadeh-Mahani M. Silicon and nitric oxide synergistically modulate the production of essential oil and rosmarinic acid in *Salvia officinalis* under Cu stress. *Protoplasma* 2022; 259(5): 905-916.

- Revutskaya AZ., Holubenko A., Nuzhyna N., Rudik HO., Taran N. Introduction to in vitro culture and callus initiation in *Salvia hispanica* L. (chia). The Bulletin of Ukrainian Society of Geneticists and Breeders 2019; 17(1): 33-37.
- Roy D., Mukhopadhyay S. Enhanced rosmarinic acid production in cultured plants of two species of *Mentha*. Indian Journal of Experimental Biology 2012; 50(11): 817-825.
- Sahraroo A., Mirjalili MH., Corchete P., Babalar M., Moghadam MRF. Establishment and characterization of a *Satureja khuzistanica* Jamzad (Lamiaceae) cell suspension culture: A new in vitro source of rosmarinic acid. Cytotechnology 2018; 68(4): 1415-1424.
- Samani MR., Pirbalouti AG., Moattar F., Golparvar ARL. Phenylalanine and bio-fertilizers interaction effects on growth, yield and chemical compositions and content of essential oil from the sage (*Salvia officinalis* L.) leaves. Industrial Crops and Products 2019; 137(2): 1-8.
- Santos-Gomes PC., Seabra RM., Andrade PB., Fernandes-Ferreira M. Phenolic antioxidant compounds produced by in vitro shoots of sage (*Salvia officinalis* L.). Plant Science 2002; 162(6): 981-987.
- Su C., Pham TTT., Cheng HH. Aqueous enzymatic extraction of rosmarinic acid from *Salvia officinalis*: Optimisation using response surface methodology. Phytochemical Analysis 2020; 31(5): 575-582.
- Taha HS., El-Bahr MK., Seif-El-Nasr MM. In vitro studies on Egyptian *Catharanthus roseus* (L.) G. Don. IV: manipulation of some amino acids as precursors for enhanced of indole alkaloids production in suspension cultures. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 2009; 3(4): 3137-3144.
- Tursun AÖ. The effects of different applications on breaking dormancy of *Salvia verticillata* L. (Lilac Sage). KSU Journal of Agriculture and Nature 2019; 22(1): 30-37.
- Yeshi K., Crayn D., Ritmejerytė E., Wangchuk P. Plant secondary metabolites produced in response to abiotic stresses has potential application in pharmaceutical product development. Molecules 2022; 27(1): 313.



Mimari Bağlamda Kullanıcı Odaklı Tasarım

Elife BÜYÜKÖZTÜRK^{1*}

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mimarlık Tasarım ve Güzel Sanatlar Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 80000, Osmaniye

¹<https://orcid.org/0000-0001-8616-3641>

*Sorumlu yazar: ebuyukozturk@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 04.01.2024

Kabul tarihi: 22.04.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Kullanıcı odaklı tasarım

İşlevlendirme

Atölye çalışması

ÖZ

Mekânın insan ile ilişkisi farklı disiplinlerin yaklaşımıyla sıkça karşımıza çıkan bir konudur. Mimarlık özelinde ise kullanıcı odaklı tasarıma dikkat çekmek amacıyla iç mimarlık bölümü 4. sınıf öğrencileriyle 2023-2024 güz döneminde “yeniden işlevlendirme” konulu bir atölye çalışması gerçekleştirilmiştir. Örnek alan olarak Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Karacaoğlan Yerleşkesi, Öğrenci Yurtları ve diğer eğitim yapılarına yakın konumlanan, ancak öğrencilerin vakit geçirmek için tercih etmediği saptanan “Karaçay Yürüyüş Yolu ve Beymail Kafe” seçilmiştir. Çalışmanın yöntemini yerinde tespit, gözlem, fotoğrafçılık teknikleri ve 2d, 3d programların kullanıldığı İç Mimarlık 4.sınıf öğrencileri aracılığıyla yürütülen bir atölye çalışması oluşturmaktadır. 3 aşamada gerçekleştirilen atölye çalışmaları sonucunda doğru kullanıcı kitlesi tarafından kullanılabilirliği etkin kılacak öneri işlevler öngörülmektedir. Atölye çalışmalarında yeniden işlevlendirme önerileri işlevsellik, erişilebilirlik, güvenlik, esneklik, görsellik parametreleri kapsamında geliştirilmiştir. Bu işlevlendirmeler ile alan genelinde yapılacak olan iyileştirme çalışmaları beraberinde alanın kullanılabilirliğine katkı sağlanmış olacaktır.

User-Oriented Design in the Architectural Context

Research Article

Article History:

Received: 04.01.2024

Accepted: 22.04.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

User-oriented design

Functioning

Workshop

ABSTRACT

The relationship of space with people is a frequently encountered issue with the approach of different disciplines. In terms of architecture, it stands out in a user-oriented context. In this publication, a workshop on "re-functioning" was held with 4th grade students of the interior architecture department in the fall semester of 2023-2024 in order to draw attention to user-oriented design. "Karaçay Walking Path and Beymail Café", which is located close to Osmaniye Korkut Ata University Karacaoğlan Campus, Student Dormitories and other educational structures but determined that students do not prefer to spend time, were selected as the sample area. The method of the study consists of a workshop conducted by 4th grade Interior Architecture students using on-site detection, observation, photography techniques and 2D and 3D programs. As a result of the workshops carried out in 3 stages, suggested functions that will enable usability by the right user group are foreseen. In the workshops, re-functional suggestions were developed within the scope of functionality, flexibility and visibility parameters. With these functionalizations, the improvement works to be carried out throughout the area will contribute to the use of the area.

To Cite: Büyükoztürk E. Mimari Bağlamda Kullanıcı Odaklı Tasarım. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(5): 1982-1998.

1. Giriş

Bir mekânın var olması merkezindeki insan kavramı ile doğrudan ilişkilidir (Erap ve ark., 2021). Norberg-Schulz “mekân insan eylemlerine göre şekillenir” cümlesiyle, insan ve mekân arasındaki ilişkiye dikkat çekmektedir (Norberg-Schulz, 1971). Öztürk (2021)’e göre de mekân tasarlama eylemi kullanıcısı olan insan tarafından yürütülen bir süreçtir. İnsan, kullanıcı bir birey olarak mekânı şekillendirirken toplumun öznesidir. Mekân ise toplumunun şekillenmesinde kullanıcının algısı, eylemleri, alışkanlıkları ve deneyimi ile önem kazanmaktadır (Erap ve ark., 2021).

İhtiyaca dayalı çözüm arayışında her tasarım insanın beden, eylem ve kullanım olgusu bağlamında şekillenmiştir. İnsan bedenini ölçüt olarak oluşturulan ergonomik alan, mobilya tasarlama olgusu mimari çalışmalara her zaman yön vermiştir. Ergonomi ve evrensel tasarım yaklaşımında insan eylemlerinin etkileri ayrı ayrı değerlendirildiğinde bu ortak payda ile sürekli karşılaşılmaktadır (Erap ve ark., 2021). Son 30 yıldır ise kullanıcı odaklı tasarımlar birçok disiplin araştırmalarına konu olmaktadır (Traş, 2015). Sanders ve Stappers (2008)’e göre mimarlık pratiği kullanıcısını sürece dahil eden tasarım yaklaşımına doğru evrilmektedir.

Bir mekânda iyi bir tasarımdan söz edebilmek için mekânın ihtiyaca yönelik tasarlanması gereklidir. İhtiyacı doğrultusunda tasarlanan yapılar; sürdürülebilir, uzun ömürlü ve yaşayan alanlardır. Mekânlar kullanıcısına uygun tasarlanmakla değer ve anlam kazanarak, yaşayan alanlara dönüşürler (Körlü, 2015). Çünkü kullanıcısına uygun çözüm arayarak hizmet veren yapılar, bireyin yaşadığı alanı en verimli noktaya getirmeyi amaçlarlar ve bu doğrultuda çözüm önerileri sunarlar.

Gelişmiş ülkelerde başarılı olarak değerlendirilen kentsel ya da mekânsal tasarımlar, kullanıcısı odağa alınarak yapılandırılan projelerdir (Ersoy, 2010). Mekânın kullanılabilirliği etkin kılınarak başarılı olarak nitelendirilmesi, ancak onu kullanacak olan hedef insan kitlesinin doğru saptanıp, buna uygun tasarlanmasıyla mümkündür. Kullanıcısına uygun tasarımlar yapılırken yapılan literatür taramalarında bazı ölçütler geliştirildiği saptanmıştır. Tankut (2021) bu ölçütleri; mekânsal organizasyon, görsel parametreler, işitsel ve termal konfor, mekânların örgütlenmesi ve erişilebilirlik ve esnekleri başlıklarında toplamıştır. Kuru (2015) ise mekânların fiziksel ve duygusal parametrelerin düşünülerek tasarım yapmak gerektiğine değinmiştir.

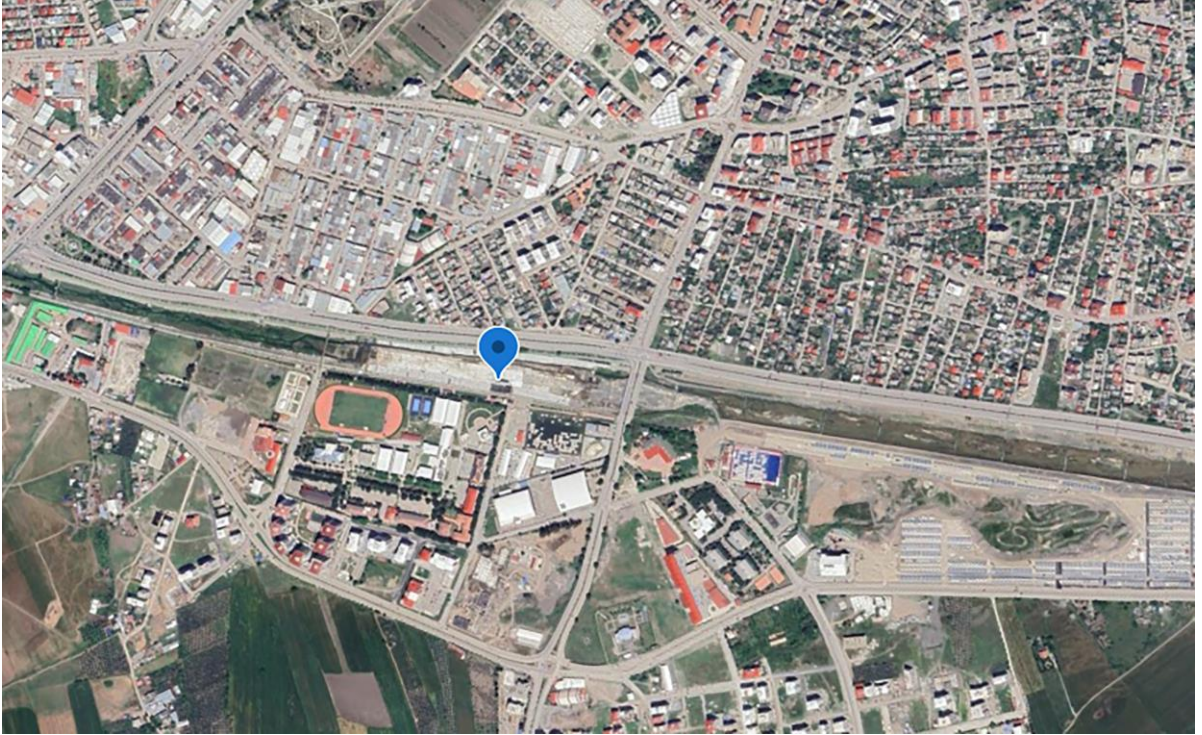
Kullanıcı odaklı katılımcı tasarım anlayışı, kullanıcı ihtiyaçlarına daha uygun ve kullanıcıya daha fazla değer katan ürünler ortaya koymaktadır. Literatürde, katılımcı tasarımın farklı alanlarda ve farklı yöntemlerde uygulamaları bulunmaktadır (Olsson ve Jonsson, 2005; Bruno ve ark., 2010; Vines ve ark., 2013; Lukyanenko ve ark., 2016; Demir ve ark., 2018). Kullanıcı odaklı katılımcı tasarım uygulamaları tasarım sürecinin ilk evrelerinde, tasarım fikirlerinin paylaşılması ve kullanıcıyla birlikte geliştirilmesini sağladığından, tasarım yöntemi olarak önemli bir veri oluşturmaktadır (Kang ve ark., 2014).

Çalışmanın amacı “bir mekânın ya da alanın hedef kitlesine yani kullanıcısına uygun tasarımı, alanın kullanılabilirliğini artırarak sürdürülebilirliğine katkı sağlayacaktır” hipotezini örnek bir alan üzerinden test etmektir. Bu bağlamda Osmaniye ili, Fakiuşağı mahallesinde, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi ve Liseler kampüsüne yakın bir çevrede bulunan; “Karaçay Yürüyüş Yolu ve Beymail Kafe” alanının

çevresindeki yapılara uygun işlevlendirilemediği gözlem yoluyla tespit edilerek, çalışmanın örneklem alanı olarak seçilmiştir. Çalışma kapsamında saha alanında kullanıcı odaklı tasarımlar ve iyileştirme önerileri içeren bir atölye çalışmasında deneyimlenerek, aktarılmıştır. Literatür verileri kapsamında incelenen kriterlerden işlevsellik, erişilebilirlik, güvenlik, esneklik, görsellik parametreleri “Karaçay Yürüyüş Yolu ve Beymail Kafe ve yakın çevresi” üzerinde değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi 2023-2024 güz döneminde İç Mimarlık Bölümü 4. sınıf öğrencileriyle kullanıcı odaklı tasarıma farkındalık yaratmak amacıyla “yeniden işlevlendirme” konulu bir atölye çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışma 18-23 yaş aralığında olan 37 öğrenciden oluşan 7 grup ile yüz yüze yürütülmüştür. Dönem içerisinde ders çalışmalarına ek olarak öğrencilerin istekleri doğrultusunda toplantılar yapılmış, süreçle ilgili ders yürütücüsünün görüşleri alınmıştır. Gruplar gönüllülük ilkeleri doğrultusunda öğrenciler tarafından oluşturulmuştur. Öğrencilerin kullanıcı odaklı tasarım hakkında bilgi edinerek, tasarım ürünleri ortaya koymalarına olanak tanıyacak olan bu çalışmanın ana hedefi doğru kullanıcı kitlesine uygun tasarıma dikkat çekmektir. Bu kapsamda Osmaniye ili Fakiuşağı Mahallesi, Güney çevre yolu bitişiği, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Karacaoğlan Yerleşkesi, öğrenci yurtları ve diğer eğitim yapılarına yakın konumlanan, üst kesimin kullanımı için tasarlanan “Karaçay Yürüyüş Yolu ve Beymail Kafe” örneklem alanı olarak seçilmiştir (Şekil 1).

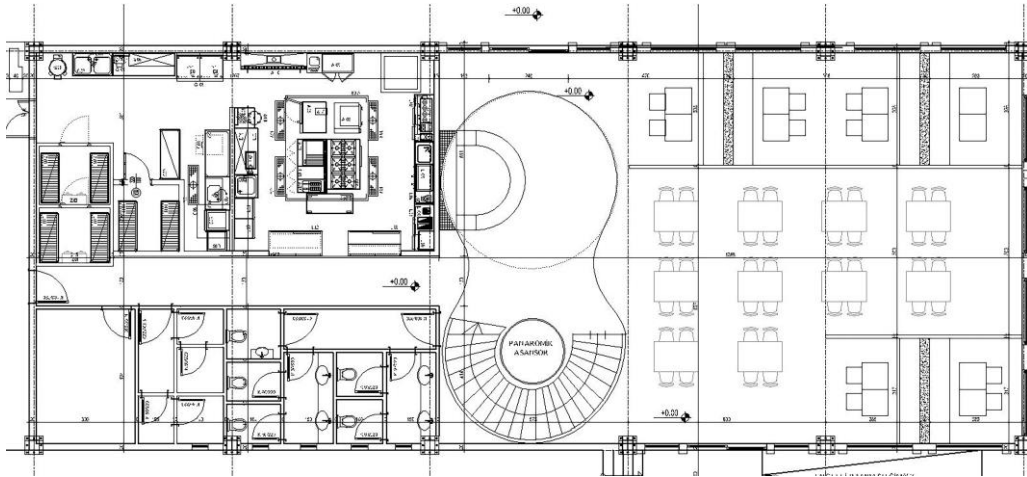


Şekil 1. Çalışma alanı (URL 1).

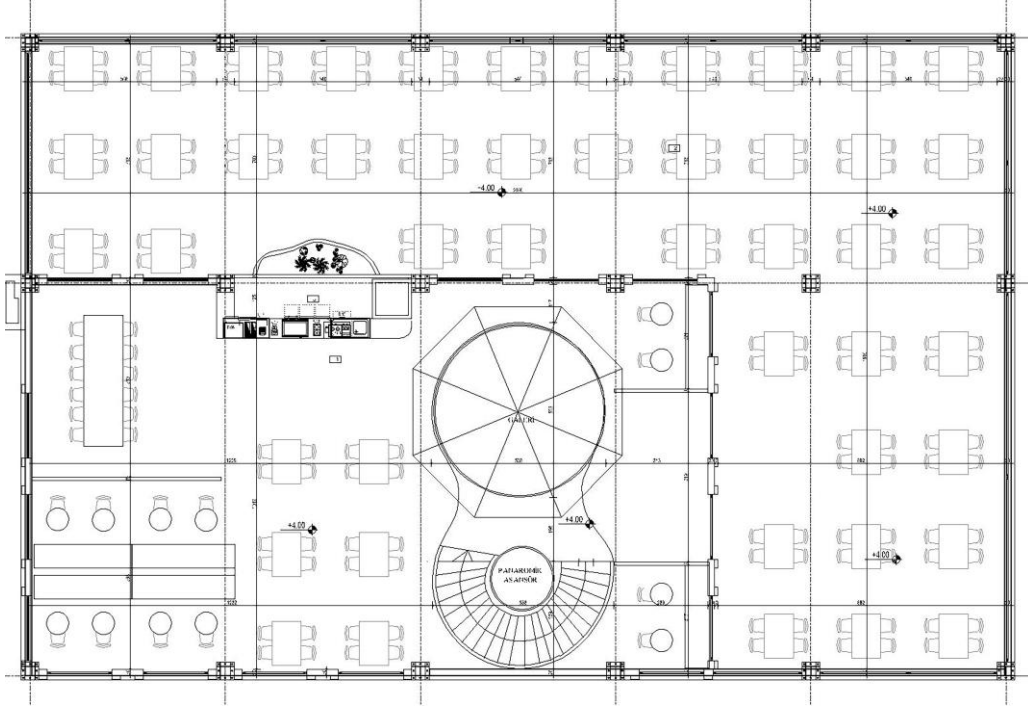
Örnekleme alanı; park, 2 adet çocuk oyun alanı, 25 metre derinliğinde Karaçay deresi, mesire alanı, yürüyüş ve bisiklet yolları vb. birçok aktiviteye olanak sağlamaktadır. Ayrıca alan içerisinde 2017’de inşa edilen bir adet kafe bulunmaktadır. 2022’de kafe işleyişinde yaşanan bazı aksaklıklar (ıslak hacim sorunu, alt kat-üst kat arası erişim problemi) sebebiyle yapının 10 metre uzağına yeniden tasarlanarak inşa edilmesi gündeme gelmiştir. Kafe projesinde özellikle kentin ekonomik anlamda üst kesimi dikkate alınarak, nezih bir ortam oluşturulmak hedeflenmiştir. Çalışmada, henüz inşaat aşamasında olan bu yapı ve âtil durumda kalacak olan eski yapı “kullanıcı odaklı tasarım” yaklaşımı ile öğrenciler aracılığıyla yeniden işlevlendirilmiştir. Öğrenci kullanımına yürüme mesafesi yakınlığında olan bu alanın neden kullanılmadığının sorgulanmasıyla başlayan çalışma süreci, alanın kullanıcısı düşünülerek doğru işlevlendirilmesi gerekliliği belirlenip sürdürülmüştür. Çalışma esnasında öğrenciler işlev seçiminde serbest tutulmuştur. Öğrencilerin seçtikleri işlev doğrultusunda ders yürütücüsü ihtiyaç listeleri belirlemiştir. İhtiyaç listeleri belirlenen projelerin işlev akış şemaları ise alınan kritiklerle revize edilmiştir. Projelendirme esnasında seçilen yapıların ortak kullanım alanları, sosyal alanları, ıslak hacimleri, teknik birimleri çözümlenmesi sağlanmıştır. Ayrıca benzer atölye çalışmalarında da bu sürecin işlev seçimi, akış şeması, plan gerekliliği doğrultusunda gerekli çizimler kapsamında yürütülüp, bir standart sisteme yerleştirilebileceği düşünülmektedir.

3. Bulgular

Çalışma kapsamında saha alanının tarihçesi, çevresi, içinde bulunduğu kültürel çevre ve kullanıcılarının gereksinimlerinin araştırılması ve bu amaçla iç mekân kurgularının tasarlanması amacıyla atölye çalışmaları üç aşamada yürütülmüştür. İlk aşamada proje bilgileri öğrencilere aktararak, alana yönelik analiz çalışmaları yapılmıştır. Yapı kentin kesimin kullanımına yönelik kafe, restoran projesi olarak kurgulanmıştır. Projelendirilmesinde zemin katta mutfak, kasa ve oturma birimleri, 1. katında ise toplantı alanı ve açık teras çözümlenmiştir (Şekil 2, 3). Analizler doğrultusunda alanın potansiyel kullanıcıları saptanmıştır. İkinci aşamada yeni kullanıcı kitlesine uygun işlev önerileri geliştirilmiş, üçüncü aşamada ise yeniden işlevlendirme kapsamında yapının iç mekânı tasarlanmıştır.



Şekil 2. Mevcut proje zemin kat planı



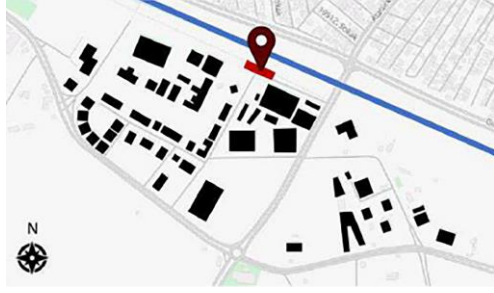
Şekil 3. Mevcut proje 1.kat planı

Tasarım Süreci

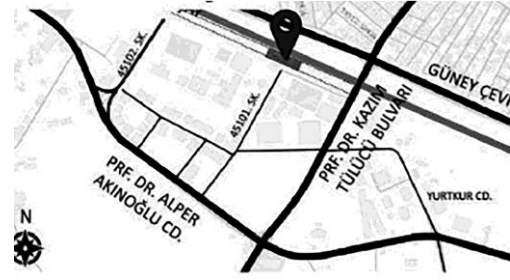
Üniversitelerde bulunan Mimarlık, İç Mimarlık bölümlerinde öğrenciler atölyelerde maketler yapmakta, projeler çizmekte ve ürettikleri projeleri yine aynı atölyede akademisyenlerden oluşan ders yürütücülerine sunmaktadır. Dolayısıyla Mimarlık, İç Mimarlık Bölümü atölyeleri kullanıcı bir iyileştirme çalışmaları için en verimli ortamlardandır (Öztürk, 2023). Bu kapsamda ele alınan çalışmada ilk hafta öğrencilere kullanıcı odaklı tasarım konusunda bilgi verilmiş, proje çalışma programı aktarılmıştır. Ardından alanda ders dışında teknik geziler yürütülmüştür. Alan öğrencilerin daha önce buldukları, ancak kullanımına uygun işlev olmaması sebebiyle tercih etmedikleri bir bölgedir. Alanın üniversiteye ve kyk yurtlarına yakın konumlanması, öğrencilerin alanda sık sık bulunup, gözlem yapabilmelerine olanak tanımıştır. Veri toplama aşamasından sonra bulgular grup olarak tartışılmış ve değerlendirilmiştir. Ön proje çalışmaları ders içi-ders dışı alınan kritiklerle yeniden şekillendirilmiştir.

Aşama 1: Analiz Aşaması

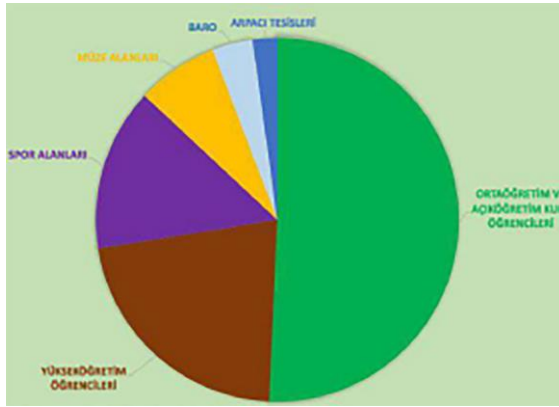
Çalışmaların ilk aşamasında öğrenciler tarafından bölgedeki morfolojik analizler kapsamında doluluk boşluk oranı, işlev, ulaşım durumu analizleri yapılmıştır (Şekil 4, 5, 6, 7). Yapılan analizlerde alanın eğitim tesislerine potansiyel yakınlığına dikkat çekilerek, alan kullanıcısı 14-24 yaş aralığındaki öğrenciler ve akademisyenler olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. Doluluk boşluk oranı analizi
(Grup 1 çalışması)



Şekil 5. Ulaşım analizi
(Grup 1 çalışması)



Şekil 6. Kullanıcı kitlesi analizi
(Grup 1 çalışması)



Şekil 7. İşlev analizi
(Grup 1 çalışması)

Grup 2 ise Swot Analizi yaparak alanın güçlü yönlerini mekâna erişimin kolaylığı (erişilebilirlik), açık yeşil alan olanakları; zayıf yönlerini ise görsel parametreler kapsamında aydınlatma eksikliği, çevre kirliliği olarak belirlemişlerdir. Fırsatlar kapsamında Karaçay deresinin ve barajının bulunması, tehditler başlığında ise güvenlik sorununu dile getirmişlerdir.

3. ve 4. grup ise kullanıcıların istek ve ihtiyaçlarını belirlemeye yönelik gözlem ve fotoğraflama yöntemiyle çevre analizleri yaparak bölgede; lise kampüslerinin, üniversitenin ve öğrenci yurtlarının bulunmasına dikkat çekmişlerdir (Şekil 8).

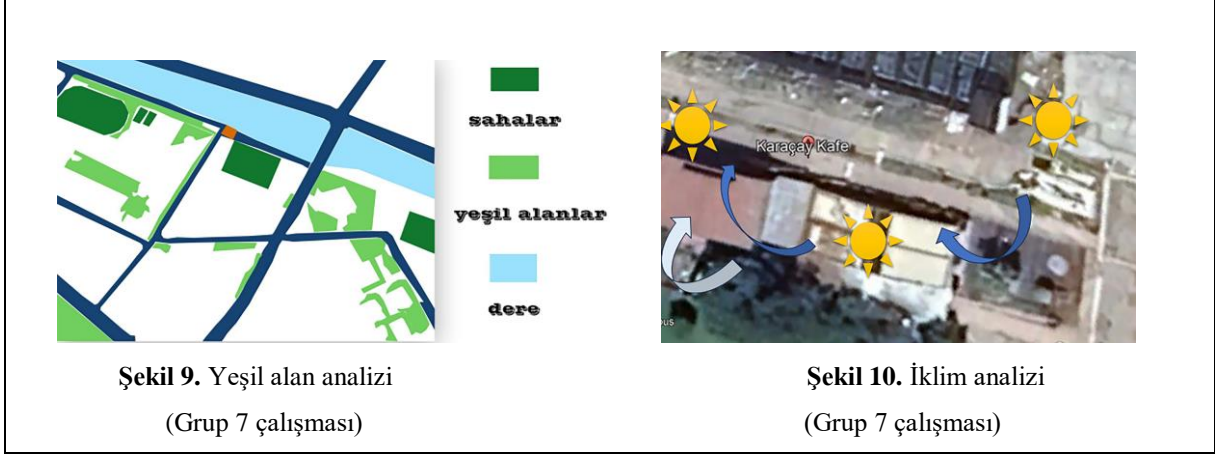


Şekil 8. Grup 3 çevre analizi

Grup 5 katılımcıları analiz çalışmaları sonucunda bölgedeki eğitim yapılarının yoğunluğuna ve kente çok uzak olmaması sebebiyle kentli tarafından kullanımının uygunluğuna dikkat çekerek her iki kesimin birlikte kullanımına olanak tanıyacak tasarım yaklaşımı benimsemiştir. Bu bağlamda öğrenciler yerel halk ile sözlü mülakatlar gerçekleştirilerek “Karaçay Yürüyüş Yolu ve Beymail Kafe” örneklem alanında farklı kullanıcı gruplarının alana bakışını sorgulamışlardır. Mülakat kapsamında nelerin eksik olduğu ve nasıl bir alan görmek istedikleri soruları halka yöneltilmiş ve alınan yanıtlar kapsamında güvenlik, erişilebilirlik ve görsellik parametreleri doğrultusunda iyileştirmelere olanak tanıyan tasarım yaklaşımları benimsenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Grup 6, alandaki her yaş grubuna uygun tasarlanmış çocuk oyun alanlarına dikkat çekerek, halk ve öğrenci kitlesine uygun işlevlendirilmesinin yanı sıra çocukları göz ardı etmeyen tasarım üzerinde çalışmışlardır. Bu kapsamda öğrenciler alanı kullanan farklı yaş gruplarını, farklı zamanlarda gözlemleyerek ihtiyaçlarını belirlemişler ve bu doğrultuda tasarım kararları almışlardır.

Grup 7’deki öğrenciler ise diğer gruplar tarafından yapılan analizlere ek olarak iklim ve yeşil alan analizi yaparak tasarım kararlarına yansıtılmışlardır (Şekil 9, 10).



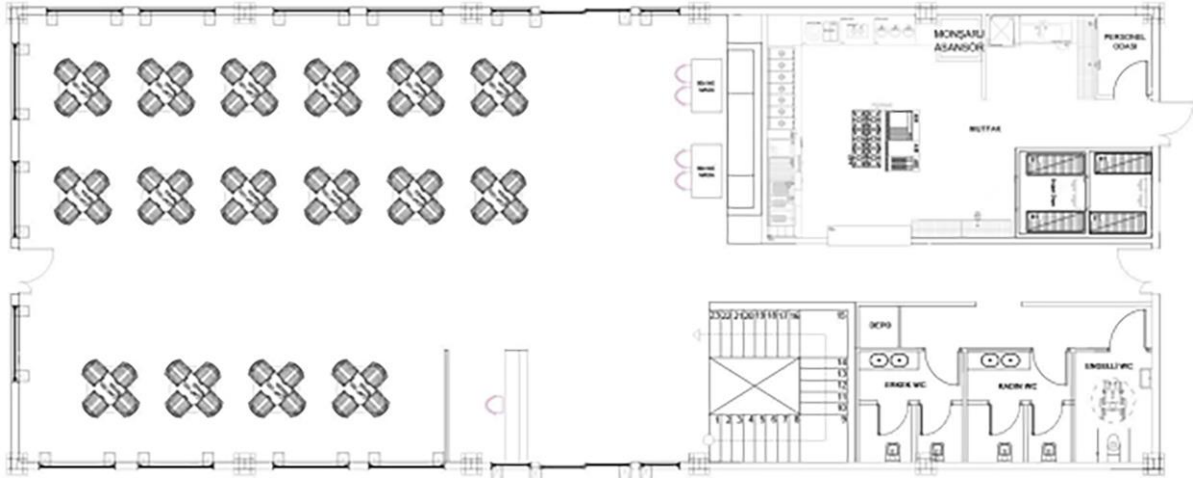
Aşama 2: Yeniden İşlevlendirme

Öğrenciler yeniden işlevlendirme yaparken Aşama 1'deki analizleri tasarım bulgusu olarak kullanarak, alandaki hedef kitleyi esas almışlardır. Bu kapsamda Grup 1 yeni yapılan binayı birçok işleve hizmet veren bu alanda yeme içme birimi olarak belirlemiş ve bu doğrultuda şekillendirmiştir. Ayrıca yapının arka bölümünde kalan eski binayı hobi atölyeleri olarak tasarlamışlardır. Grup 2, alanı öğrencilerin vakit geçirmesine imkân tanıyacak boş vakitlerini değerlendirebilecekleri oyun salonu olarak öngörmüştür. Grup 3 katılımcıları, öğrenciler ve akademisyenler için bir sanat atölyesi tasarlamıştır. Grup 4, öğrenciler için ders çalışma, kitap okuma eylemi için bir yapının eksikliğine vurgu yaparak yapının işlevini kitap kafe olarak değiştirmiştir. Grup 5 dış mekândaki peyzajı iç mekâna taşıyan, bitkilendirme merkezli bir oyun salonu + kafe tasarımına karar vermişlerdir. Grup 6 her kesime hitap edebilecek bir yapı tasarlamış ve çocuklar için de ayrı bir oyun alanının bulunması gerekliliğine değinmiştir. Grup 7 zemin katının yeme içme birimlerine hizmet verdiği üst katın ise daha özelleşerek metropol kentlerde örneklerine sıkça rastlanan öğrencilerin yabancı dillerini geliştirmeye yönelik oyunların bulunduğu bir kafe projesi öngörmüşlerdir.

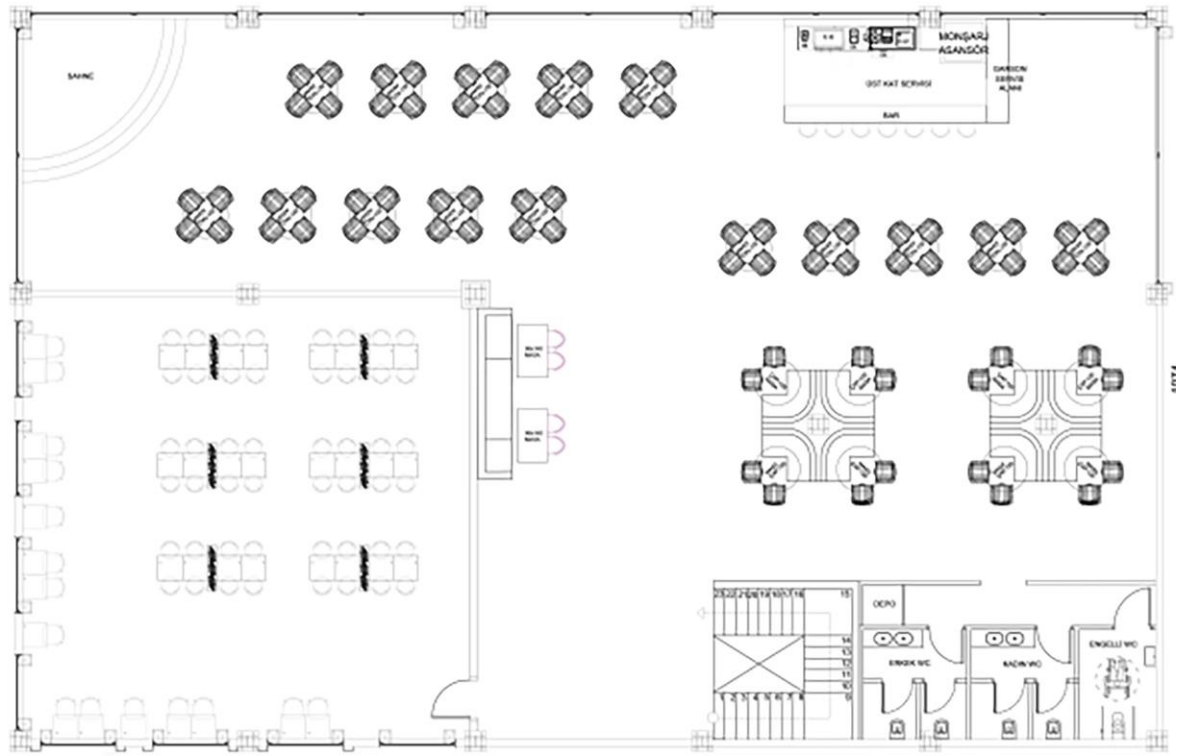
Aşama 3: Mekân Tasarımı

Çalışmanın 3. aşamasında yapılan analizler kapsamında kullanıcı potansiyeli belirlenen alanın iç mekân tasarım kurgusuna yer verilmiştir.

Grup 1 Tasarım Kararları: Grup 1 iklim analizleri sonucunda Osmaniye'de kış mevsiminin ağır geçmediğini tespit etmiş ve bu doğrultuda eski ve yeni yapıyı birleştirmeyi öngören senaryo kurgulamıştır. Bu kapsamda yeni yapının eski yapıya bakan cephesini tasarlarken şeffaf malzeme tercih etmişlerdir. Yapının girişini karşılıklı iki yürüyüş yolu aksından sağlayarak, zemin katında şeffaf tasarlanan bu cam cephenin ters tarafına mutfak, wc gibi kapalı mekânları yerleştirmişlerdir. 1. katta ise wc, mini bar, sahne, açık ve kapalı oturma elemanları yer almaktadır (Şekil 11, 12, 13).

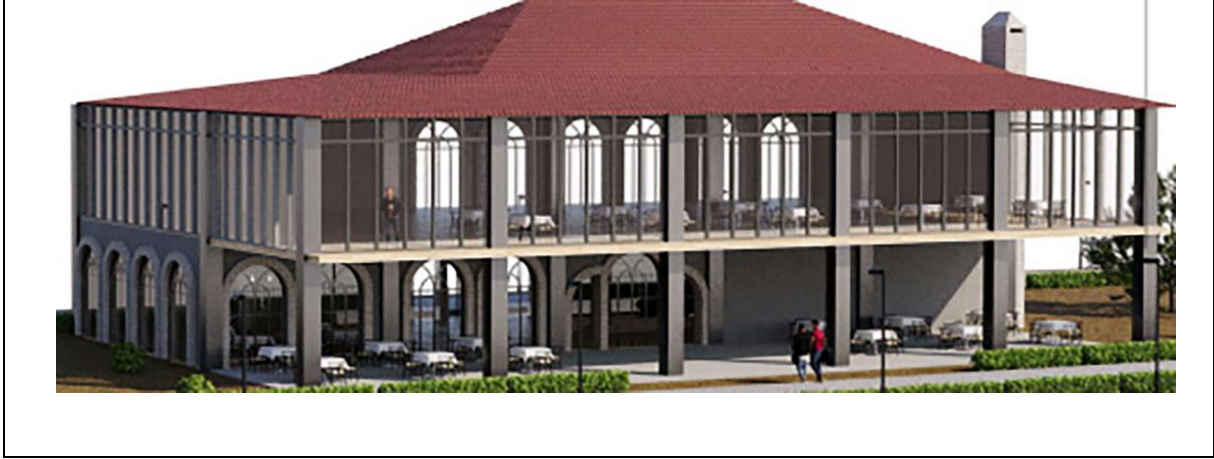


Şekil 11. Grup 1 projesi Zemin Kat Planı



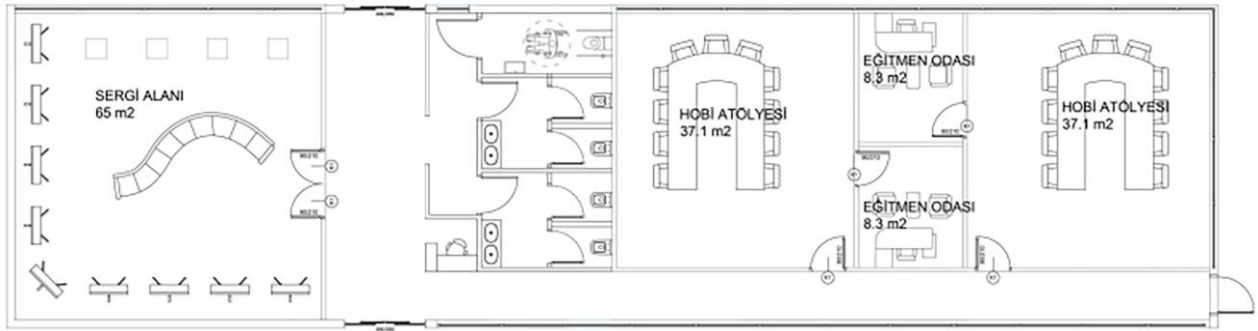
Şekil 12. Grup 1 projesi 1. Kat Planı





Şekil 13. Grup 1 projesi üç boyutlu çalışmalar

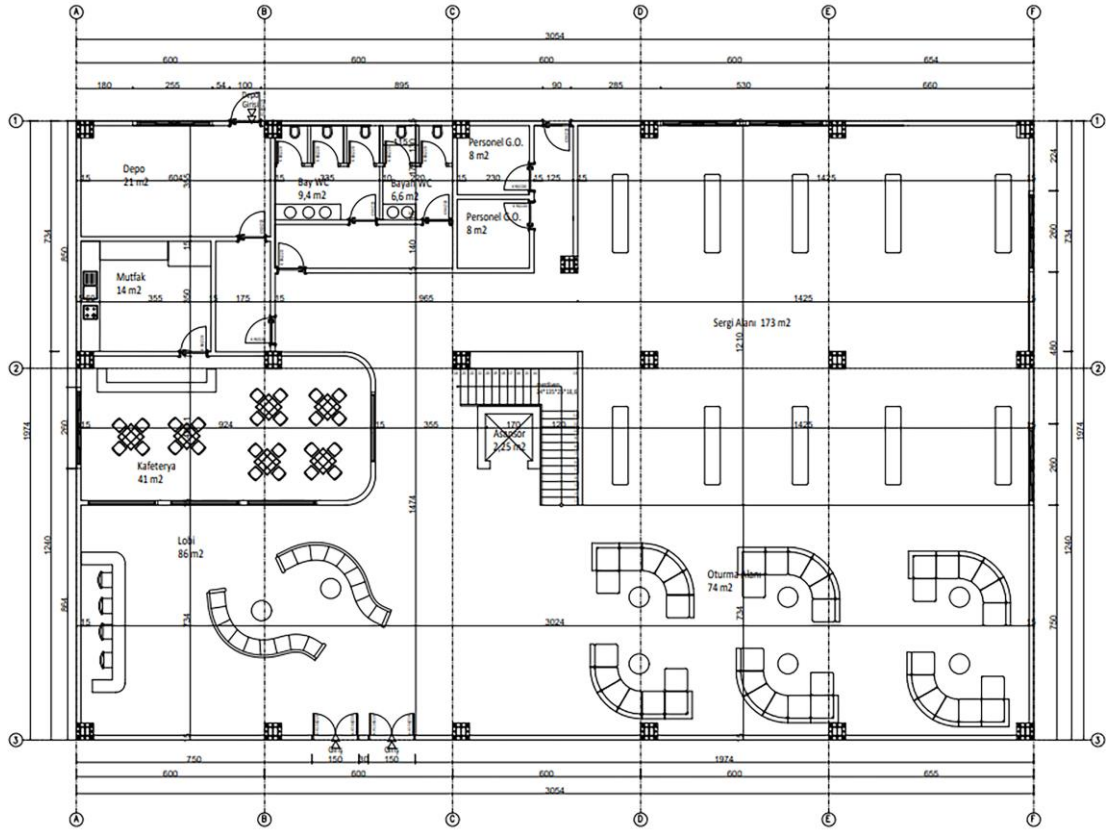
Eski yapı tasarımında ise hobi atölyesi tasarlayarak bir üretim mekânı kurgulamışlardır. Projede, potansiyel kullanıcı kitlesi için vakit geçirmelerine olanak tanıyacak hobi atölyeleri ve sergi salonu düzenlenmiştir (Şekil 14).



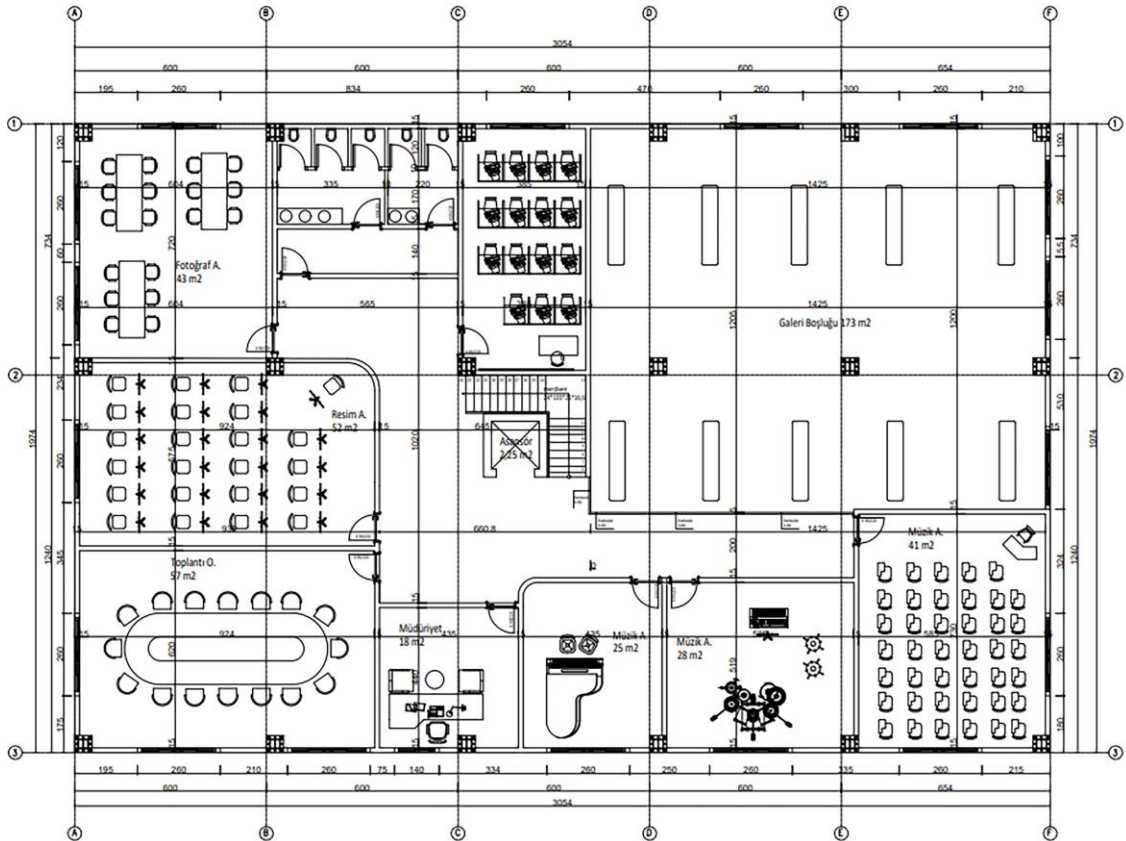
Şekil 14. Eski yapı yeniden işlevlendirme projesi

Grup 2 Tasarım Kararları: Araştırma analizleri ışığında, alanın yeni işlevini oyun salonu olarak belirleyen Grup 2 öğrencileri, yapının zemin katında oyun alanlarına ek olarak wc, mutfak, 1. katında ise açık teras alanında oturma, oyun elemanlarına birlikte yer vermişlerdir.

Grup 3 Tasarım Kararları: Bina çevresindeki eğitim yapılarının yoğunluğuna bağlı olarak bir sanat atölyesi yapma kararını benimseyen Grup 3 öğrencileri, yürütülen çalışma sonuçlarına göre yapının zemin katında küçük bir kafeterya, sergi alanı ve mutfak, 1. katında ise yönetim, müzik, resim ve fotoğraf atölyeleri kurgulamışlardır. Yapının girişini yürüyüş yolu tarafından alarak tek noktadan sağlamışlardır. Yapının arka tarafını otopark alanına baktırarak, mutfak, depo ve wc'leri bu bölümde konumlandırmışlardır (Şekil 15, 16).



Şekil 15. Grup 3 projesi Zemin Kat Planı



Şekil 16. Grup 3 projesi 1. Kat Planı

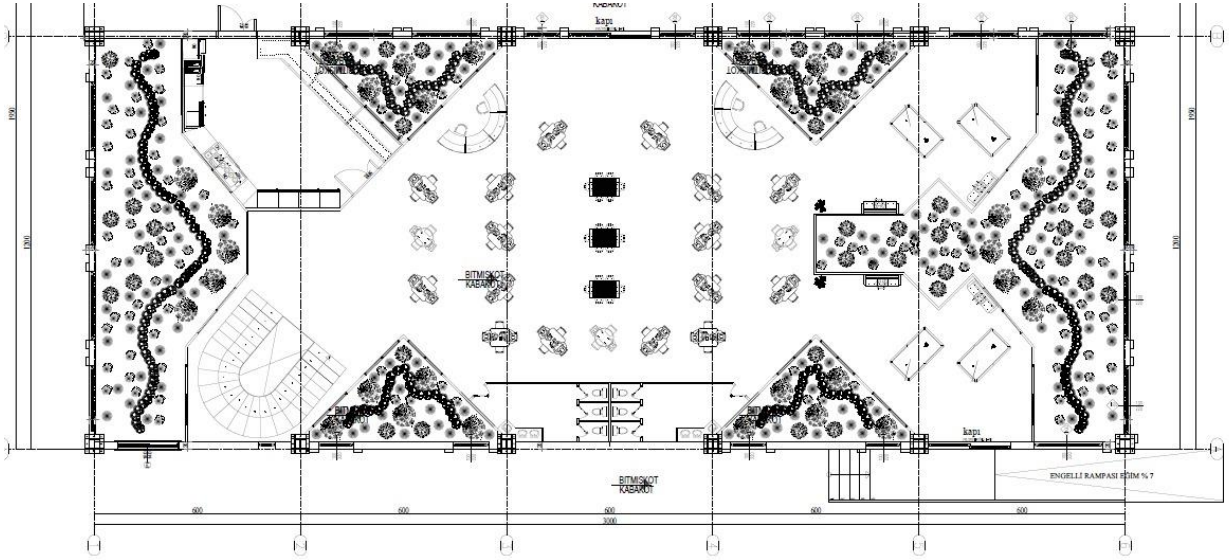
Grup 4 Tasarım Kararları: Yeniden işlevlendirme kapsamında ele alınan alanın kitap kafe olarak tasarlanması yaklaşımının benimsendiği yapıda, Grup 4 öğrencileri tarafından ortak, grup, bireysel çalışma-dinlenme alanları, öğrencilerin fotokopi vs. ihtiyaçlarını karşılayacak mini kırtasiye ve self servis kullanım imkânına sahip barista tasarlanmıştır. Serbest ders çalışma alanları için masalar arası bölücü separatörler kurgulanmış, dış cephe yüzeyinde ise fazla ışık ve sese karşı güneş kırıcılar ve ses yalıtım malzemeleri kullanılmıştır. Grup 4 öğrencileri, tasarımlarında yapının tüm duvarlarını, merdivenini ve her iki girişini koruma kararı almış ve bu doğrultuda tasarımlar öngörmüşlerdir.

Grup 5 Tasarım Kararları: Dışarıdaki peyzajı iç mekâna aktarmayı öngören yaklaşımlar benimseyen Grup 5 öğrencileri, yalnızca iç mekânda değil, dış mekânda da iyileştirmelerin gerekliliğine dikkat çekmişlerdir. Osmaniye kenti için de sınırlı sayıda bulunan açık alan, yürüyüş, bisiklet vb. aktivitelerin bulunduğu Karaçay Park ve mesire alanının iyileştirilmesinin kentli ve öğrenciler için büyük önem teşkil ettiğini belirtmişlerdir. Bu bağlamda yapı ve çevresini kapsayan erişilebilirlik, güvenlik, temizlik (görsel) problemlerinin giderilmesinin alanın canlandırılmasına büyük ölçüde katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Bu yaklaşımlar doğrultusunda Grup 5; sorunların giderilmesine yönelik alanın güvenlik kulübesine, giriş kapısına, yürüyüş yollarına, dere kenarına revize çalışmaları hazırlamıştır (Şekil 17).

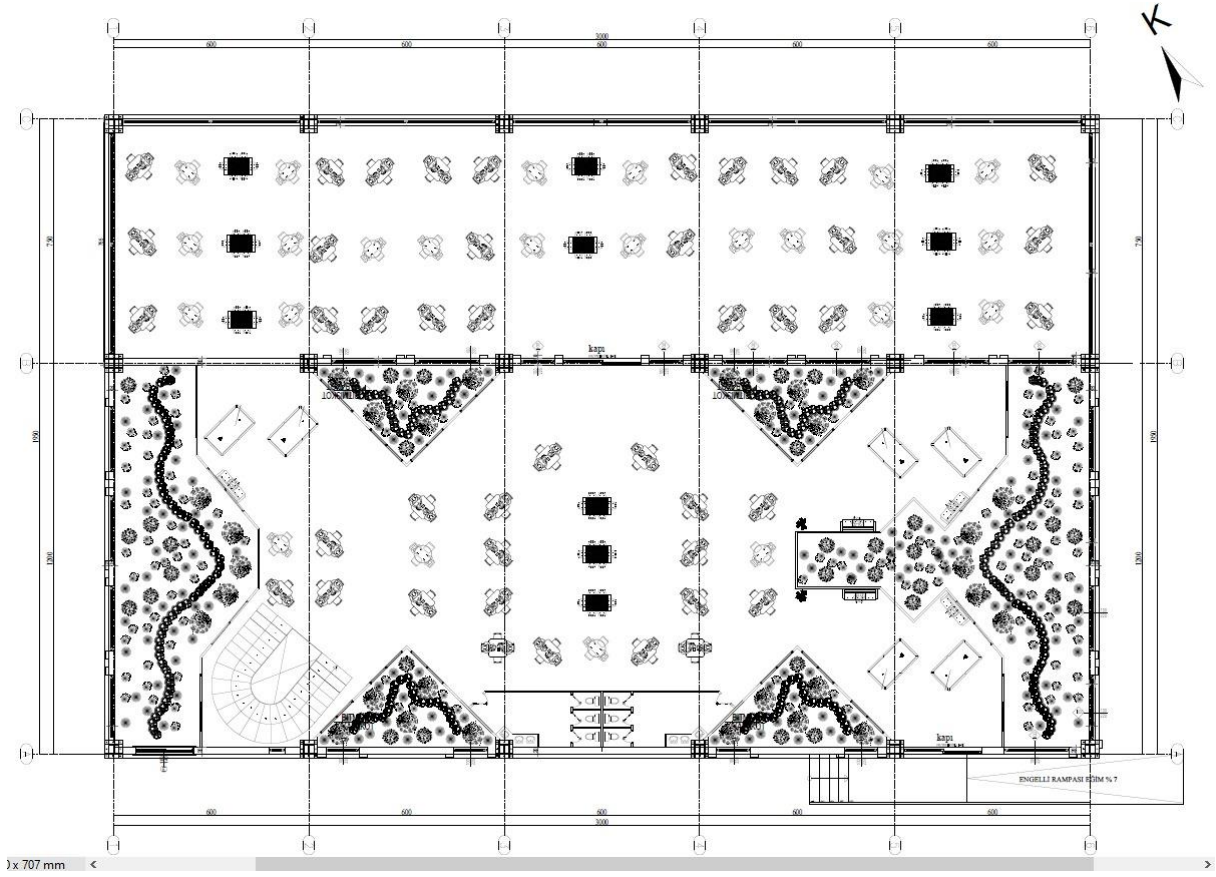


Şekil 17. Grup 5 Karaçay Park ve mesire alanı iyileştirme önerileri

Grup 5, yapının her iki girişini yerinde konumlandırarak, kafe işlevini korumuştur. Çalışmalarına alana özellikle hedef kitle olarak belirledikleri öğrencileri çekmek için oyun alanları eklemişlerdir. Yapının projelendirilmesinde mutfak, wc, oyun masaları ve oturma elemanları çözümlenmiştir (Şekil 18, 19).



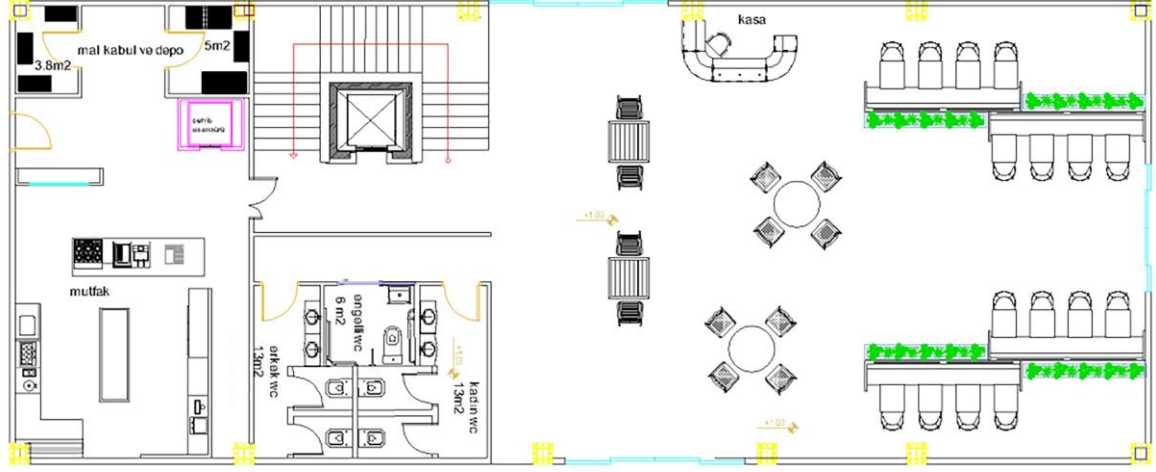
Şekil 18. Grup 5 projesi Zemin Kat Planı



Şekil 19. Grup 5 projesi 1. Kat Planı

Grup 6 Tasarım Kararları: Tek mekânda birden farklı kullanıcı grubunun bulunması yaklaşımını benimseyen Grup 6 öğrencileri projelerinde toplantı, çocuk, eğlence alanı tasarlamışlardır. Projelendirmede zemin katta mutfak, yönetim, wc, her iki katta da oyun ve oturma alanlarına yer vermişlerdir.

Grup 7 Tasarım Kararları: Alanın eğitim yapılarına yakınlığı gerekçesiyle öğrenciler, kente uzak konumlanmaması ve açık alan kullanımına iklim gereği elverişli olması gerekçesiyle halkın kullanımına uygun olduğu Grup 7 öğrencileri tarafından yapılan analizlerde saptanmıştır. Bu kapsamda yapı içinde zemin kat genel (öğrenci, halk, çocuk) kullanım, üst kat ise özelleştirilerek öğrencilerin kullanımı için tasarlanmıştır. Alan genelinde erişime engel olduğu düşünülen kod farklarını düzenleyerek tüm girişleri 0.00 koduna getirilmiştir. Yapı girişleri karşılıklı iki aksa alınarak daha kontrollü olması sağlanmıştır. (Şekil 20).



Şekil 20. Grup 7 Zemin Kat Planı Çözüm Önerisi

Arka yapıya ise iklim gereği açık alan kullanımında ihtiyaç olan ve kültürel anlamda bölgede sıklıkla kullanılan kendin pişir kendin ye mekânları tasarımı önerisi getirmişlerdir.

4. Tartışma

Eğitim tesislerine yakın mesafede konumlanan ancak öğrencilerin ve akademisyenlerin kullanım açısından tercih etmediği saptanan örnek alanın atölye çalışmaları kapsamında değerlendirilmesi ve yeniden işlevlendirilmesi sürecini konu edinen bu çalışmada doğru işlevlendirmenin önemine dikkat çekilmek istenmiştir. Bu kapsamda 7 grup halinde yürütülen çalışmada yapılan analizler doğrultusunda 4 grup tarafından hedef kitlesi öğrenciler ve akademisyenler, 3 adet grup tarafından da öğrenci ve akademisyenlere ek olarak halkın da kullanımına yönelik işlevler önerilmiştir. İncelenen öğrenci projeleri kapsamında yeniden işlevlendirmek üzere çalışılan sahada, öğrencilerin kitap kafe, kütüphane, sanat atölyeleri, oyun salonları görmek istedikleri tespit edilmiştir. Örnek alanına hedef kitlesi tarafından yüklenen işlevlerin getirilmesi alanın canlandırılmasında önemli rol oynayacaktır. Ayrıca yapılan bu çalışma ile kullanıcı odaklı tasarımın yanı sıra, tasarım sürecine kullanıcı katılımına da dikkat çekilmektedir. Bu çalışmada öğrenciler, “Karaçay Yürüyüş Yolu ve Beymail Kafe” nin kullanıcısı olabilecek potansiyel kitle durumundayken, kendilerine yönelik işlevler bulunmaması gerekçesi ile alanı tercih etmemektedirler. Atölye çalışmaları kapsamında öğrenciler saha alanını doğru hedef kitlesine

yönelik tasarlamışlar ve alanda iyileştirmelerin gerekliliğine değinmişlerdir. Farklı çalışmalarda ise tasarlanacak alanın mevcut kullanıcısı saptanarak proje sürecine yerel yönetimler, gönüllü kuruluşlar aracılığı ile kullanıcı odaklı tasarım yaklaşımı kapsamında dâhil edilebilir. Bu bağlamda yurt dışında özellikle Kentsel Dönüşüm çalışmalarına alan kullanıcısı dâhil edilmekte, atölye çalışmaları yürütülmekte ve kullanıcı ihtiyaçları doğrultusunda tasarım parametreleri belirlenmektedir. Bu çalışmada kullanıcısıyla birlikte geliştirilen çalışmaların Mimarlık, İç Mimarlık disiplinde iç ve dış mekân olarak ayırt edilmeksizin tüm alanlarda kullanılabilirliğine dikkat çekilmek istenmiştir. Ancak kullanıcısıyla birlikte gerçekleştirilen işlevlendirmeler ve alan genelinde yapılacak olan iyileştirme çalışmaları sayesinde insanların kendilerini ait hissedecekleri, yaşanabilir çevreler/mekânlar ortaya çıkacaktır.

5. Sonuçlar

Kullanıcı ihtiyacı doğrultusunda tasarlama süreci son zamanlarda yaygın kullanılmakta olup, birçok disipline konu olmaktadır. Özellikle mimari bağlamda kullanıcısına yönelik alanlar tasarlamak, yaşamayan, kullanmayan, boşluk, niteliksiz mekânlar oluşturmamak anlamında önemli bir yaklaşımdır. Kullanıcı odaklı tasarım yaklaşımının öğrenci ve yürütücü geri bildirimleri üzerinden deneyimlendiği bir 4.sınıf iç mimarlık dersi sürecini aktararak kullanıcı odaklı işlevlendirmenin önemine değinen (Tuğlu Karşlı ve ark., 2023) bu çalışma, 3 aşamada yürütülmüştür. Yapılan analizler kapsamında alanda öğrenci, akademisyenler ve halkın birlikte kullanımına yönelik işlevler önerilmesi gerekliliği saptanmıştır. Öğrenciler için yürüme mesafesinde olan bu alanın neden tercih edilmediğinin sorgulanmasıyla başlayan atölye çalışmalarında, kullanıcı odaklı işlevlendirmenin önemi vurgulanmaktadır. Yapılan bu çalışma ile kentsel ve mekânsal tasarımlara kullanıcı odaklı yaklaşılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Kullanıcı odaklı katılımcı tasarımla gerçekleştirilen çalışmalar yaşayanların aidiyet duygusunu arttırarak, alanın kullanımına sürdürülebilirlik noktasında olumlu katkılar sağlayacaktır.

Dolayısıyla gündemde olduğu bilinen kullanıcı odaklı tasarımın, yeni tasarlanan mekânlarda kullanılması önemli bir başlıktır. Ayrıca çalışma kapsamında analiz, işlevlendirme, mekân tasarımı olarak yürütülen 3 aşama projelendirme süreçlerinde tasarımsal olarak doğru kararlar alabilmek için yalnızca ders kapsamında değil tüm tasarımlarda kullanılabilir nitelikte bir altlıktır.

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.

Etik Kurul Kararı

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulunun 29.11.2023 tarihinde almış olduğu 2023/8/13 sayılı karar çerçevesinde etik kurul kararı alınmıştır.

Kaynakça

- Bruno F., Muzzupappa M. Product interface design: a participatory approach based on virtual reality. *International Journal of Human Computer Studies* 2010; 68: 254-269.
- Demir E., Ekin G., Balaban M. Kullanıcı deneyimi tasarımı pratiğinde katılımcı tasarım: dijital acente portalı tasarımında katılımcı tasarım atölyelerinin kullanılması. *UTAK Ulusal Tasarım Araştırmaları Konferansı*, 12-14 Eylül 2018; 117-127, Ankara.
- Erap, BBN., Hilmioglu S., Seçer Kariptaş F. Kamusal mekânlarda deneyim ve kullanıcı merkezli tasarım. *Sanat ve Tasarım Dergisi* 2021; 28: 335-347.
- Ersoy Z. Mimari tasarımda kullanıcı odaklı süreçler. *Mimarlık Dergisi* 2010; 351: 68-72.
- Kang M., Choo P., Watters CE. Design for experiencing participatory design approach with multidisciplinary perspectives. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 2014; 174: 830-833.
- Körlü E. Kentsel sağlıklaştırma çalışmalarında koruma sorunlarına kullanıcı odaklı yaklaşım Osmaniye Rahime Hatun Meydanı analizi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 103, Konya, Türkiye, 2015.
- Kuru A. Teknolojik ürünlerde kullanıcı deneyimi üzerine bütünsel bir model. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 2015; 3(3) ÖS: *Ergonomi* 2015: 567-574.
- Lukyanenko R., Parsons J., Wiersma Y., Sieber R., Maddah M. Participatory design for user-generated content: understanding the challenges and moving forward. *Scandinavian Journal of Information Systems* 2016; 28(1): 1-34.
- Norberg-Schulz C. *Existence, space & architecture*. New York: Praeger Publishers 1971. <https://www.scribd.com/document/399929581/326413831-Existence-Space-and-Architecture-Art-eBook-pdf>
- Olsson E., Jansson A. Participatory design with train drivers – a process analysis. *Interacting with Computers* 2005; 17(2): 147-166.
- Öztürk SV. Özel eğitim mekanlarının down sendromlu bireyler için yapı biyolojisi kapsamında değerlendirilmesi. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 97, Antalya, Türkiye, 2021.
- Öztürk V. Tarihi yapıların yükseköğretim yapısı olarak işlevlendirilmesi: Frej Apartmanı. *İdealkent Dergisi* 2023; 41(15): 558-575.
- Sanders EBN., Stappers PJ. Co-creation and the new landscapes of design. *CoDesign* 2008; 4(1): 5-18.
- Tankut B. Üniversite eğitim yapısına dönüştürülmüş binalardaki ara mekânlara yönelik bir mekânsal kalite incelemesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 285, İzmir, Türkiye, 2021.

Traş F. An exploration of user experience on products: multiple outlets as a case of design. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 73, İstanbul, Türkiye, 2015.

Tuğlu Karşlı HU., Eyüpgiller KK., Köşürgeli E. Yeniden kullanıma adaptasyon sürecinde araştırmaya dayalı tasarım: İETT trolleybüs kuvvet merkezi örneği. Yapı Dergisi 2023; 483: 74-81.

URL 1. Google Earth,
<https://earth.google.com/web/@37.05458217,36.23494305,125.86923978a,4723.50389333d,35y,14.88501892h,6.80271986t,-0r/data=OgMKATA>. [Erişim tarihi 24.12.2023].

Vines J., Clarke R., Wright P., McCarthy J., Olivier P. Configuring participation: on how we involve people in design. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems bildiriler kitabı içinde 2013; 429-438.



A Study on Age Determination and Life Cycle of *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) by Skeletochronology Method

Ahmet ALKAYA^{1*}, Hülya ŞEREFLİŞAN²

^{1,2}Department of Aquaculture, Faculty of Marine Sciences and Technology, Iskenderun Technical University, 31200 Iskenderun, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0003-2117-7799>

²<https://orcid.org/0000-0002-2510-3714>

*Corresponding author: ahmtalkaya674@gmail.com

Research Article

Article History:

Received: 15.11.2023

Accepted: 10.05.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

Age determination

Edible frog

Pelophylax ridibundus

Skeletochronology

Gölbaşı lake

ABSTRACT

In this study, it was aimed to determine the ages of adult male and female *Pelophylax ridibundus* individuals captured from the around of Gölbaşı Lake. The age of tailless frogs was determined according to the skeletal chronology method. In this method, the fourth toes of the frogs hind legs are used. Age was determined counted on the Resting Lines (RL) of the phalanges. The mean ages of the frogs were found to be 3.72 ± 0.97 years for females (range 2-7) and 3.77 ± 0.87 years for males (range 3-6), respectively. There was no significant difference between the ages of female and male frogs ($P>0.05$). The mean weights of female and male frogs were found to be 62.9 ± 18.57 g and 42.77 ± 10.74 g, respectively. This difference among the weights was significant ($P<0.05$). The mean snout-vent length (SVL) value was measured as 74.71 ± 11.91 mm for females and 71.7 ± 7.25 mm for males. There was no significant difference in SVL among both sexes ($P>0.05$). In addition, it was defined a significant correlation among the SVL of female ($r=0.889$, $P<0.01$, $N=36$) and male frogs ($r=0.833$, $P<0.01$, $N=18$) age. As a result of the study, it was seen that the frogs have a young population structure.

Pelophylax ridibundus'un (Pallas, 1771) İskeletkronoloji Yöntemiyle Yaş Tespiti ve Yaşam Döngüsü Üzerine Bir Araştırma

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş Tarihi: 15.11.2023

Kabul Tarihi: 10.05.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Yaş tespiti

Yenilebilir kurbağa

Pelophylax ridibundus

İskelet kronolojisi

Gölbaşı gölü

ÖZ

Bu çalışmada, Gölbaşı Gölü çevresinden yakalanan yetişkin erkek ve dişi *Pelophylax ridibundus* bireylerinin yaşlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Kuyruksuz kurbağaların yaşı iskelet kronolojisi yöntemine göre belirlenmiştir. Bu yöntemde, kurbağaların arka bacaklarının dördüncü ayak parmakları kullanılmaktadır. Yaş, falanjlardaki Dinlenme Halkaları (RL) üzerinden sayılarak belirlenmiştir. Kurbağaların ortalama yaşları sırasıyla dişi 3.72 ± 0.97 yıl (2-7 aralığı) ve erkek 3.77 ± 0.87 yıl (3-6 aralığı) bulunmuştur. Dişi ve erkek kurbağaların yaşları arasında anlamlı bir fark görülmemiştir ($P>0.05$). Dişi ve erkek kurbağaların ortalama ağırlıkları sırasıyla 62.9 ± 18.57 g ve 42.77 ± 10.74 g olarak bulunmuştur. Ağırlıklar arasındaki bu fark anlamlıdır ($P<0,05$). Burun deliği-Kloak arası uzunluğu (SVL) ortalama değeri dişilerde 74.71 ± 11.91 mm, erkeklerde ise 71.7 ± 7.25 mm olarak ölçülmüştür. Her iki cinsiyet arasında SVL açısından anlamlı bir fark yoktur ($P>0.05$). Ayrıca, dişi ($r=0.889$, $P<0.01$, $N=36$) ve erkek kurbağaların ($r=0.833$, $P<0.01$, $N=18$) yaşları ile SVL arasında anlamlı bir korelasyon olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, kurbağaların genç bir nüfus yapısına sahip olduğu görülmüştür.

To Cite: Alkaya A., Şereflişan H. A Study on Age Determination and Life Cycle of *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) by Skeletochronology Method. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(5): 1999-2009.

1. Introduction

The reason for the decrease in the number of amphibians in the recent years shown as global warming, increase in harmful chemicals, accumulation of toxic substances and destruction of the habitats of these creatures (Houlahan et al., 2000; Reaser, 2000; Cohen, 2001; Kiesecker et al., 2001). Thus, the fact that frog production continues only with hunting will cause the extinction of frog species and the loss of sustainability on the ecosystem. This is unfavorable for amphibians, which are known to be important components of terrestrial and aquatic ecosystems (Toledo et al., 2007; Mohneke and Rodel, 2009). These negative effects also threaten the morphological character of frogs closely (Alford et al., 2007; Fagotti et al., 2007).

The impact of climate conditions on metabolic activities of amphibians observed with changes in bone tissue, which allows for individual age estimation in free living populations in nature. Some methods have been developed to estimate the age of amphibians. According to Halliday and Verrell (1988), extrapolation from size with frequency data, testicular lobation, marking and capture, skeletochronology methods were recommended, while Castanet and Smirina (1990) stated that only the marking and capture or skeletochronology method were reliable and indicated that the age in frogs. Both techniques have been used frequently (Leclair and Castanet, 1987; Ryser, 1988; Tsiora and Kyriakopoulou-Sklavounou, 2002).

In age estimation studies, the method called skeletochronology is used and it known to be a reliable method for amphibians as well as for many cold-blooded vertebrates (Castanet, 2002). Some differentiations that occur in the soft and hard tissues of living things throughout their lives show an effective persistence in the histomorphological structure of the bone. It gives information about the animals life span, sexual maturity age and physiology (Erişmiş, 2004). *Pelophylax ridibundus* is distributed throughout the world from Central and Southern Europe to North Africa, Anatolia and West Asia (Tok et al., 2000; Berezovikov et al., 2001; Kuzmin et al., 2009; IUCN, 2010). However, in Turkey just a few research has been carried out on the age composition of *Pelophylax ridibundus* (Yılmaz et al., 2005; Erişmiş, 2011; Gül et al., 2011). The purpose of study was to defined the ages of lifespans of male and female frog, and to know the relationship among body size and age.

2. Material and Methods

In this study, 54 adult specimens (36 ♂♂, 18♀♀) of *Pelophylax ridibundus* was collected from Gölbaşı Lake in March 2015 in Hatay (36°30'16.4"N 36°29'39.0"E). For each captured frog, measured length to with a digital caliper. Then, estimated sexes by observing the secondary sexual character male and female frog (Nuptial pads or black swelling on thumbs during breeding period adult males and ova in adult females). For age determination during this study; skeletochronology method was applied and the fourth toes of the hind legs were used to determine the ages of tailless frogs by the

skeletochronology method (Leclair and Castenet, 1987; Plytyez and Bigaj, 1993; Marunouchi et al., 2000). Age composition was defined by counting on the RL of the phalanges. After the bone tissue samples were taken from the frogs, fixation was performed by using 10% formalin solution. Then, the formalin-free samples were taken into 6% nitric acid and decalcification was performed. The tissues were then dehydrated through a series of graded alcohols, cleared in xylene, infiltrated, and embedded into the paraffin. Paraffin wax blocks were cut at 4 μm thickness and stained with hematoxylin and eosin, and they were examined under Olympus CX 41 microscope. The data was not normally distributed, the Man-Whitney (U) test used $P=0,05$ significance level, and the correlation between SVL values and ages determined by Spearman Rank analysis were used in SPSS the 17.0 program.

3. Results and Discussion

The mean ages of adult female and male frogs collected from Gölbaşı Lake were found to be 3.72 ± 0.97 years (age range 2-7), 3.77 ± 0.87 years (age range 3-6), respectively (Table 1). The difference among ages of female and male is not significant ($P>0.05$). In this study, it was determined that the maximum age of male frogs was 6 years, while female frogs was 7 years old. In this study, RL sections were visualized by staining the hindfoot fourth toe phalanges of frogs of different ages with hematoxylin-eosin (Figures 1, 2, 3, 4). RL was easily detected and counted in all samples examined, with the exception of some samples. The average weights of female and male frogs were 62.9 ± 18.57 g and 42.77 ± 10.74 g, respectively. This difference was significant ($P<0.05$). The mean SVL value was measured as 74.71 ± 11.91 mm for females and 71.7 ± 7.25 mm for males. The SVL both sexes were no significant differences ($P>0.05$).

Table 1. The number of sample (N), SVL (mean \pm SD) and age (mean \pm SD) distribution of *P. ridibundus* individuals collected from Gölbaşı Lake.

	Weight (g)		SVL (mm)		Age	
	Female	Male	Female	Male	Female	Male
N	36	18	36	18	36	18
Min-Max	35-125	35-65	50.43-115	65.18-87.9	2-7	3-6
Mean	62.9 ^a	42.77 ^b	74.91 ^a	71.7 ^a	3.72 ^a	3.77 ^a
Standart Deviation (SD)	18.57	10.74	11.91	7.25	0.97	0.87

*Different letters on the same line show significant differences for each group ($P<0.05$).

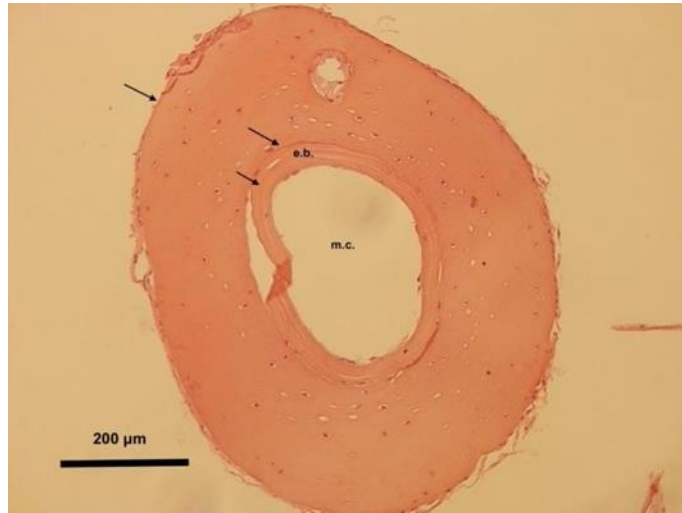


Figure 1. Cross section of hematoxylin-eosin-stained phalanges in a 3-year-old male with SVL 65.18 mm (arrows: RL, e.b: endosteal bone, m.c: marrow cavity. Magnification: 20X, original).

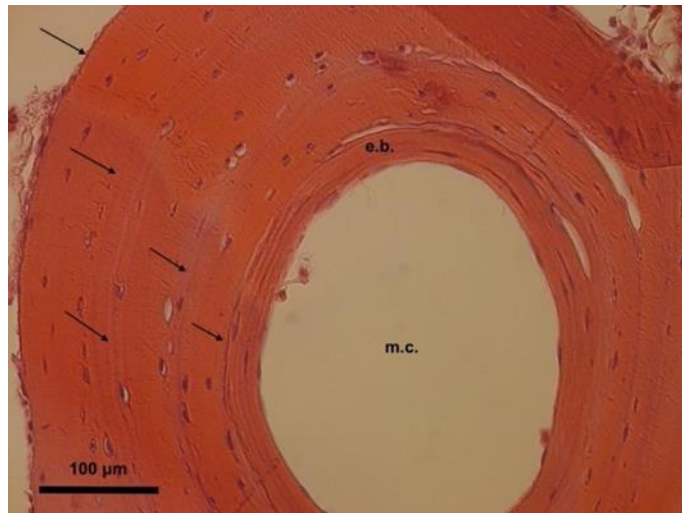


Figure 2. Cross section of hematoxylin-eosin-stained phalanges in a 5-year-old male with SVL 83.24 mm (arrows: RL, e.b: endosteal bone, m.c: marrow cavity. Magnification: 20X, original).

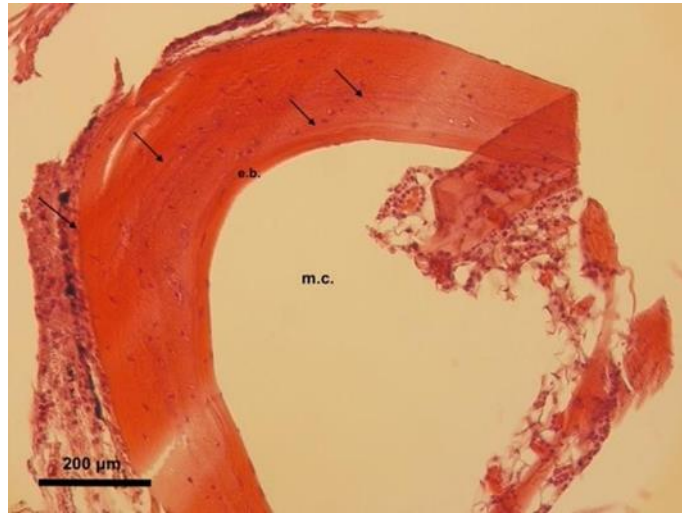


Figure 3. Cross section of hematoxylin-eosin-stained phalanges of a 4-year-old female with SVL 80.11 mm (arrows: RL, e.b: endosteal bone, m.c: marrow cavity. Magnification: 20X, original).

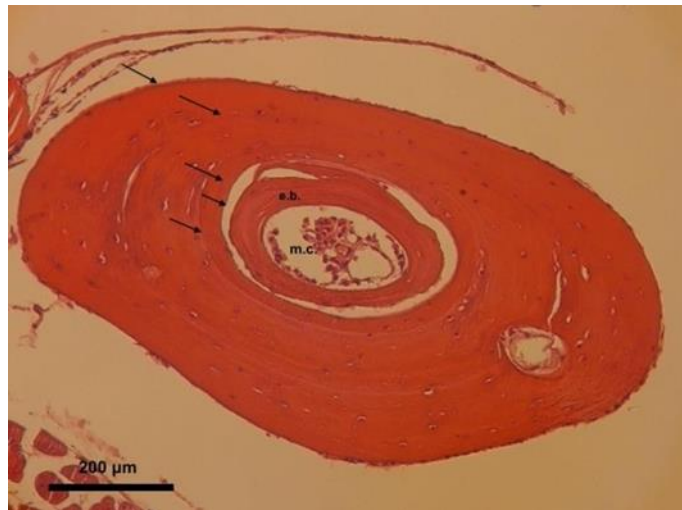


Figure 4. Cross section of hematoxylin-eosin-stained phalanges of a 5-year-old female with SVL 90.56 mm (arrows: RL, e.b: endosteal bone, m.c: marrow cavity. Magnification: 20X, original).

In this study, a positive correlation was found among age and SVL values of female ($r=0.889$, $P<0.01$, $N=36$) and male frogs ($r=0.833$, $P<0.01$, $N=18$) (Fig. 5). It was determined that the frog with the highest SVL value (87.9 mm) among male frogs was at the oldest age (6 years) (Fig. 5). Likewise, it was determined that female frogs with the highest SVL value (115.13 mm) among female frogs was found to be at the oldest age (7 years) (Fig. 5).

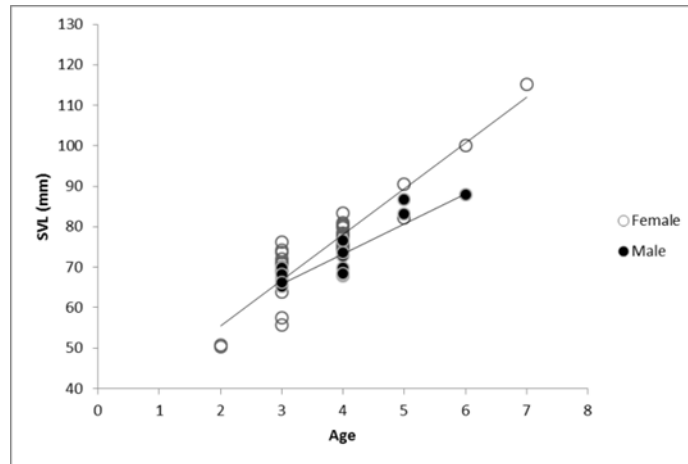


Figure 5. The relationship between the age of *P. ridibundus* and the SVL

Skeletal chronology is used in age estimation studies and it has been reported to be a reliable method for amphibians as well as for many cold-blooded vertebrates (Castanet, 2002). In this study, age determination of male and female frogs was made according to this method. Generally, the long bones of the extremities were determined as the most suitable skeletal parts for skeletal chronology studies. Moreover, the fourth toes of the hind legs are mostly used to determine the age of tailless frogs using the skeletal chronology method (Leclair and Castanet, 1987; Plytyez and Bigaj, 1993; Marunouchi et al., 2000). Similarly, the fourth toe of the right arm leg of the adult frogs was used for age determination in the study.

As a result of the study, the mean ages of female and male frogs collected from Gölbaşı Lake were found to be 3.72 ± 0.97 years (range 2-7 years), 3.77 ± 0.87 years (range 3-6 years), respectively. It was determined that the difference among the frogs in terms of average age was not significant ($P > 0.05$). The mean SVL value of female frogs was 74.71 ± 11.91 mm, and male frogs were 71.7 ± 7.25 mm, and the difference was not significant ($P > 0.05$). The mean age was determined as 3.90 ± 1.37 years (1-7 years) for male frogs and 3.72 ± 1.00 years (2-6 years) for female frogs in the *P. ridibundus* by Yılmaz et al. (2005). In another study with *P. ridibundus*, the average age was calculated as 3.5 years (1-7) for males and 4.3 years for females (İsmail and Çiçek; 2017).

Socha and Ogielska (2010) reported that the age distribution of male individuals as 2-6 years and the age distribution of females as 3-7 years in the population of *Pelophylax kl. esculentus* in Europe, a native crossbreed among *P. ridibundus* and *P. lessonae*. According to Gül et al. (2011) investigated the age composition of *P. ridibundus* in two different populations (Karagöl-Dörtüol) located at different altitudes in Turkey. In the Karagöl population, the age of the male individuals varies between 2-8, the age of the female individuals varies between 2-7. In Dörtüol population the age of male individuals varied between 4-11 years, and the age of female individuals between 3-7 years. It was determined that the average age we obtained as a result of the study was similar to the result of the

study, except for the male frogs in the Dörtüyl population.

In another study, Erişmiş (2011) determined the mean age of *P. ridibundus* as 5.73 ± 1.06 years in females and 4.82 ± 1.08 years in males. Çiçek et al. (2011) mean age in the *P. ridibundus* population was determined as 2.5 ± 0.65 years (age range; 2-4) and 2.95 ± 0.99 years (age range; 2-5) in male and female frogs. Moreover, their study reported mean SVL of male frogs was 56.1 ± 7.7 mm and the mean SVL of female frogs was 64.5 ± 14.8 mm. Thus, in this study, we determined that the differences between the mean ages, age ranges and mean SVL values and the values found in the other study are due to the samplings (Çiçek et al., 2011; Erişmiş, 2011).

In this study, it was determined that the minimum age is 3 years and the maximum age is 6 years in male frogs, while the minimum age is 2 years and the maximum age is 7 years in female frogs. Khonsue et al. (2000) found in their study with *Sylvirana nigrovittata* found the maximum age to be 9 years in males and 6 years in females. Yılmaz (2001) reported that the maximum age of *P. ridibundus* in Yıldız Stream (Trabzon) population was 7 years in males and 6 years in females. On the other hand, Olgun (2012) determined that the minimum age as 3 years and the maximum age as 10 years for both males and females, and reported that the mean age for females 6.69 ± 0.44 and 4.31 ± 0.21 for males.

As with most anuran species, the age of adult frogs has been reported to be positively correlated with size in both sexes (Ryser, 1996; Lu et al., 2006; Liao and Lu, 2010a; Liao et al., 2010; Liao and Lu, 2014). Hemelaar (1986) reported that there was a positive correlation between SVL value and age in both genders. Ryser (1988) found a positive correlation between SVL and age in both female and male frogs for *R. temporaria*. Guarino and Erişmiş (2008) reported that age determination and development in *R. holtzi* an endemic species that there was a positive correlation between SVL and age in both female and male individuals. Kyriakopoulou- Sklavounou et al. (2008) stated in their study with *P. ridibundus* that there was a significant relationship between SVL and age for both genders. Similar to the studies, a positive correlation was found between SVL values and ages of female ($r=0.889$, $P<0.01$, $N=36$) and male frogs ($r=0.833$, $P<0.01$, $N=18$) collected around Gölbaşı Lake.

Female individuals of sexually mature adult *Lithobates catesbeianus* are larger than males in terms of both weight and SVL (Kaefer et al., 2007). Bura et al. (2007) measured that the average SVL value of female frogs to be 80.08 mm and the average SVL value of male individuals to be 60.17 mm. Also, the average weight of female individuals (43.89 g) is higher than that of male individuals (18.45 g). Spigonardi et al. (2011) determined the sexes of individuals from six different populations belonging to *P. perezii* and revealed the relationship between body weights and SVL values; reported that female individuals were heavier and longer than male individuals. In this study, similarly it was determined that both the average SVL value and the average weight of female were higher than that of male.

Nayak et al. (2008) reported that male individuals were shorter than females in all age groups in their age determination and SVL study on the *Euphlyctis hexadactylus* population. In this study, it was determined that male frogs in the same age group are not always shorter than female frogs. Wei Chen et al. (2013) stated that there is a significant correlation among age and size (weight and length) in *R.*

kukunoris, but size is not a good indicator for age and similarities in body size of frogs in different age classes. In this study, SVL values of some frogs in different age groups collected from nature was found to be close to each other.

4. Conclusion

When the average age and age range of the adult are examined, it has been determined that the population has a young population structure. It is thought that this species is exposed to constant hunting pressure due to its economic importance and as a result its average longevity is shortened. It is thought that the average longevity of individuals living in nature will increase as a result of breeding *P. ridibundus* and reducing the hunting pressure on the species.

Conflict of interests

Authors declare that they have no conflict of interest.

Ethics committee approval

This study was carried out accordance with animal welfare and the ethics of trial.

Author Contribution Declaration

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

References

- Alford RA., Bradfield KS., Richards SJ. Global warming and amphibian losses. *Nature* 2007; 447: (7144): E3-4; discussion E5-6. doi: 10.1038/nature05940.
- Berezovikov NN., Duisebayeva, TN., Khromov, VA., Starikov SV. *Rana ridibunda*'nın Kazakistan'ın güneydoğusu ve doğusundaki dağılımına ilişkin yeni veriler. *Herpetolojinin Sorunları*, Pushchino 2001; 26-28.
- Bura M., Banaşcan DI., Pistrila D., Nica D. Biometric study to *rana ridibunda* frog species nearness to timisoara locality. *Zootehnie și Biotehnologii* 2007; 40(2): 8-13.
- Castanet J., Smirina EM. Introduction to the skeletochronological method in amphibians and reptiles. *Annales des Sciences Naturelles* 1990; 11: 191-196.
- Castanet J. Amphibiens et reptiles non aviens: un matériel de choix en squelettechronologie. *Bulletin de la Societe Herpetologique de France* 2002; 103: 21-40.
- Cohen MM. Frog decline, frog malformations, and comparison of frog and human health. *Am. J. Med. Genet.* 2001; 104: 101-109.
- Çiçek K., Ayaz D., Kumaş M., Mermer A., Engin GD. Age structure of Levant water frog, *Pelophylax bedriagae*, in Lake Sülüklü (Western Anatolia, Turkey). *Basic Appl. Herpetology* 2011; 25: 73–80.

- Erişmiş UC. Göller Bölgesi *Rana ridibunda* (Anura: Ranidae) populasyonlarında yaş-boy, yaş-ağırlık ve boy-ağırlık ilişkilerinin araştırılması. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi 2004., 290 s., Bornova-İzmir.
- Erişmiş UC. Abundance, demography and population structure of *Pelophylax ridibundus* (Anura: Ranidae) in 26-August National Park (Turkey). North- Western Journal of Zoology 2011; 7(1): 1-12.
- Fagotti A., Di Rosa I., Simoncelli F., Pascolini R. Ecology: the proximate cause of frog declines? Nature 2007; 447(7144): E4-5; discussion E5-6.
- Guarino FM., Erişmiş UC. Age determination and growth by skeletochronology of *Rana holtzi*, an endemic frog from Turkey. Ital. J. Zool. 2008; 75: 237–242.
- Gül S., Özdemir N., Üzüm N., Olgun K., Kutrup, B. Body size and age structure of *Pelophylax ridibundus* populations from two different altitudes in Turkey. Amphibia- Reptilia 2011; 32(2): 287-292.
- Halliday TR., Verrell PA. Body size and age in amphibians and reptiles. Journal of Herpetology 1988; 20: 570-574.
- Hemelaar A. Demographic study on *Bufo bufo* L. (Anura, Amphibia) from different climates, by means of skeletochronology. Ph.d Thesis, University of Nijmegen 1986, Netherlands.
- Houlahan JE., Findlay CS., Schmidt BR., Myer, AH., Kuzmin SL. Quantitative evidence for global amphibian population declines. Nature 2000; 404: 752–755.
- IUCN. *Pelophylax ridibundus*. In: IUCN Red List of Threatened Species. Version 2010.1. Available at www.iucnredlist.org (downloaded on 20 April 2010).
- İsmail İB., Çiçek K. Population size, age structure and life cycle of levant water frog, *Pelophylax bedriagae* (Camerano, 1882) (Amphibia: Anura: Ranidae) in Lake Sülüklü (Manisa). Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 2017; 34(2): 169-177.
- Kaefer IL., Boelter RA., Cechin SZ. Reproductive biology of the invasive bullfrog *Lithobates catesbeianus* in Southern Brazil. Annales Zoologici Fennici 2007; 44: 435–444.
- Khonsue W., Matsui M., Misawa Y. Age determination by skeletochronology of *Rana nigrovittata*, a frog from tropical forest of Thailand. Zool. Sci. 2000; 17: 253- 257.
- Kiesecker JM., Blaustein AR., Belden LK. Complex causes of amphibian population declines. Nature 2001; 410:681-684.
- Kuzmin S., Tarkhnishvili D., Ishchenko V., Dujsebayeva T., Tuniyev B., Papenfuss T., Beebee T., Ugurtas IH., Sparreboom M., Rastegar-Pouyani N., MousaDisi AM., Anderson S., Denoël M., Andreone F. *Pelophylax ridibundus*. In book: The IUCN Red List of Threatened Species 2009. Publisher: The IUCN Red List 2009.
- Kyriakopoulou-Sklavounou P., Stylianou P., Tsiora A. A skeletochronological study of age, growth and longevity in a population of the frog *Rana ridibunda* from Southern Europe. Zoology 2008; 111: 30-36.

- Leclair R., Castanet J. A skeletochronological assessment of age and growth in the frog *Rana pipiens* schreber (Amphibia, Anura) from southwestern quebec. *Copeia* 1987; 2: 361-369.
- Liao WB., Zhou CQ., Yang ZS., Hu JC., Lu X. Age, size and growth in two populations of the dark-spotted frog *Rana nigromaculata* at different altitudes in southwestern China. *Herpetological Journal* 2010; 20: 77-82.
- Liao WB., Lu X. Age and growth of a subtropical high elevation torrent frog, *Amolops mantzorum*, in western China. *Journal of Herpetology* 2010a; 44: 172-176.
- Liao WB., Lu X. Adult body size = f (initial size + growth rate × age): explaining the proximate cause of Bergman's cline in a toad along altitudinal gradients. *Evolutionary Ecology* 2014; 26(3):579-590.
- Lu X., Li B., Liang JJ. Comparative demography of a temperate anuran, *Rana chensinensis*, along a relatively fine altitudinal gradient. *Canadian Journal of Zoology* 2006; 84: 1-7.
- Marunouchi J., Kusano T., Ueda H. Validity of back calculation methods of body size from phalangeal bones: An assesment using data for *Rana japonica*. *Current Herpetology* 2000; 19(2): 81-89.
- Mohneke M., Rodel MO. Declining amphibian population and possible ecological consequences-a review. *Salamandra* 2009; 45: 203–207.
- Nayak S., Mahapatra PK., Mohanty RK., Dutta, SK. A skeletochronological analysis of age, growth and longevity of the Indian Green Frog *Euphlyctis hexadactylus* (Lesson, 1834) (Anura: Ranidae), *Herpetozoa* 2008; 20(3/4): 99-107.
- Olgun H. Reşadiye (Tokat) *Triturus karelinii* (Strauch, 1870) (Amphibia: Urodela) populasyonunda yaş tayini. *Anadolu Doğa Bilimleri Dergisi* 2012; 3(2): 25-33.
- Plytyez B., Bigaj J. Studies on the growth and longevity of the yellow-bellied toad, *Bombina variegata* in natural environments, *Amphibia-Reptilia* 1993; 14: 35-44.
- Reaser JK. Demographic analysis of the Columbia spotted frog (*Rana luteiventris*): case study in spatiotemporal variation. *Canadian Journal of Zoology* 2000; 78: 1158-1167.
- Ryser J. Determination of growth and maturation in the common frog, *Rana temporaria*, by skeletochronology. *Journal of Herpetology* 1988; 216: 673-685.
- Ryser J. Comparative life histories of a low- and high elevation population of the common frog, *Rana temporaria*. *Amphibia-Reptilia* 1996; 17:183–195.
- Socha M., Ogielska M. Age structure, size and growth rate of water frogs from central European Natural *Pelophylax ridibundus*-*Pelophylax kl. esculentus* mixed populations estimated by skeletochronology, *Amphibia-Reptilia* 2010; 31(2): 239-250.
- Spigonardi MP., Roberto R., Regina C. Preliminary morphometric data of *Pelophylax perezii* (Amphibia: Ranidae) in Sao Jorge Island (Azores). XV Expediçao Cientifica do Departamento de Biologia, Rel. Com. Dep. Biol. 2011; 40: 80-87.
- Tok CV., Atatür MK., Ayaz D. Morphological characterization of a population of *Rana ridibunda* Pallas, 1771 in the Dalaman area, Turkey. *Zoology in the Middle East* 2000; 20(1): 47-54.

- Toledo LF., Ribeiro RS., Haddad FB. Anurans as prey: An exploratory analysis and size relationships between predators and their prey. *J. Zool.* 2007; 271: 170–177.
- Tsiora A., Kyriakopoulou-Sklavounou P., Stylianos P. A skeletochronological study of age, growth and longevity in a population of the frog *Rana ridibunda* from southern Europe. *Zoology* 2002; 111(1): 30-36.
- Wei Chen., Qing GW., Zhi XS., Xin L. Age, body size and clutch size of *Rana kukunoris*, a subtropical frog native to China. *Herpetological Journal* 2013; 22: 203–206.
- Yılmaz N. Yıldız Deresi (Trabzon) *Rana ridibunda* (Su kurbağası) popülasyonunda yaş tayini ve bazı büyüme parametrelerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü 2001, Trabzon.
- Yılmaz N., Kutrup B., Çobanoğlu Ü., Özorun Y. Age determination and some growth parameters of *Rana ridibunda* population in Turkey. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 2005; 51(1): 67-74.

Shiny Kütüphanesi ile Açık Kaynak Kodlu WEB Tabanlı CBS Uygulaması Geliştirme

Efdal KAYA^{1*}

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, İskenderun Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, 31200, Hatay

¹<https://orcid.org/0000-0002-5553-0143>

*Sorumlu yazar: efdal.kaya@iste.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 01.12.2023

Kabul tarihi: 13.04.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

R programlama
Shiny kütüphanesi
Deprem verileri
Mekânsal veri analizi
WEB tabanlı CBS

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak yapılan analizlerin sonuçlarına farklı mekânsal veri görselleştirme teknikleri uygulandığında analizler daha anlaşılır olmaktadır. Python, R ve Julia gibi açık kaynak kodlu programlama dilleri ile mekânsal veriler interaktif şekilde görselleştirilebilmektedir. Bu çalışmada, R Programlama dili içerisindeki shiny kütüphanesi kullanılarak WEB tabanlı CBS uygulaması geliştirilmiştir. Türkiye’de son 53 yılda meydana gelen deprem verileri Amerikan Jeolojik Araştırmalar Merkezi (United States Geological Survey-USGS; AJAM)’nin WEB adresinden indirilmiştir. İndirilen veriler R programlama dili içerisine aktarılmıştır. Shiny kütüphanesi ile WEB uygulaması geliştirilmiştir. WEB uygulaması içerisinde depremlerin yaşandığı yerlere ait noktasal yoğunluk haritaları oluşturulmuştur. Yoğunluk haritası üretmek için gerekli olan parametreler üzerinde çeşitli ayarlamalar yapılarak interaktif görselleştirme yapılabilmektedir. Geliştirilen uygulama ile Türkiye’de yaşanan depremlerin yoğunlaştığı yerler görülmektedir. Uygulama üzerine farklı mekânsal katmanlar eklenerek CBS uygulaması geliştirilebilmektedir. Ücretsiz, açık kaynak kodlu ve her türlü mekânsal veriyi analiz edebilecek kütüphanelerinin olması nedeniyle R programlama dili CBS çalışmalarında rahatlıkla kullanılabilir.

Developing Open-Source WEB Based GIS Application with Shiny Library

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 01.12.2023

Accepted: 13.04.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

R Programming
Shiny library
Earthquake data
Spatial data analysis
WEB based GIS

When different spatial data visualizations technique are applied to the results of analysis conducted using Geographic Information Systems (GIS) the analysis are more understandable. Open-source programming languages like Python, R, and Julia enable the interactive visualization of spatial data. In this study, a web-based GIS application was developed using the Shiny library in the R programming language. Earthquake data in Turkey spanning the past 53 years was obtained from the United States Geological Survey (USGS) website. The downloaded data was imported into the R programming language, and a web application was created using the Shiny library. Point-in-point density maps were generated for earthquakes within the web application. Interactive visualization can be achieved by adjusting various parameters needed to create a density map. The application reveals a concentration of earthquakes in Turkey. This web-based GIS application has the potential for further development by incorporating different spatial layers. Leveraging free, open-source code and libraries capable of analyzing any spatial data, the R programming language proves to be readily accessible for GIS studies.

To Cite: Kaya E. Shiny Kütüphanesi ile Açık Kaynak Kodlu WEB Tabanlı CBS Uygulaması Geliştirme. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(5): 2010-2025.

1. Giriş

Teknolojide yaşanan hızlı değişimler neticesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) son yıllarda çok hızlı bir şekilde gelişme göstermiştir. Özellikle WEB araçlarının değişimi ve bilgisayar teknolojilerinde yaşanan gelişmeler internet tabanlı CBS uygulamalarının farklı boyuta taşınmasına neden olmuştur (Netek ve ark., 2023). 21. yy. dünyasında harita çıktıları kâğıt ortamından WEB ortamına taşınarak sunulmaya başlanmıştır. WEB haritaları şeklinde çıktı ile bilgilerin sunumu sırasında etkileşimli araçlar kullanılmaya başlandı. Bu sayede haritalar daha anlaşılır hale gelmiştir. Harita çıktılarının klasik olarak masaüstü yazılımlarda oluşturulması aşaması, yerini WEB tabanlı uygulamalar üzerinde interaktif bir biçimde sunulmaya bırakmıştır. WEB tabanlı geliştirilen uygulamalar sayesinde daha dinamik, daha erişilebilir ve görsellik açısından daha anlaşılabilir çıktılar sunulmaya başlandı (Netek ve ark., 2023; Dobson, 2004). Sürekli gelişen bilgi teknolojileri sayesinde WEB tabanlı CBS uygulaması geliştirilmesinde farklı seçenekler kullanılarak son kullanıcıya daha anlaşılır harita sunulmasının önünü açmıştır. Afetler insan hayatını etkileyen en önemli doğa olaylarıdır. Afetlerin insan hayatına etkilerinin azaltılmasında WEB tabanlı CBS uygulamaları kullanılmaktadır. WEB tabanlı CBS uygulamaları ile birçok afet olayı gerçekleşmeden önce önlem alınarak zararın azaltılması sağlanabilir. Ulusal ve uluslararası literatür incelendiğinde yapılan çalışmalarda CBS destekli çok kriterli karar verme teknikleri kullanıldığı görülmüştür. Bu çalışma ile afet konularında R programlama ile çeşitli analizler sonucunda WEB ortamında haritaların yayınlanabileceği konusunda literatüre katkı sunulmuştur. Demir ve Altaş (2024) tarafından Kars İli için yapılan çalışmada deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanlar CBS tabanlı olarak çok kriterli karar verme tekniklerinden analitik hiyerarşi süreci ile analiz edilmiştir. Yalçın ve Sabah (2018) Adıyaman İli için CBS tabanlı bulanık mantık ve AHP yöntemleri kullanılarak deprem tehlike analizi yapılmıştır. Deprem risk analizine yönelik İsatnbul İli, Kadıköy İlçesinde yapılan diğer bir çalışmada CBS kullanılarak çok kriterli karar verme teknikleri yardımıyla deprem hasar riski analizi gerçekleştirilmiştir (Yavaşoğlu ve Varol Özden, 2017). Ulusal literatürde yer alan diğer deprem ile ilgili çalışmalarda genellikle WEB tabanlı CBS kullanılmadan yapılmıştır. Üretilen analizler internet ortamında yayınlanmamıştır. Son kullanıcıların bu tür çalışmaların sonuçlarına erişebileceği bir WEB adresi bulunmamaktadır. Uluslararası literatürde ise; Çin'in Wenchuan kentinde 2008 yılında meydana gelen deprem sonucunda WEB tabanlı CBS ile tehlike bilgi sistemi tasarımı yapılmıştır (Wu ve ark., 2022). İran Ülkesinin Tahran şehrinde depremde meydana gelen zararların tespiti için CBS tabanlı analiz yapılabilecek bir metodoloji geliştirilmiştir. Metodolojinin uygulanabilmesi için nüfus, yerleşme, cadde gb. özellikler kullanılmıştır (Hashemi ve Alesheikh, 2011). Reza ve ark., (2013) tarafından yapılan çalışmada interaktif yaklaşımlar kullanılarak CBS tabanlı deprem senaryosu geliştirilmiştir. Senaryo ile deprem anında kaynakların doğru kullanımı üzerine sonuçlar önerilmiştir. Deprem senaryosu için Karmania tehlike modeli kullanılmıştır. Bu model içerisinde kullanılacak mekânsal özellikler kırılgenlik ilişkisi üzerinden istatistiksel hesaplamaya tabi tutularak ağırlıklar hesaplanmaktadır. Ağırlıklar ile katmanlar çarpılarak sonuç haritalar üretilmiştir.

Depremlerin oluştuğu bölgelerin konum analizleri, depremin farklı sektörler üzerine mekânsal analizi gibi konularda WEB tabanlı CBS altyapısından faydalanılabilir. İnternet teknolojisinin hayatımıza girdiği dönemlerden itibaren sürekli gelişen WEB tabanlı CBS uygulamaları ile farklı sektörlerde mekânsal veri analizi ve sunumu için lisanslı yazılımlar kullanılmıştır. Geçen zamanda gelişen bilgi teknolojileri sayesinde açık kaynak kodlu yazılımlar ortaya çıkmıştır. Bu yazılımlar sayesinde geliştiriciler kendi uygulamalarını farklı program / programlama dilleri ile geliştirebilmektedir. Uygulama geliştiriciler standart ara yüzlerin yanında kullanıcı ara yüzünü de geliştirmek için cascading style sheets (CSS) ve hypertext markup language (HTML), JavaScript, Python, Julia ve R vs. farklı programlama dillerini bir arada kullanabilmektedir.

Ulusal ve uluslararası literatür incelendiğinde birçok farklı alanda farklı teknolojik altyapılar kullanarak WEB tabanlı CBS projelerinin geliştirildiği görülmüştür. Yıllar içerisinde WEB teknolojisinin gelişmesi ile CBS uygulamalarının fonksiyonelleştirilmesi konusunda yapılan çalışmalara bakıldığında; Netek ve ark., (2023) tarafından WEB tarayıcılarda mekânsal veri analizine yönelik işlem süresinin karşılaştırılmasına yönelik bir çalışma yapılmıştır. GeOnline isimli bir WEB sayfası aracılığı ile mekânsal veri analizine izin veren bir uygulama geliştirilmiştir. Bu uygulama içerisindeki özellikler ArcGIS Online, GISCloud, CARTO, FOURSQUARE gibi farklı araçlar ile karşılaştırılmıştır. Yapılan performans analizi sonucunda en iyi sonuçlar GeOnline uygulamasından alınmıştır. Justová, ve Cajthaml (2023) tarafından yapılan çalışmada, orijinal bir şekilde basılı tarihi haritaların WEB ortamında sunumunun yapılabilmesi için gerekli olan kartografik tasarım sürecine yönelik işlemler anlatılmıştır. Yapılan çalışma ile tarihi haritaların sunulmasında kullanılacak kurallar, temeller, öneriler ve metotlar geliştirilerek bir standart oluşturulmuştur. Bu amaçla çalışma 3 ana aşamadan oluşturulmuştur. İlk aşamada harita analizi yapılmış, ikinci aşamada kartografik tasarım ve harita süreci ile ilgili işlemler yapılmış ve son aşamada ise haritaların WEB ortamında sunumu gerçekleştirilmiştir. Pasquaré Mariotto ve ark., (2023) tarafından yapılan çalışmada, mekânsal verilerin görselleştirilmesi için geliştirilen teknolojiler üzerine bir inceleme yapılmıştır. Özellikle COVID-19 salgını ile birlikte WEB tabanlı CBS uygulamalarında farklı ihtiyaçların doğduğu düşünülmektedir. Sanal gerçeklik ile WEB tabanlı CBS teknolojilerinin birlikte nasıl kullanılacağı üzerine öneriler getirilmiştir. Endüstriyel tesisler ekonomik olarak ülkelere büyük katkı sağlamaktadır. Ekonomik katkılarının yanı sıra ülkede istihdam olanaklarını da artırmaktadır. Katma değeri yüksek olan bu yerlerin konumlandırılmasının seçiminde minimum risk faktörünün olduğu yerler seçilmelidir. Endonezya'nın Batı Java bölümünde yapılan çalışmada WEB tabanlı CBS kullanılarak endüstriyel alan seçimine yönelik bir uygulama gerçekleştirilmiştir (Chumaidiyah ve ark., 2023). İklim değışikliği farklı alanlarda farklı etkiler bırakmaktadır. İklim değışikliği krizi Dünya'da su kaynaklarının korunması üzerine farklı çalışmalar yapılmasını zorunlu kılmıştır. Bu çalışmalarda daha çok tatlı su kaynakları üzerine yoğunlaşıldığı ancak denizler ile ilgili çalışmalara da ağırlık verilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Falciano ve ark., (2023) tarafından yapılan çalışmada, 2100 yılına kadar geçen sürede Akdeniz kıyılarındaki değışen deniz seviyelerinin yükselmesini incelemek ve fırtınalar için dalga senaryoları üretmek için WEB tabanlı

SAVEMEDCOASTS-2 uygulaması geliştirmişlerdir. Çalışma ile Akdeniz kıyılarında olası fırtınalar ve diğer doğal olaylar ile ilgili simülasyonlar yapılarak tedbir önerileri sunulmuştur. Su ile ilgili Zhi ve ark., (2023) tarafından yapılan çalışmada, insansız hava aracı (İHA) sistemlerinden elde edilen veriler kullanılarak barajlarda yaşanan su değişimine göre risk faktörlerinin değerlendirilmesine yarayan bir WEB tabanlı CBS uygulaması geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulama ile farklı zamanlarda barajlardaki su depolama kapasitesine göre risk analizi yapılmıştır. WEB tabanlı CBS sadece çevre ya da iklimsel çalışmalarda kullanılmamaktadır. Sağlık alanında da farklı şekillerde kullanılmaktadır. Santos-Luna ve ark., (2023) tarafından Meksika’da yapılan çalışmada sıtma hastalığının bulaşma odaklarının analiz edilmesi ve vakaların izlenmesine yönelik uygulama geliştirilmiştir. İlk olarak vakalara ait bilgiler toplanarak uygulama içerisine aktarılmıştır. Daha sonra bir ara yüz içerisinde çeşitli istatistiksel bilgiler dashboard şeklinde sunulmuştur. İstatistiki bilgilerin yanı sıra çeşitli görselleştirme teknikleri kullanılarak vakaların hangi bölgede yaşandığı izlenmiştir. İtalya’da kamuya ait binaların yönetimi için WEB tabanlı CBS kullanılarak geliştirilen uygulamada, bina yapı modellemesi ve nesnelerin interneti teknolojileri birlikte kullanılmıştır. Binalara ait modeller ile binaların enerji verimlilikleri hesaplanmıştır. Binaların konum bilgilerine nesnelerin interneti ile hesaplanan enerji verimlilik bilgileri eklenmiştir. Böylelikle binaların enerji verimliliği, karbon salınımı gibi konularda azaltıcı önlemler alınmasına yönelik öneriler geliştirilmiştir (Congiu ve ark., 2023). Teknolojik gelişmelerle birlikte gelişen WEB ve CBS altyapısı, ülkelerde meydana gelen afetlerin etkilerinin azaltılmasında kullanılabilir. Ülkemiz konumu nedeniyle birçok farklı afete maruz kalmaktadır. Bu afetlerin başında deprem gelmektedir. Depremler yer kabuğunda yaşanan kırılmalar sonucunda oluşan afetlerdir (Aydoğdu Gürbüz ve Aslan, 2023). Ülkemizde yaşanan her depremde can ve mal kaybı olabilmektedir. En son yaşanan 6 Şubat 2023 tarihli, Kahramanmaraş merkezli depremden birçok il etkilenmiştir. Bu illerde can ve mal kayıpları yaşanmıştır (Ünlügenç ve Akıncı, 2023). Deprem öncesinde ve sonrasında depremin etkilerinin azaltılması için WEB ve CBS teknolojileri yardımıyla simülasyonlar yapılarak öneriler geliştirilebilmektedir.

Ülkemizde WEB ve CBS tabanlı teknolojiler kullanılarak farklı disiplinlerin ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Özellikle çeşitli kamu kurumları kendi ürettiği verileri Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının bünyesinde geliştirilen WEB tabanlı CBS uygulamasına verilerini ekleyebilmektedir. Bu verilerin bazıları kamu kurumlarına ve ilgili paydaşlara açılmıştır. Üniversitelerde çalışan araştırmacılara da bu verilerin açılması gerekmektedir. Bu veriler yardımı ile araştırmacılar çalışmalarını farklı boyutlara taşıyabilir. Durduran ve Sarı (2011) tarafından Konya’da yapılan çalışmada bisiklet kazaları verisi CBS ortamından işlenmiştir. İşlenen veri oluşturulan bir karar destek sistemi yardımıyla WEB ortamında mekânsal analizi yapılarak sunulmuştur. Durduran ve ark., (2011) tarafından Konya’da yapılan çalışmada, Konya İli Trafik Denetleme Şube Müdürlüğünden alınan trafik kazaları verileri gruplara ayrılmıştır. Gruplara göre mekânsal analiz yapmak amacıyla WEB tabanlı CBS uygulaması geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulamada kazaların olduğu yerler ve kazalara ait

öz niteliksel bilgiler bir arada tutularak bir WEB adresinde sunulmuştur. Çalışmada WEB harita servisleri, verilerin yapısına ait değerlendirmeler yapılmıştır.

Onyıl ve Yılmaz (2020) tarafından yapılan çalışmada açık kaynak kodlu yazılımlar kullanılarak WEB tabanlı mekânsal analiz yazılımı geliştirilmiştir. Sistem kullanıcılara ait verilerin okunması, işlenmesi, analiz edilmesi ve sunulması üzerine tasarlanmıştır. Masaüstü yazılımı olarak QGIS, mekânsal veri tabanı olarak PostgreSQL/PostGIS, mekânsal analiz işlemleri için Web İşlemler Servisi (WPS) ve JavaScript kütüphanesi olan Turf.js kullanılmıştır. Geliştirilen uygulama ile kullanıcılar verilerini yükledikten sonra temel CBS komutları ile harita üretebilmektedir. Arca ve ark., (2011) tarafından Safranbolu’da yapılan çalışmada, 1300’e yakın tescilli tarihi binalara ait bilgiler çıkarılmıştır. Resimler çekilerek veri tabanına eklenmiştir. Toplanan bu öznelik bilgileri 3B modeller ile entegre edilmiştir. Elde edilen veriler en son WEB tabanlı bir CBS uygulaması ile son kullanıcıya sunulmuştur. Aynı zamanda çalışma alanına ait veriler kayıt altına alınarak saklanmıştır. Alkiş ve Ünver Okan (2020) tarafından Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni yerleşkesinde bitki bilgi sistemi kurulmuştur. “Open Data” kavramından hareket edilerek bitkilere ait botanik özellikler toplanmıştır. Kare kod altyapısı kullanılarak kullanıcıların mobil uygulamalar üzerinden bitkilere ait özellikleri hızlıca bulabilmesi sağlanmıştır. Çalışmada farklı ağaç türleri, ağaççık ve çalı türlerine ait bilgiler toplanarak WEB uygulaması şeklinde sunulmuştur. Oğuz ve ark., (2020) tarafından Kahramanmaraş ilinin iki ana bulvarı olan Alparslan Türkeş ve Prof. Dr. Necmettin Erbakan’da WEB tabanlı ağaç bilgi sistemi yapılmıştır. Çalışma iki bölüm halinde tamamlanmıştır. İlk aşamada bulvarlarda bulunan ağaçların envanter çalışması yapılmıştır. Envanter oluşturma sırasında 774 ağacın bilgisi toplanmış ve sonrasında 11 adet farklı ağaç türü olduğu tespit edilmiştir. Envanter içerisindeki bilgiler kullanılarak bir veri tabanı oluşturulmuştur. Oluşturulan veri tabanı ArcGIS Online vasıtası ile WEB uygulaması haline dönüştürülmüştür. Yücedağ ve Oğuz (2022) tarafından Diyarbakır ilinde yapılan çalışmada tarihi yapılar için WEB tabanlı bir bilgi sistemi oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında Diyarbakır, Sur içi tarihi kentine 600’e yakın tescilli tarihi yapı için WEB tescil fişleri içerisinde yer alan bilgiler ile bir veri tabanı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu veri tabanı içerisine kadastro durumları hakkında bilgiler girilmiştir. Her bir tescilli yapıya ait ada numarası, parsel numarası, adres vs. bilgileri girilmiştir. ArcGIS Online platformu kullanılarak WEB uygulaması oluşturulmuştur. Tarhan ve Partigöç (2021) tarafından yapılan çalışmada WEB tabanlı geliştirilen CBS uygulamalarının afet risklerini azaltmadaki rolü incelenmiştir. COVID-19 salgını ile doğru, eksiksiz ve güncel veri üretmenin öneminin anlaşılması ile afetlerin nasıl doğru şekilde yönetilebileceğine dair risk yönetimleri açıklanmıştır. CBS altyapısı kullanılarak sürekli güncellenen veriler yardımı ile sadece COVID-19 vakalarının bilgileri değil konum olarak dağılım haritalarının üretilmesi ve salgının daha sağlıklı bir şekilde yönetilmesinin sağlanmasına yönelik iş adımları anlatılmıştır. Çalışmanın son bölümünde yerel ve merkezi ölçekte risk senaryoları ve politikalar geliştirilerek salgın seyrini insanlık lehine değiştirecek kazanımlar elde edilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmanın içerisinde yer alan literatürler birlikte değerlendirildiğinde WEB teknolojisi ile CBS birbirlerine entegre edilerek sonuç ürün WEB tabanlı CBS uygulaması şeklinde geliştirilmiştir. Çalışma ile günümüze kadar gelen süreçte en çok hangi illerde, bölgede depremin meydana geldiği konusunda haritalar sunulmuştur. Çalışma için son 50 yılda ülkemizde yaşanan depremlerin konum ve öznitelik bilgileri CSV formatında indirilmiştir. İndirilen bilgiler açık kaynak kodlu QGIS yazılımı içerisinde düzenlenmiştir. Düzenlenen veri CSV formatında tekrar kaydedilmiştir. Düzenlenen veri R programlama dili içerisine aktarılmıştır. R programlama dili içerisinde yer alan çeşitli kütüphaneler kullanılarak WEB tabanlı CBS uygulaması geliştirilmiştir. Uygulama içerisinde birçok interaktif araç bulunmaktadır. Bu araçlar sayesinde veriler son kullanıcılara daha anlaşılır bir biçimde sunulmaktadır. Uygulama içerisinde depremlerin yaşandığı konumlar kullanılarak ısı haritası üretilmiştir. Isı haritası ile hangi bölgede daha çok deprem olduğu bilgisi verilmektedir. Isı haritasının oluşturulmasında kullanılacak olan parametreler için bir ayar bölümü tasarlanmıştır. Bu bölümde gerekli ayarlamalar yapılarak sonuç haritası oluşturulmaktadır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada, USGS WEB adresinden yaşanan depremlere ait bilgiler indirilmiştir. İndirilen bilgilerin içerisinde kullanılmış olan materyaller ve tercih edilen metot, giriş bölümünde belirtilen amaca göre açık bir şekilde bu bölümde sunulmuştur. Çalışmaya ait iş akış şeması Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. İş akış şeması

2.1. Verilerin İndirilmesi

Çalışmada kullanılan veriler Amerikan Jeolojik Araştırmalar Merkezi (United States Geological Survey-USGS; AJAM) WEB adresinden indirilmiştir. Tek seferde WEB adresinden 2000 satırlık veri

indirilebilmektedir. Bu yüzden 2 farklı sorgu gerçekleştirilerek 1 Ocak 1950 ile 20 Kasım 2023 tarihleri arasındaki veriler indirilmiştir (Url-1). İndirilen verilerin içerisinde yer alan bilgilerden bazıları Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Deprem verilerine ait bazı öznitelik bilgileri

Öznitelik	Açıklama
time	Depremi gerçekleştiği zaman
latitude	Depremi olduğu noktanın boylamı
longitude	Depremi olduğu noktanın enlemi
depth	Deprem derinliği
mag	Deprem büyüklüğü
magType	Deprem büyüklüğü türü
id	Tanımlanmış kimlik
updated	Güncelleme tarihi
place	Depremi olduğu yer
type	Tür
locationSource	Konum kaynağı
magSource	Büyüklük kaynağı
horizontalError	Yatay hata miktarı
depthError	Derinlik hatası
magError	Büyüklük hatası
status	Durum

Tablo 1 içerisinde yer alan özelliklerin hepsi uygulamada kullanılmamıştır. Bu nedenle uygulamada yer almayan öznitelik bilgileri temizlenmiştir. Temizleme işlemleri ile ilgili bilgiler bir sonraki bölümde verilmiştir.

2.2. Verilerin Temizlenmesi

İndirilen veriler direkt olarak R programı içerisine aktarılmamıştır. Verilerin temizleme aşamasında indirilen CSV dosyası QGIS 3.28 içerisine aktarılmıştır. QGIS içerisinde ilk olarak ‘time’ sütunu içerisindeki zaman bilgisinden yıl ve ay bilgileri çekilmiştir. Yıl ve ay isminde veri seti üzerinde yeni bir sütun oluşturulmuştur. R içerisinde yazılan WEB tabanlı CBS uygulamasında;

- latitude,
- longitude,
- depth,
- mag,
- magType,
- place,
- year,
- month

öznitelikleri kullanılmıştır.

2.3. Verilerin RStudio İçerisine Aktarılması

Veriler kullanılmaya hazır hale getirildikten sonra R programlama dilinin özelliklerini kullanmaya yarayan açık kaynak kodlu RStudio yazılımı içerisine aktarılmıştır. RStudio, R programlama dilinin kullanılmasına izin veren kullanıcı dostu bir yazılımdır. R programlama dili esnek yapısı nedeniyle mekânsal veri analizinde kullanılabilir en önemli programlama dillerinden bir tanesidir. İçerisinde mekânsal veri analizine izin veren birçok kütüphane bulunmaktadır. Mekânsal veri analizi için dışarıdan farklı dosya türleri şeklinde depolanan (Excel, CSV, TXT vs.) veriler, R içerisine aktarılıp dosyalar üzerinde kolaylıkla işlemler yapılabilir (Kaya ve ark., 2019).

2.4. WEB Tabanlı CBS Uygulaması

Son yıllarda mekânsal verileri analiz ettikten sonra sonuç haritaları WEB uygulamalarında interaktif araçlar ile sunulmaktadır. Hızlı ve anlaşılır haritaların sunumu için farklı programlama dillerinde kütüphaneler geliştirilmektedir. R programlama dili içerisinde shiny, shinydashboard, shinydashboardplus, argonDash, tablerDash, bs4Dash, gibi çok sayıda WEB uygulaması geliştirmek için kütüphane vardır. Bu kütüphanelerin içerisinde interaktif araçları kullanmak için ShinyWidgets, bsplus, shinyBS gb., kütüphaneler bulunmaktadır. Bu kütüphaneler ile WEB sitesinin bütün ayarları yapılabilmektedir. Eğer JavaScript dili ile daha interaktif özellikler eklemek istenirse shinyjs, JQuery ile farklı sorgulama araçları kullanmak için ise shinyjsui kütüphanesi kullanılabilir.

WEB tabanlı CBS uygulamalarının en önemli parçası haritalardır. R programlama dili içerisinde harita çıktısı oluşturmak için leaflet, leaflet.extras, tmap, maptools, sf, mapdeck gb., kütüphaneler bulunmaktadır. Bu kütüphaneler vasıtası ile interaktif haritalar oluşturulabilmektedir. Aynı zamanda hem harita hem de grafiksel gösterimler yapabilmek için GGPlot2, Plotly gb. Kütüphaneler bulunur.

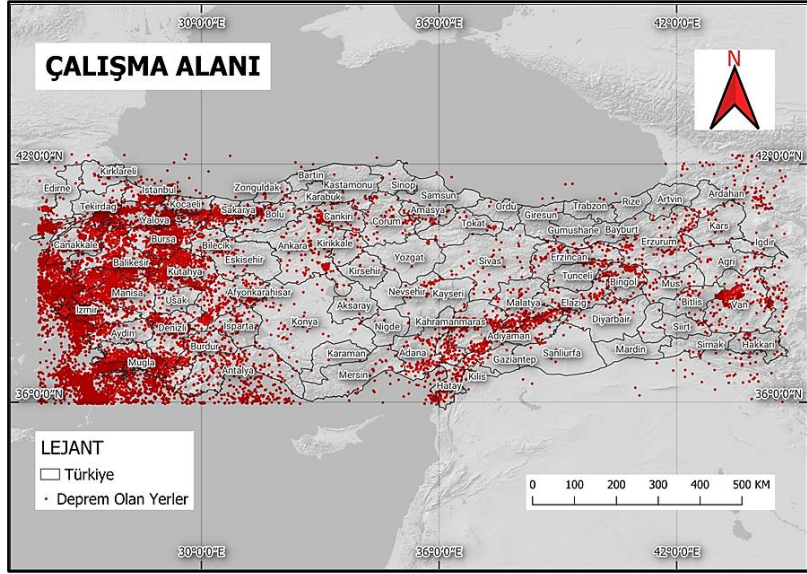
R programlama dili içerisinde verilerin kullanıcılara tablo şeklinde sunulması amacıyla geliştirilen kütüphaneler ise; data.table, gt, DT, rhandsometable, reactable vs. örnek verilebilir.

R içerisinde farklı meslek disiplininden araştırmacıların kullanabileceği 20.000'in üzerinde kütüphane bulunmaktadır. Bu kütüphaneler vasıtası ile istenilen çalışma yapılabilmektedir (Url-2).

3. Uygulama

Türkiye, kuzey yarım kürede yer almaktadır. Coğrafi ve jeopolitik konumu gereği Dünya'nın en önemli kesişim noktasında bulunan Türkiye'nin matematiksel konumuna bakıldığında yaklaşık 36°-42° kuzey paralelleri ile 26°-45° doğu meridyenleri arasında yer alır.

Türkiye konumu tektonizma açısından incelendiğinde aktif Alp-Himalaya kenet bölümü içerisinde yer almaktadır. Tarihsel süreçte ülkemizde birçok yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Bu nedenle depremlerin en çok meydana geldiği yerler hakkında haritalar ile desteklenerek afet sırasında ve sonrası için zarar azaltma planları hazırlanabilir. Bu yüzden çalışma alanı olarak Türkiye'nin tamamı seçilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanı ve deprem olan yerlerin noktasal gösterimi

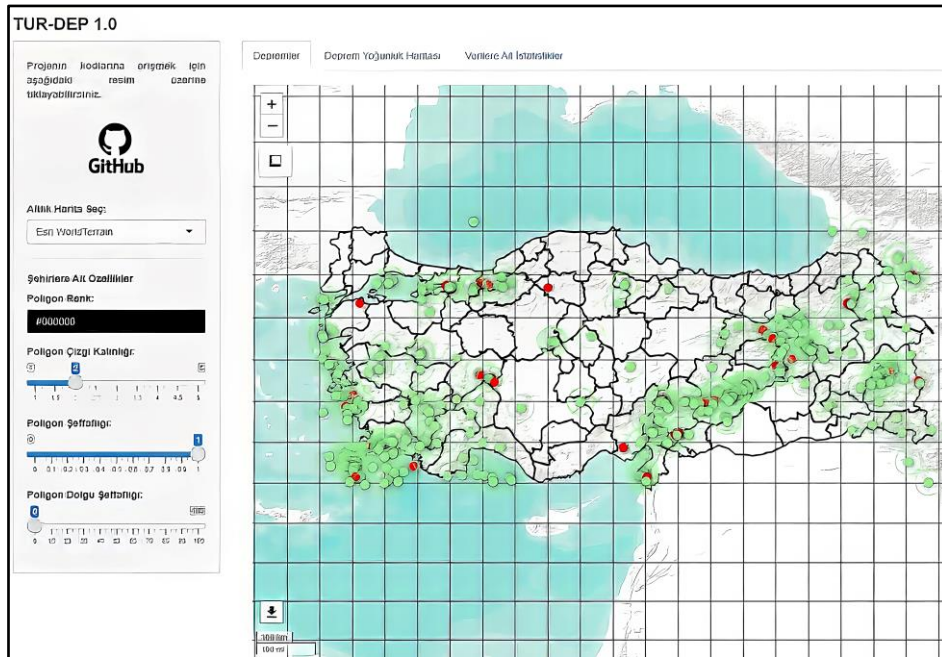
Uygulama için ilk olarak RStudio yazılımı içerisinde proje açılmıştır. Proje oluşturulurken üç adet dosya oluşturulmuştur. Birinci dosya programın kullanıcılara görünen kısmının kodlandığı ui.R, ikinci dosya kullanıcı ara yüzünde hesaplamalar, interaktif görselleştirmeler, dosya işlemleri gb., iş adımlarının yer aldığı server.R ve son olarak programın içerisinde kullanılacak kütüphanelerin yüklendiği, genel değişkenlerin oluşturulduğu ve değişken ayarlarının yapıldığı global.R'dir.

ui.R dosyası içerisinde ilk olarak fluidPage() fonksiyonu ile bir WEB sayfası oluşturulmuştur. Uygulamanın açılması ile birlikte diyalog penceresi şeklinde kullanıcı karşılama sayfası oluşturulmuştur. Daha sonra kullanıcıya sayfanın sol bölümünde projenin kodlarına ulaşılacak github adresinin linki, program içerisinde ki tüm sayfalarda kullanılacak olan altlık harita seçimi açılır menüsü ve poligon verilere ait ayar penceresi eklenmiştir. Uygulamanın orta bölümünde tab menü şeklinde tasarlanan 3 adet sayfa bulunmaktadır. Depremler tab menüsünde Türkiye'de 5 ile 6 şiddetinde yaşanan depremlerin konumları açık yeşil renkli olarak gösterilmiştir. 6 şiddetinden büyük olan depremlerin konumları ise kırmızı şekilde gösterilmiştir. Sayfanın en alt bölümüne ise haritayı indirmek için buton eklenmiştir. Deprem yoğunluk haritası tab menüsünde depremlerin yoğunluğunu gösteren interaktif WEB haritası bulunmaktadır. Verilere ait istatistikler tab menüsünde veriler arasındaki korelasyonu gösteren interaktif bir grafik ve uygulamada kullanılan veriler bulunmaktadır. Uygulamada kullanılan verilerin yer aldığı tablonun en altında ise verileri farklı formatta indirmek için butonlar bulunmaktadır. Bu görünen arayüz (ui.R) dosyası içerisinde toplam 82 satırlık kod bulunmaktadır.

server.R dosyası içerisinde ise uygulamanın kullanıcıya görünen yüzünde yer alan özelliklerin kodlanması yapılmıştır. Uygulamanın sol bölümünde yer alan altlık harita seçimi, online harita üzerindeki şehirlere ait özellikler ve tab menüler içerisinde yer alan diğer özellikler için gerekli kodlama bu dosya içerisinde yapılmıştır. Ayrıca verilere ait istatistikler tab menüsünde veriler arasındaki korelasyonu gösteren grafiğin daha iyi görüntülenerek anlaşılır bir şekilde sunulması için gerekli kodlar düzenlenmiştir. Bu dosya içerisinde toplam 96 satırlık kod bulunmaktadır.

global.R dosyası içerisinde projede kullanılan kütüphanelerden shiny, shinyWidgets, shinycssloaders, shinyBS, shinyalert, shinyjs, colourpicker, readxl, dplyr, magrittr, DT, sf, plotly, leaflet, leaflet.extras ve leaflet.extras2 yer almaktadır. Ayrıca dosya içerisinde Türkiye iller vektör verisi ile depreme ait CSV verisi yüklenmiş ve global değişken olarak tanımlanmıştır. Bu sayede verilerin tamamı ya da istenilen filtrelerin sonuçları istenilen yerde kullanılabilir. Bu dosya içerisinde toplam 36 satırlık kod bulunmaktadır.

Üç dosya içerisinde yer alan kodlar yardımı ile oluşturulan WEB tabanlı CBS uygulaması Şekil 3'te görülmektedir. Uygulamaya <https://efdalkaya.shinyapps.io/TUR-DEP/> internet adresi üzerinden erişilebilmektedir. Proje kodlarına ise github web sayfası üzerinden erişmek için https://github.com/efdalkaya/Turkiye_Deprem_Analiz adresi kullanılmaktadır. Uygulamanın sol bölümünde, en üstte yer alan altlık harita seçim aracı ile R programlama dili içerisinde yer alan 100'ün üzerinde altlık harita listesi listelenmektedir. İstenilen harita buradan seçilerek harita bölümünde altlık olarak kullanılmaktadır. Altında yer alan harita çizim parçalarında ise online haritaların üzerinde yer alan poligon verilerin özellikleri değiştirilebilmektedir. Deprem yoğunluk tab menüsü içerisinde yer alan Deprem büyüklüğü aracı ile veri seti içerisinde istenilen deprem büyüklüğüne göre filtreleme yapılarak yoğunluk haritası oluşturulabilmektedir. Veri seti içerisinde yer alan en düşük şiddetli ve en yüksek şiddetli deprem değerlerine göre seçim yapılabilir. Yoğunluk haritası oluşturmak için haritada kullanılan renklerin geçişlerini düzenlemek için bulanıklık değeri atanmaktadır. Isı haritası bulanıklık değeri ayarı ile bu özellik değiştirilebilmektedir. Yoğunluk haritası oluşturmak için bir yarıçap verilmesi gerekmektedir. Bu yarıçap içerisine düşen nokta sayısına göre yoğunluk haritası oluşturulmaktadır. Yarıçap ayarı noktaların açılma değeri isimli araçtan yapılmaktadır. Yarıçap içerisine düşen nokta sayısının yoğunluğunu maksimum nokta yoğunluğu aracından yapılmaktadır.



Şekil 3. WEB tabanlı CBS uygulaması kullanıcı ara yüzü

Deprem yoğunluk haritası üretimi ile ilgili ayarlar yapıldıktan sonra mekânsal olarak hangi ilde yoğun bir şekilde deprem görüldüğünü incelemek için Türkiye’de yer alan şehirlerin WGS84 koordinat sisteminde poligon şeklinde verisi eklenmiştir. Yoğunluğun yaşandığı yerlerde vektör veri üzerinde gezildiğinde hangi şehir olduğu görülmektedir. Poligon verisinin rengi varsayılan olarak Beyaz’dır. Poligon renk aracı ile istenilen renk seçilebilir. Poligon verisi ile ilgili diğer bir ayar ise çizgi kalınlığıdır. Poligon Çizgi Kalınlığı ayarı ile poligon verisine 1 ile 5 birim arasında istenilen kalınlık verilebilmektedir. Poligonun şeffaflık ayarı ise Poligon şeffaflığı ayarından yapılarak poligonun görünürlük ayarı istenilen şekilde düzenlenebilmektedir. Poligon verisine ait son ayar ise, dolgu şeffaflığıdır. Bu ayar ile poligon dolgusu istenilen şekilde düzenlenebilmektedir. Ayarlar yapıldığı andan itibaren interaktif bir şekilde haritalar otomatik olarak güncellenmektedir.

Verilere ait istatistikler tab menüsünde uygulamada kullanılan sayısal veriler arasında istatistiksel olarak herhangi bir ilişki olup olmadığının görülmesi için korelasyon analizi grafiği çizdirilmiştir. Grafik üzerinde herhangi bir noktaya gidildiğinde veriler arasındaki pearson korelasyon katsayısı değeri görülmektedir. Grafiğin üzerinde yer alan araç çubukları sayesinde grafik kaydedilebilmektedir.

Bu bölümün hemen yanında veri görüntüleme tablosu görülmektedir. Bu tablo çalışmada kullanılan verileri içermektedir. Tablo içerisinde her bir sütuna ait filtreleme butonu görülmektedir.

İstenilen değere göre filtreleme yapılabilmektedir. Ayrıca verileri kopyalama, CSV olarak indirme, excel dosyası olarak indirme ve yazdırma butonları kullanılarak veri üzerinde çeşitli işlem yapılabilir.

4. Bulgular ve Tartışma

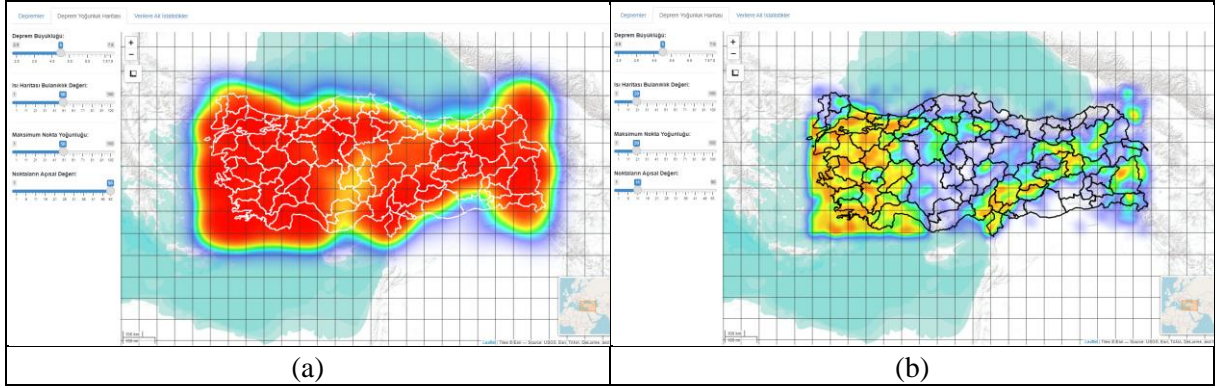
Bu çalışmada Türkiye’de yaşanan depremlerin bilgileri AJAM’a ait WEB sitesinden indirilmiştir. İndirilen bilgiler temizlendikten sonra RStudio programı içerisine yeni bir proje oluşturularak içerisine aktarılmıştır. RStudio içerisinde WEB tabanlı CBS uygulaması geliştirmek için kullanılan kütüphaneler aracılığıyla bir WEB uygulaması oluşturulmuştur.

Harita sonuç ürünü ile ilgilenen disiplinler tarafından farklı amaçlar için geliştirilebilecek uygulamalar vardır. CBS sektörü için açık kaynak kodlu bir programlama dili olması sebebiyle rahatlıkla bilimsel çalışmalarda kullanılabilir.

Şekil 4 (a) bölümünde yer alan harita oluşturulurken altlık harita olarak Esri.WorldTerrain seçilmiştir, Isı haritası bulanıklık değeri 50, maksimum nokta yoğunluğu 50, noktaların açısız değeri 50, poligon verisinin kalınlığı 3 seçilmiştir. Ayrıca poligon rengi ise #FFFFFF HTML renk kodu seçilmiştir. Elde edilen sonuç haritası bu ayarlar doğrultusunda incelendiğinde Türkiye’deki tüm bölgelerde yoğun bir şekilde deprem yaşandığı anlaşılmaktadır. Kırmızı renk tonunun olmadığı yerler Mersin, Karaman, Aksaray şehirleridir. Bu illerde deprem afetinin çok fazla gerçekleşmediği görülmektedir.

Şekil 4 (b) bölümünde yer alan harita oluşturulurken altlık harita değiştirilmemiştir. Isı haritası bulanıklık değeri 20, maksimum nokta yoğunluğu 20 girilmiştir. Diğer ayarlar ise; noktaların açısız değeri 11, poligon verisinin kalınlığı 3’tür. Ayrıca poligon verisinin rengi ise #000000 HTML renk kodu

seçilmiştir. Elde edilen sonuç haritası bu ayarlar doğrultusunda incelendiğinde Türkiye’de özellikle Ege Bölgesi, Batı Akdeniz ve Marmara bölgesinde yoğun bir şekilde depremin dağıldığı görülmektedir.



Şekil 4. WEB tabanlı CBS uygulamasında farklı ayarlar sonucunda üretilen interaktif haritalar

Yapılan çalışmada, depremlerin mekânsal özellikleri yanında herkes tarafından erişilebilen bilgiler kullanılmıştır. Konu ile ilgili literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Rocha ve ark., (2021) tarafından Portekiz’de yapılan test çalışmasında Portekiz kıyıları için çoklu tehlike analizi yapabilen WEB tabanlı CBS platformu oluşturulmuştur. Platformun tasarımında Bootstrap, CSS ve JavaScript dilleri kullanılmıştır. Platforma sayesinde taşkın ve kıyı erozyon risk analizleri yapılabilmektedir. Bu sayede çoklu tehlikeler hakkında bilgiler edinilerek önlem senaryoları üretilebilmektedir. Çalışmada farklı projelerin sonuç haritalarına erişilebilmektedir. Araştırmacılar su bilgisi tahmini çatı projesi ve Avrupa bulut tabanlı açık bilimsel kaynaklar projelerinin sonuçlarını kendi platformlarında servis şeklinde erişebilmektedirler. Buradan elde edilen veriler ile çoklu tehlike haritalaması konusunda analizlerini rahatlıkla yapabilmektedirler. Bu çalışmada bu tür verilerin erişimi söz konusu olmadığı için bir tehlike haritalaması geliştirilmemiştir. Geliştirilen uygulamada, kullanıcılara kısıtlama engeli bulunmayan bir veri seti kullanılmıştır. Açık veri ile açık kaynak kodlu R programlama dili birleştirilerek mekânsal veri analizine yönelik bir uygulama geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulama herhangi bir lisanslı yazılımın modülü olmadan tasarlanmıştır. Farklı mekânsal veriler analiz edilerek sonuçların mekânsal görselleştirilmesi için literatüre katkı sağlanmıştır. Kodlar github ortamında paylaşılarak farklı uygulamalar geliştirilmesine katkı sağlanmıştır.

Mazzei ve Quaroni (2022) tarafından geliştirilen 3B WEB-CBS uygulamasında sismik riskler görselleştirilmiştir. Sismik risk analizi yapabilmek için öncelikle dinamik sonlu eleman analizi hesaplanmıştır. Çıkan değerlere göre sismik tehlike değerleri harita şeklinde sunulmuştur. Uygulama yazılırken Bootstrap, CSS ve JavaScript dilleri kullanılmıştır. Çalışmada haritalar 3B görselleştirilirken aynı zamanda kartezyen grafikler çizdirilerek uygulama zenginleştirilmiştir. Bu uygulamada ise çok farklı programlama dili yerine tek R programlama dili kullanılarak hem haritalama hem de dinamik grafik oluşturulmuştur.

Uygulama içerisinde farklı ayarlar ile interaktif bir şekilde değişen haritalar rahatlıkla üretilebilmektedir. Bu haritalar üzerine kadastro, mülkiyet haritaları gibi farklı haritalar eklenerek

uygulama daha farklı amaçlar için geliştirilebilir. İmar planları onaylandıktan sonra illere göre özelleştirilerek de rahatlıkla kullanılabilir.

5. Sonuçlar

Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte birbirinden çok farklı ölçekte üretilen mekânsal ve mekânsal olmayan verilerin analiz edilebilmesine olanak sağlamıştır. Coğrafi verilerin analizi sırasında araştırmacılar tarafından birçok farklı lisanslı (Ticari) ya da açık kaynak kodlu yazılım kullanılabilir. Açık kaynak kodlu olan yazılımları lisanslı yazılımlardan ayıran en önemli farklardan bir tanesi herhangi bir lisans ücretinin bulunmaması gösterilebilir. Diğer bir önemli farkı ise açık kaynak kodlu yazılımlar üzerine araştırmacılar kendi çalışmaları için özel yeni uygulamalar rahatlıkla geliştirilebilmektedir. Bu amaçlar R programlama dilinin esnek yapısı, hızlı bir şekilde öğrenilebilir olması nedeniyle amaca yönelik istenilen uygulama geliştirilebilmesinde rahatlıkla kullanılabilir. R programlama dili içerisinde farklı amaçlar için kullanılacak çok fazla sayıda kütüphane bulunması önemli avantajları arasında gösterilebilir. Bu özellik sayesinde çok fonksiyonel WEB tabanlı CBS uygulaması geliştirilmesi esnasında her türlü kamu kurumu ve ticari işletmelerin ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir. Yapılan uygulama ile araştırmacılara özel uygulama geliştirilebileceği ortaya konulmuştur. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, WEB tabanlı CBS uygulaması geliştirilirken kullanıcı arayüzünde görünen WEB ara yüzü için kullanılan programlama dili olarak HTML, CSS ve JavaScript dilleri kullanılmıştır. Ayrıca birçok çalışmada ArcGIS gibi ticari yazılımlar içerisinde yer alan modüller kullanılarak uygulamalar ticari yazılımların izin verdiği kadarıyla geliştirilmiştir. Ancak geliştirilen bu uygulamada ise sadece R programlama dili içerisinde yer alan kütüphaneler kullanılmıştır. Her programlama dilinin içerisinde çeşitli kütüphaneler ya da kullanılacak paketler bulunur. Bu paketlerin çokluğu o programlama dilin yaygınlığını göstermektedir. Yapılan uygulama ile farklı programlama dillerini kullanarak WEB tabanlı CBS uygulaması geliştiren araştırmacılara R programlama dili kullanılarak WEB tabanlı CBS uygulamasının geliştirebileceği ortaya konmuştur.

Mekânsal bilgiye dayalı analizler bugün neredeyse bütün disiplinler tarafından kullanılmaktadır. Bu analizlerin açık kaynak kodlu teknolojiler ile son kullanıcıya sunulması insan yaşamını ciddi derecede kolaylaştırmaktadır. Ülkemizde açık veri paylaşımı konusunda bir önyargı söz konusudur. Verilerin bazılarının kullanıcılara açılması ile çoklu tehlike haritaları gibi analizler yapılabilir. Çok karmaşık yapıda modellemeler yapılarak insan hayatı kurtarılabilir. Günümüzde deprem ve diğer afetlerden en az zararla kurtulabilmek için kamu kurumlarının ellerindeki verilerden uygun olanları paylaşması sayesinde tedbir projeleri için önemli haritalar üretilebilir. CBS ile WEB teknolojileri birleştirildiğinde çok boyutlu büyük veriler rahatlıkla konum olarak analiz edilebilir. Bu analizler sırasında açık kaynak kodlu programlama dilleri ile amaca yönelik kendi uygulamalarımızı rahatlıkla geliştirebiliriz.

Önemli problemlerin çözümünde birçok altlık haritaya ihtiyaç duyulmaktadır. Kurumsal anlamda iş birlikleri sayesinde karmaşık problemlerin çözümü için R programlama dili rahatlıkla kullanılabilir.

Konum ya da konum olmayan bilgilerin işlenmesine yönelik yardımcı kütüphaneler ile çeşitli analizler yapılarak ülkemizde yapılan WEB tabanlı CBS çalışmalarına katkılar sunulabilir.

Teşekkür

Çalışmada kullanılan verileri sağlayan Amerikan Jeolojik Araştırmalar Merkezi'ne teşekkürlerimi sunarım.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynakça

- Alkiş KC., Ünver Okan S. WEB tabanlı bitki bilgi sistemi (BBS): Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Yerleşkesi örneği. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2020; 8, 535-545.
- Arca D., Bayık Ç., Acar H., Alkan M., Şeker DZ. Tarihi kentlere yönelik WEB-CBS uygulaması; Safranbolu örneği. *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi* 2011/3 Özel Sayı.
- Aydoğdu Gürbüz İ., Aslan B. Kahramanmaraş depreminde hasar tespit çalışmaları üzerine bir değerlendirme. *Çevre, Şehir ve İklim Dergisi* 2023; 4, 180-195.
- Chumaidiyah E., Dewantoro MDR., Fauzi PM., Kamil AA. Selection of industrial sites using a WEB-based geographical information system to minimize risks: A case study in West Java, Indonesia. *Sustainability* 2023; 15(22): 16034.
- Congiu E., Desogus G., Frau C., Gatto G., Pili S. WEB-based management of public buildings: A workflow based on integration of BIM and IoT sensors with a WEB-GIS portal. *Buildings* 2023; 13(5): 1327.
- Demir M., Altaş NT. Kars kentinde deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanların CBS tabanlı AHP analizlerine dayalı olarak belirlenmesi. *Geomatik* 2024; 9(1): 123-140.
- Dobson JE. The GIS revolution in science and society. In *Geography and Technology*; Springer: Dordrecht, Netherlands, pp. 573–587, 2004.
- Durduran S., Sarı F. Konya ilinde meydana gelen bisiklet kazalarının karar destek sistemleri yardımıyla WEB tabanlı mekânsal analizi. *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergisi* 2011; 26(1): 26-32.
- Durduran S., Sarı F., Erdi A., Alkaya C. Trafik kazalarının analizi için web tabanlı CBS:Konya örneği. *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi* 2011/3. Özel Sayı.
- Falciano A., Anzidei M., Greco M., Trivigno ML., Vecchio A., Georgiadis C., Patias P., Crosetto M., Navarro J., Serpelloni E., Tolomei C., Martino G., Mancino G., Arbia F., Bignami C., Doumaz F. The SAVEMEDCOASTS-2 webGIS: The online platform for relative sea level rise and storm surge scenarios up to 2100 for the mediterranean coasts. *Journal of Marine Science and Engineering* 2023; 11(11): 2071.

- Hashemi M., Alesheikh AA. A GIS-based earthquake damage assessment and settlement methodology, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 2011; 31(11): 1607-1617.
- Justová P., Cajthaml J. Cartographic design and processing of originally printed historical maps for their presentation on the web. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 2023; 12(6): 230.
- Kaya E., Ağca M., Cetin M., Adıgüzel F. Spatial data analysis with R programming for environment, Human and ecological risk assessment: *An International Journal* 2019; 25(6): 1521-1530.
- Mazzei M., Quaroni D. Development of a 3D WebGIS application for the visualization of seismic risk on infrastructural work. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2022; 11, 22.
- Netek R., Pohankova T., Bittner O. Urban D. Geospatial analysis in web browsers—comparison study on WebGIS process-based applications. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 2023; 12(9): 374.
- Oguz H., Uzun A., Kısakürek Ş. WEB-based tree information system: A case study of Kahramanmaraş, Turkey. *Turkish Journal of Forest Science* 2020; 4(1): 160-171.
- Onyıl Hİ., Yılmaz M. Açık kaynak kodlu yazılımlarla web tabanlı mekânsal analizlerin gerçekleştirilmesi, *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*– 2020; 2(2): 76-82.
- Pasquaré Mariotto F., Corti N., Drymoni K. Advanced technologies for geosite visualization and valorization: A review. *Applied Sciences* 2023; 13(9): 5598.
- Rocha M., Oliveira A., Freire P., Fortunato AB., Nahon A., Barros JL., Azevedo A., Oliveira FSBF., Rogeiro J., Jesus G., et al. Multi-hazard WebGIS platform for coastal regions. *Appl. Sci.* 2021, 11, 5253. <https://doi.org/10.3390/app11115253>.
- Santos-Luna R., Román-Pérez S., Reyes-Cabrera G., Sánchez-Arcos MdelR., Correa-Morales F., Pérez-Solano MA. WEB geographic information system: a support tool for the study, evaluation, and monitoring of foci of malaria transmission in Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2023; 20(4): 3282. <https://doi.org/10.3390/ijerph20043282>.
- Tarhan Ç., Partigöç NS. WEB tabanlı CBS uygulamalarının afet riski azaltmadaki rolü. *Dirençlilik Dergisi* 2021; 5(2): 265-279.
- URL-1: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/> Erişim tarihi:22 Kasım 2023
- URL-2: cran.r-project.org Erişim tarihi:22 Kasım 2023
- Ünlügenç UC., Akıncı AC., Öçgün AG. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Gaziantep depremleri; Adana İli ve yakın kesimlerine yansımaları. *Geosound* 2023; 57(1): 1-41.
- Wu X., Xu C., Xu X., Chen G., Zhu A., Zhang L., Yu G., Du K. A Web-GIS hazards information system of the 2008 Wenchuan Earthquake in China. *Natural Hazards Research*, 2022; 2(3): 210-217
- Yalçın C., Sabah L. CBS tabanlı bulanık mantık ve AHP yöntemleri kullanılarak Adıyaman ilçelerinin deprem tehlike analizinin oluşturulması. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2018; 5(8): 101-113.
- Yavaşoğlu F., Varol Özden Ç. Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı analitik hiyerarşi süreci kullanılarak deprem hasar riski analizi: Kadıköy Örneği. *TÜBAV Bilim Dergisi* 2017; 10(3): 28-38.

- Yücedağ E., Oguz H. Tarihi yapılar için web-tabanlı bilgi sisteminin oluşturulması: Diyarbakır örneği.
Turkish Journal of Forest Science 2022; 6(2): 566-587.
- Zhi M., Zhu Y., Jang J.C., Wang S., Chiang P.C., Su C., Liang S., Li Y., Yuan Y. Analysis of storage capacity change and dam failure risk for tailings ponds using WebGIS-based UAV 3D image.
Sustainability 2023; 15(19): 14062.



Düzlemsel Elektrolit Destekli Tek Odacıklı Katı Oksit Yakıt Pili'nin Tek Aşamalı Ortak Sinterleme Yöntemiyle Üretimi ve Elektriksel Performansına Etkisi

Yunus SAYAN^{1*}, Jung-Sik KİM², Houzheng WU³

^{1, 2, 3} Loughborough University, School of Aeronautical, Automotive, Chemical and Materials Engineering, Aeronautical Engineering, LE11 3TU, Loughborough, United Kingdom

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği, 13100, Bitlis, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-0871-6842>

²<https://orcid.org/0000-0002-3696-7251>

³<https://orcid.org/0000-0002-7628-3890>

*Sorumlu yazar: ysayan@beu.edu.tr; y.sayan@lboro.ac.uk

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 06.02.2024

Kabul tarihi: 10.05.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Tek odacıklı katı oksit yakıt pili

Pil üretimi

Sıcak presleme,

Birlikte sinterleme

Pil performansı

Bu çalışma, önceki çalışmalarda sunduğumuz katot ve anot destekli düzlemsel tek odacıklı katı oksit yakıt pillerinin (TO-KOYP) üretimi için geliştirilmiş tek adımlı ortak sinterleme yönteminin elektrolit destekli düzlemsel TO-KOYP'lerin üretimine uygulanabilirliğini araştırmaktadır. Ayrıca bu yöntemle elde edilen elektrolit destekli düzlemsel TO-KOYP'lerin enerji dönüşüm kabiliyetleri test edilmiştir. Pillerin anot, elektrolit ve katot katmanları için kullanılan malzemeler sırasıyla; nikel oksit (NiO)-gadolinium katkılı ceria (CGO), CGO ve lantan stronsiyum kobalt ferrit (LSCF)-CGO'dan oluşmaktadır. Optimize edilmiş sıcak presleme ve sinterleme ayarlarıyla birlikte iyi tanımlanmış kalınlık oranı ve kalınlığa sahip elektrolit destekli düzlemsel bir TO-KOYP'nin tek aşamalı ortak sinterleme yöntemiyle üretilebilirliği görülmüştür. Sinterleme sırasında çatlama ve delaminasyon olmadığı fakat pilin kenarlarında eğrilik olduğu görülmüştür. Pilin diğer destek türlerinde yapıldığı gibi sinterleme sırasında pil üzerine yerleştirilen belirli kütleye sahip gözenekli alümina plakaları kullanılarak eğrilik oluşumu engellenmiş neredeyse tamamen düz bir pil elde edilmiştir. Elde edilen piller 600°C'de farklı yakıt/oksijen oranlarına sahip metan-oksijen-nitrojen gaz karışımlarında tek haznede test edilmiştir. Elektrolit kalınlığının artırılması, pilin tek aşamada ortak sinterlenebilirliğinin artmasına yol açmasına rağmen pil performansı üzerinde olumsuz etkilere sebep olmuştur. Nihai düzlemsel pilin (kalınlık 60-300-40 µm, anot-elektrolit-katot) maksimum güç yoğunluğu ve açık devre voltajı (OCV) yakıt açısından zengin durumda (gaz karışımı 7, CH₄-O₂-N₂ 100-38-100 ml dk⁻¹, R:2,6) sırasıyla; 14,4 mW cm⁻² ve 0,55 V olarak bulunmuştur. Maksimum güç yoğunluğu ve OCV nihai düzlemsel pilden daha ince bir elektrolite sahip olan fakat kenarlarında eğrilik bulunan pil 1'den aynı gaz karışımında sırasıyla 29,39 mW cm⁻² ve 0,55 V olarak elde edilmiştir.

Production of Planar Electrolyte Supported Single Chamber Solid Oxide Fuel Cell by Single Step Co-Sintering Method and Its Effect on Electrical Performance

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 06.02.2024

Accepted: 10.05.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

Single chamber solid oxide fuel cell

Cell manufacturing

Hot pressing

This study investigates the applicability of the single step co-sintering method developed for the production of cathode and anode supported planar single chamber solid oxide fuel cells (SC-SOFCs), which we presented in previous studies, to the production of electrolyte-supported planar SC-SOFCs. In addition, the energy conversion capabilities of electrolyte-supported planar SC-SOFCs obtained by this method were tested. The materials used for the anode, electrolyte and cathode layers of cells consist of nickel oxide (NiO)-gadolinium-doped ceria

(CGO), CGO and lanthanum strontium cobalt ferrite (LSCF)-CGO, respectively. It has been demonstrated that an electrolyte supported planar SC-SOFC with well-defined thickness ratio and thickness along with well-adjusted hot pressing and sintering settings can be produced by the single step co-sintering method. It was detected that there was no cracking or delamination during sintering, but there was curvature at the cell's edges. By using porous alumina plates of a certain mass placed on the cell during sintering, as is done in other support types of the cell, curvature formation is prevented and an almost completely planar cell is obtained. The performance test was applied to the obtained cells in a single chamber at 600°C in methane-oxygen-nitrogen gas mixtures with different fuel/oxygen ratios. Increasing electrolyte thickness had negative effects on cell performance in spite of enhanced the cell's single step co-sinterability. The maximum power density and open circuit voltage (OCV) of the final planar cell (thickness 60-300-40 µm, anode-electrolyte-cathode) were found to be 14.4 mW cm⁻² and 0.55 V, respectively, in a fuel rich condition (gas mixture 7, CH₄-O₂-N₂, 100-38-100 ml min⁻¹, R:2.6). The maximum power density and OCV were obtained from cell 1, which has a thinner electrolyte than the final planar cell but has curvature at the edges, as 29.39 mW cm⁻² and 0.55 V, respectively, in the same gas mixture.

To Cite: Sayan Y., Kim JS., Wu H. Düzlemsel Elektrolit Destekli Tek Odacıklı Katı Oksit Yakıt Pili'nin Tek Aşamalı Ortak Sinterleme Yöntemiyle Üretimi ve Elektriksel Performansına Etkisi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(5): 2026-2052.

1. Giriş

Gelecek vaat eden bir elektrokimyasal enerji dönüşüm cihazı olarak katı oksit yakıt pili (KOYP); yüksek yakıt esnekliği, yüksek dönüşüm verimliliği, çevre dostu olması (Catalano ve ark., 2018; Wei ve ark., 2019; Hussain ve Yangping., 2020; Kamvar ve ark., 2020) gürültüsüz olması ve hareketli parça içermemesi (Milcarek ve ark., 2018) nedeniyle büyük faydalara sahiptir. Pilde meydana gelen elektrokimyasal reaksiyonlar sonucunda yakıtın kimyasal enerjisi doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülür (Timurkutluk ve ark., 2016; Gu ve ark., 2018). Bu teknoloji büyük bir ilerleme sürecindedir ve termomekanik kırılmalıkları ve boyutları nedeniyle şu anda sabit uygulamalar için kullanılmaktadır (Bedon ve ark., 2021).

Geleneksel KOYP'ler gözeneksiz bir elektrolitle ayrılmış iki odadan oluşur. Tek bir katı oksit yakıt pili, katot ve anot elektrotları arasına sıkıştırılmış seramik elektrolit kullanır (Su ve Hu, 2020a; Deepi ve ark., 2022; Bukhari ve ark., 2023). Bunlar bir KOYP'nin temel bileşenleridir. Katot oksijen gazı (O₂) indirgemeden anot ise yakıtın (hidrojen gazı, H₂, metan, CH₄ vb.) oksidasyonundan sorumludur. Katotta elektrokimyasal reaksiyonunun bir sonucu olarak üretilen oksijen iyonları (O⁻²), elektrotlar arasındaki oksijen (O) kısmi basıncı farklılıklarının bir sonucu olarak elektrolit boyunca katot katmanından anot katmanına hareket eder (Timurkutluk ve ark., 2016; Lyu ve ark., 2020). Anot ve katot elektrotları arasındaki kısmi oksijen basıncı farkı açık devre voltajının (ADV) oluşmasına neden olur (Mariño ve ark., 2016). Anot bölümünde üretilen elektronların katot bölümüne hareketi sırasında dış devre üzerinden elektrik akımı elde edilir (Timurkutluk ve ark., 2016).

KOYP'lerin çalışma sıcaklığı elektrolit malzemesine bağlı olarak 600 ila 1000°C arasında olabilir. Bu nedenle yakıt kirliliğine karşı dirençleri düşük sıcaklıkta çalışan yakıt pillerine göre daha fazladır. Ayrıca daha yüksek çalışma sıcaklığı reaksiyon kinetiğini iyileştirir dolayısıyla KOYP'lerin elektrik verimliliğinin artmasına neden olur. Bu nedenle en verimli yakıt pillerinden biri olduğu düşünülmektedir

(Timurkutluk ve ark., 2016; Mahmud ve ark., 2017). Ancak yüksek çalışma sıcaklığı termal stres sonucu KOYP bileşenlerinde çatlak oluşumuna neden olabilir. Ayrıca malzeme bozulmasına, üretim maliyetlerinin artmasına, sınırlı malzeme seçimine, dayanıklılığın azalmasına dolayısıyla pilin kullanım ömrünün kısalmasına neden olur (Mahmud ve ark., 2017; Kamvar ve ark., 2020; Su ve Hu, 2020b). Dahası yakıt ve oksidantın pil içerisinde ayrı tutulabilmesi için etkili bir sızdırmazlık sağlanması gerekmektedir. Yüksek sıcaklıkta gaz sızdırmazlığı oldukça karmaşıktır ve pil ile diğer sızdırmazlık bileşenleri arasındaki sıkı bağlantılar arızalara neden olan gerilim kaynağı olabilir (Bedon ve ark., 2021). KOYP teknolojisinin büyük ölçekli başarılı ticarileştirilmesi için pil ömrünün uzatılması, termal döngülenebilirliğin artırılması, performansın artırılması ve üretim fiyatının düşürülmesi gerekmektedir (Nurk ve ark., 2018). Bu bakımdan tek odacıklı KOYP'ler (TO-KOYP'ler) herhangi bir sızdırmazlık malzemesi gerektirmediğinden alternatif olabilir. Anottan katot taraflarına kadar gaz sızdırmazlığına gerek olmadığından herhangi bir çatlak oluşumu pil çalışmasını sona erdirmez (Kamvar ve ark., 2020). TO-KOYP'lerde anot ve katot elektrotları aynı atmosfere yerleştirildiğinden gaz sızdırmazlığına gerek yoktur. TO-KOYP cihazları için pil tasarımı oldukça kompakttır ve genel olarak üretim geleneksel çift odacıklı KOYP'lere (ÇO-KOYP) kıyasla daha basittir (Briault ve ark., 2014; Yusenko ve ark., 2022). Sıkı yalıtımın ortadan kaldırılması sonucunda artan mekanik ve termal direnç sayesinde hızlı başlatma ve kapatma elde edilebilir. Bu tür faydalar TO-KOYP'leri taşınabilir güç cihazları için oldukça ilgi çekici kılmaktadır (Tian ve ark., 2020; Ao ve ark., 2022). Ayrıca özel uygulama da tasarlanabilmektedir. Örneğin; TO-KOYP'ler termal motorlarla çalıştırılabilir. Bu amaçla motor çıkışına pil yerleştirilebilir. Bu egzoz gazındaki yanmamış hidrokarbonların elektrığe dönüştürülmesine yardımcı olabilir böylece araçlardaki elektronik cihazlara güç sağlayabilir ve sonuç olarak yakıt verimliliğini artırabilir (Bedon ve ark., 2021).

TO-KOYP'lerde OCV'nin üretimi öncelikle elektrotların ilgili gazlara karşı seçiciliğine ve elektro-katalitik aktivitesine bağlıdır. Çift odacıklı KOYP'lerde (Mariño ve ark., 2018; Tian ve ark., 2019; Ao ve ark., 2022) olduğu gibi yalnızca yoğun (gözeneksiz) bir elektrolite bağlı değildir. Böylece pil, gaz sızdırmazlığı olmadan çalışabilir. TO-KOYP'lerin bu avantajları, yoğun bir elektrolite ihtiyaç duyulmadığından ince ve gözenekli bir elektrolitin hazırlanmasında bant döküm, serigrafi vb. gibi basit ve düşük maliyetli tekniklerin kullanılmasına olanak tanır. Bununla birlikte bazı yazarlar; gözenekli elektrolitin, anot elektrotundan katot elektrotuna hidrojen gazı taşınmasına ve elektrolit boyunca katot elektrotundan anot elektrotuna oksijen gazı taşınmasına izin verebileceğini vurgulamıştır. Bu gerçekler OCV düşüşüne ve pil performansının azalmasına neden olabilir. Bu yüzden gazların taşınmasını önlemek için pilde yoğun ve kalın bir elektrolit bulunması önerilmektedir (Mariño ve ark., 2018).

Anot, elektrolit ve katot gibi farklı destek türlerine sahip KOYP'ler arasında; anot veya katot destekli KOYP'lerin sahip olduğu sorunların üstesinden gelmek için araştırmacılar tarafından elektrolit destekli KOYP'ler önerilmiştir. Anot ve katot destekli piller için ortak sorun kalın destek katmanı (anot destekli piller için anot katmanı ve katot destekli piller için katot katmanı) nedeniyle gazların kütle aktarımının sınırlandırılmasıdır. Buna ek olarak: Düşük iletkenlik nedeniyle katodun yavaş reaksiyonu katot destekli

piller için ciddi bir sorun haline gelir. Anot destekli piller için potansiyel tekrar oksidasyon, pillerin uzun vadeli stabilizesini sınırlayan başka bir sorundur. Bunlarla karşılaştırıldığında elektrolit destekli piller; kalın elektrolitten dolayı nispeten güçlü bir yapısal desteğe sahiptirler, anotun tekrar oksidasyonu nedeniyle meydana gelen arızaya daha az duyarlıdır ve nispeten düşük kütle taşıma sınırlamalarına sahiptirler. Ancak kalın elektrolite bağlı ohmik kayıplar ciddi bir sorun olabilir (Singhal ve Kendall, 2003; Minh, 2004).

Geleneksel imalat süreçleriyle yapılan tam bir TO-KOYP genellikle birçok imalat adımı gerektirir. Tüm bu adımlar zaman alıcıdır aynı zamanda çok yüksek imalat maliyetine neden olur. Örnek olarak elektrolit destekli KOYP'nin üretim prosesi: bant dökümü, serigrafi baskı, laminasyon ve sinterlemedir (Wei ve ark., 2019). Bu çalışma, üretim adımlarını azaltmak ve böylece bir pili üretmek için gereken maliyeti ve zamanı azaltmak amacıyla TO-KOYP'nin diğer konfigürasyonları (katot/anot destekli piller) için oluşturulan tek aşamalı ortak sinterleme metodolojisinin elektrolit destekli tek odacıklı bir KOYP'nin üretimine uygulanabilirliğini araştırmaktır. Bu yüzden bu çalışma tek aşamalı ortak sinterleme yaklaşımının elektrolit destekli pillere uygulanabilirliğini değerlendirmek üzere genişletildi. Önceki bulgulara göre optimize edilmiş sıcak presleme ve sinterleme koşullarıyla birlikte pilin optimum kalınlık ve kalınlık oranının belirlenmesi; daha iyi ortak sinterleme sonuçlarına yol açar, çatlama ve delaminasyondan kaçınılır ancak pilin kenarında bir miktar eğrilik kalır. Bununla birlikte sinterleme sırasında uygulanan sınırlı kısıtlama ile düzlemsel paralel bir TO-KOYP'ye üretilebilir. Yerleşik metodolojiye uygun olarak ve karşılaştırmalı değerlendirmelerde tutarlılık sağlamak için önceki çalışmalarda yapıldığı gibi bu çalışmada sonraki adımlar yapıldı. Yani piller tek aşamada üretilip sinterlenebilmesi için önce hammadde halindeki pil katmanları anot-elektrolit-katot olacak şekilde üst üste yerleştirilerek hazırlandı. Ardından en uygun sıcak presleme koşullarında preslenerek elektrolit destekli sinterlenmemiş TO-KOYP'ler elde edildi. Daha sonra iyi tanımlanmış sinterleme koşullarında ve kısıtlı sınırlama ile birlikte bu piller sinterlendi. Akabinde elektrolit destekli bu pillerin gözeneklilik, mikro yapı, katman yapışması ve diğer fazların safsızlıkları/oluşumunu analiz etmek için; parlatma, taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılımlı spektroskopi (EDS), X-ışını kırınım yöntemi (XRD) gibi farklı karakterizasyon teknikleri sinterlenmiş bu pillere uygulandı. Elde edilen piller, daha sonra hem sinterleme modifikasyonlarının pil performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmek hem de bu pillerin göreceli enerji dönüşüm kapasitesini görmek için farklı gaz karışımlarında test edildi.

2. Materyal ve Metot

2.1. Pillerin Hazırlanması

Gerekli pilleri yapmak için anot, elektrolit ve katot şerit rulolar kullanıldı. Tüm rulolar Maryland Tape Casting Ltd, ABD'den satın alınmıştır (Maryland Tape Casting, 2016). Şirket bu şerit ruloları yapmak için şerit döküm tekniğini kullanmıştır. Anot, elektrolit ve katot katmanları için kullanılan malzemeler sırasıyla: ağırlıkça %60 NiO (nikel oksit)-ağırlıkça %40 $Ce_{0,8}Gd_{0,2}O_{2-\delta}$ (gadolinium katkılı ceria (CGO)), $Ce_{0,8}Gd_{0,2}O_{2-\delta}$ ve ağırlıkça %50 $La_{0,6}Sr_{0,4}Co_{0,2}Fe_{0,8}O_{3-\delta}$ (lantan stronsiyum kobalt ferrit

(LSCF)—ağırlıkça %50 CGO (%20 gadolinyum(Gd))’dan oluşmaktadır. Her bir şeridin ayrıca kalınlığı 20 µm’dir. Tedarikçi tarafından temin edilen bu katmanların bulamaç bileşiminin özeti referans (Sayan ve ark., 2018)’ın bulunduğu derginin web sayfasındaki destekleyici veriler kısmında bulunabilir. Elektrolit ve anot sinterleme sıcaklığı katottan çok daha yüksektir (Choi, 2015). Bundan dolayı LSCF katotunun sinterlenmesini geciktirmek amacıyla LSCF katot parçacık boyutu, anot ve elektrolitin parçacık boyutundan daha büyük olacak şekilde tanımlanmıştır. Böylelikle tek aşamalı ortak sinterleme işlemi sırasında malzemelerin nihai yoğunluğunun dengelenebileceği düşünülmüştür. Bu çalışmada katot şerit için parçacık boyutu 1 µm olarak tanımlanmıştır. Buna karşılık elektrolit ve anot şeritler için parçacık boyutu 0,3 µm olarak tanımlanmıştır.

Pili hazırlamak için öncelikle anot, katot ve elektrolit katmanları ayrı ayrı yapılır. Ardından bu katmanlar sandviç biçiminde anot, elektrolit ve katot olacak şekilde üst üste yerleştirilir. Gerek duyulan kalınlıkta elektrolit elde etmek için elektrolit malzemesinden yapılan şerit, istenen boyutlarda elektrolit şerit rulosundan kesilir. Ancak önceden bahsettiğimiz gibi her bir şeridin kalınlığı 20 µm olduğundan elektrolite istenilen kalınlığı vermek için bu kesimlerden belli sayıda yapılır. Akabinde bu kesilen elektrolit şeritler düzgünce üst üste yerleştirilerek arzu edilen elektrolit kalınlığı elde edilir. Aynı işlemler, anot ve katot için de yapılır. İstenen kalınlıkta anot, elektrolit ve katot katmanları yapıldıktan sonra bu katmanlar üst üste sırası ile yerleştirilerek arzu edilen piller oluşturulur. Daha sonra üst üste yerleştirilmiş bu katmanlar, 2 MPa basınç ve 60°C sıcaklıkta 5 dakika bekletilerek preslendi (Carvel Isıtmalı Tezgah Üstü Sıcak Pres, model: 3853CE-8, ABD). Sıcak presleme parametreleri, pilin her katmanı arasında yeterli kompaktlık ve iyi bağ elde etmek ayrıca aşırı preslemeyi ve homojen olmayan pil bölgesi dağılımını önlemek için hassas bir şekilde belirlendi. Ayrıntılı açıklama referans (Sayan ve ark., 2018)'de sunulmuştur.

Ortak sinterleme yoluyla sinterlenmiş bir pilin kalitesi her bir pil katmanının kalınlığından doğrudan etkilenebilir. Bu etkiyi incelemek için farklı kalınlık kombinasyonlarına sahip birkaç elektrolit destekli düzlemsel pil hazırlandı. Hazırlanan piller daha sonra aynı presleme şartlarında sıcak preslenip akabinde 1200°C sıcaklıkta 1 saat boyunca sinterlendiler. Tek aşamalı ortak sinterlemenin üretimi sırasında daha az kusur elde etmek için pillerin sinterleme profili, her bir şerit katmanının bağlanma ve büzülme özelliklerinin kapsamlı bir şekilde incelenmesiyle dikkatlice belirlendi. Aynı sinterleme profili daha önce yayınlanmış olan anot destekli TO-KOYP üretimi için kullanılmıştır ve referans (Sayan ve ark., 2018)'de bulunabilir.

Başlangıçta ısıtma ve soğutma sırasında pilin sinterleme davranışı etkisini analiz etmek için elektrolit destekli bir pil yapıldı. Bu pil anot-elektrolit-katot (A-E-K) olarak 60-200-40 (kalınlık oranı: 3-10-2) µm kalınlığa, 40 mm genişliğe (G) ve 40 mm uzunluğa (U) sahiptir (bkz. Tablo 1).

Ayrıca pilin elektrolit kalınlığı ve pil boyutunun tek aşamalı ortak sinterleme üzerindeki etkisini incelemek amacıyla farklı elektrolit kalınlığına ve pil boyutuna sahip iki pil tipi hazırlandı. Birinci pil tipinin GxU'su 40x40 mm olarak belirlendi ve pil tipi 1 olarak adlandırıldı. Pil tipi 2 olarak adlandırılan ikinci pil tipi ise sırasıyla 30 mm ve 30 mm genişlik ve uzunluğa sahip olacak şekilde hazırlandı. Birinci

tip pil için elektrolit kalınlığı 200 µm ve 300 µm olacak şekilde iki pil hazırlandı (pil 1 ve pil 2, bkz. Tablo 1) ve piller için katot ve anot malzemesinin kalınlığı sırasıyla 40 µm ve 60 µm kalınlığında sabit tutuldu. İkinci tip pil için ise tek pil hazırlandı (pil 3) ve bu pilin A-E-K'si 60-300-40 µm kalınlığa sahipti (bkz. Tablo 1).

Ek olarak: Sınırlı kısıtlamanın tek aşamalı ortak sinterleme üzerindeki etkisini analiz etmek amacıyla üç aynı pil yapıldı ve sırasıyla pil 4, pil 5 ve pil 6 olarak adlandırıldı. Hepsi sırasıyla 40 mm ve 40 mm genişliğe ve uzunluğa sahipti. Ayrıca anot, elektrolit ve katot kalınlıkları Tablo 1'de görüldüğü gibi aynıdır. Bu piller, pillerin üstüne yerleştirilen bir veya birkaç gözenekli alümina (Al₂O₃) kapak plakası (kalınlığı 1 mm ve gözenekliliği %40, ESLTM 42520-2) ile sinterlendi. Bu, eğrilik oluşumunu sınırlama yeteneğini artırdı ve sonunda eğrilik olmayan bir pil elde etme yeteneğini arttırdı.

Tablo 1. Bu çalışmada hazırlanmış olan elektrolit destekli düzlemsel pillerin boyutsal özellikleri ile sinterlenme türleri

Pil	Kalınlık Oranı anot:elektrolit:katot	Kalınlık/µm anot:elektrolit:katot	GenişlikxUzunluk /mm	Sinterleme Tipi	
Isıtma ve soğutma sırasında pilin sinterleme davranışı etkisini analiz etmek için hazırlanan elektrolit destekli bir pil.	-	3-10-2	60-200-40	40x40	Kısıtlama olmadan sinterlenmiştir.
Pil Tipi 1	Pil 1	3-10-2	60-200-40	40x40	Kısıtlama olmadan sinterlenmiştir.
	Pil 2	3-15-2	60-300-40	40x40	Kısıtlama olmadan sinterlenmiştir.
Pil Tipi 2	Pil 3	3-15-2	60-300-40	30x30	Kısıtlama olmadan sinterlenmiştir.
Pil Tipi 3	Pil 4	3-15-2	60-300-40	40x40	Pilin üzerine yerleştirilen 75x75 mm GxU'ya ve %40 gözenekliye sahip bir alümina kapak plakası ile sinterlenmiştir (toplam kütle 16,45 g.).
	Pil 5	3-15-2	60-300-40	40x40	Pilin üzerine yerleştirilen 75x75 mm GxU'ya ve %40 gözenekliye sahip iki alümina kapak plakası ile sinterlenmiştir (toplam kütle 32,9 g.).
	Pil 6	3-15-2	60-300-40	40x40	Pilin üzerine yerleştirilen 75x75 mm GxU'ya ve %40 gözenekliye sahip üç alümina kapak plakası ile sinterlenmiştir (toplam kütle 49,35 g.).

2.2. Karakterizasyon ve Testler

Sinterlenmiş bir pilin gözenek yapısını ve tane boyutunu doğru bir şekilde araştırmak için (Özel ve Hamidli, 2022; Özel ve Aslan, 2023), tek aşamada düzlemsel olarak elde ettiğimiz son elektrolit destekli pile (pil 6) yarı otomatik Struers LaboSystem (Almanya yapımı) kullanılarak özenle taşlama ve parlatma uygulandı. Bu amaçla pil, ilk olarak Almanya'da üretilen Struers CitoPress 5 kullanılarak bakelite içine monte edildi. Ayrıca Almanya'da üretilen Zeiss 1530-VP FEGSEM marka SEM ve EDS kullanılarak sinterlenmiş bu pilin mikroyapısı ve kimyasal elementi karakterize edildi. İkincil elektronlar ve geri saçılan elektronlar için görüntüleme hızlandırma voltajı sırasıyla: 5 kV ve 20 kV olarak ayarlandı. Ayrıca tüm EDS spektrumlarını elde etmek için 20 kV hızlandırma voltajı uygulandı.

Nihai pilin gözenekliliğini niceliksel olarak belirlemek için ImageJ programı kullanıldı. Bu işlem için nihai pilin kesit alan SEM görüntülerinden faydalanıldı. Pilin elektrolit ve elektrotlarının ortalama gözenekliliğini yaklaşık olarak belirlemek için uygulanan süreç şu şekilde açıklanabilir: Pilin katot, anot ve elektrolit kesit alanlarının geri saçılım SEM görüntüleri ayrı ayrı elde edildi. Her görüntünün WD'si 8,5, Mag 2,00 KX ve ölçeği 10 µm idi. Daha sonra eşik analizi için elde edilen görüntüler ImageJ programına gönderildi ve sekiz bitlik görüntü kalitesine ayarlandı. Her görüntü için eşik ayarı titizlikle yapıldı. Pilin her katmanının gözenekliliği, görüntülerdeki siyah bölgenin yüzdesi niceliklendirilerek kaydedildi.

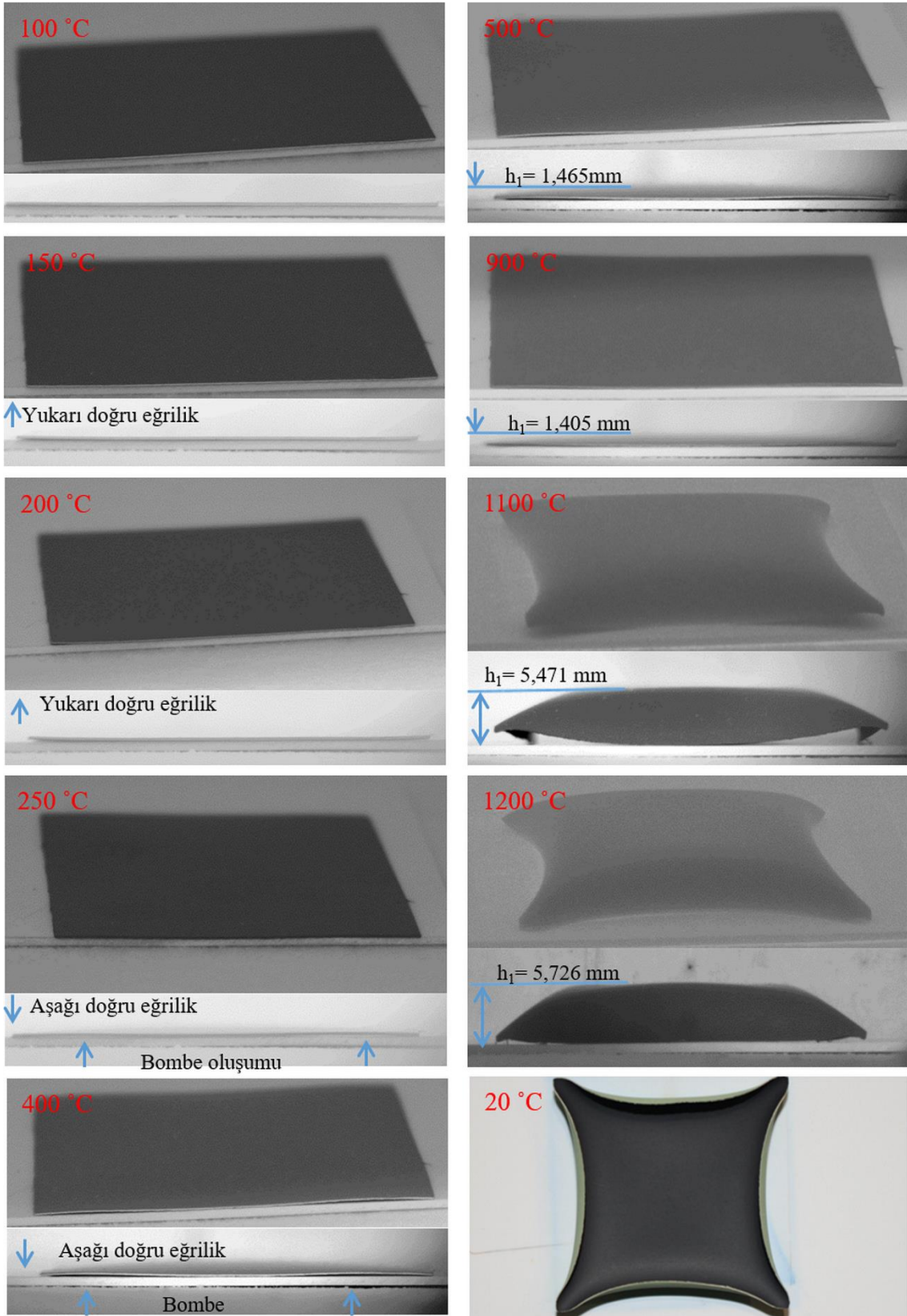
Tek aşamada ortak sinterleme ile elde edilen pillerden bazılarına (pil 1 ve pil 6) performans testi uygulandı. Bu pillerin polarizasyon ve açık devre gerilimi (OCV) ölçümleri için Birleşik Krallık'ta üretilen bir potansiyostat (Solarton Analytical 1280C) ve Birleşik Devletler'de üretilen CorrWare®/CorrView™ elektrokimyasal paketi (Scribner Associates Inc.) kullanıldı. Ayrıca performans testi sırasında akımı toplamak için pillerin anot ve katot yüzeylerine altından yapılmış ızgara biçiminde elektronik devreler oluşturuldu. Bunun için Birleşik Krallık'ta üretilen Q150T S/E/ES Turbo-Pompa Püskürtme Kaplaması (Quorum Technologies) kullanıldı. %90 nikel (Ni) ve %10 kromdan (Cr) yapılmış kromel teli, gümüş macunu ile püskürtülmüş altın ızgaralara bağlandı. Tüm piller tek odalı bir koşulda ve alumina pil tutucusunda akış yönüne dik olacak şekilde yerleştirildikten sonra test edildi. Ayrıca tüm pillerin anot katmanı başlangıçta nikel oksit (NiO) formundaydı. Bu nedenle NiO öncelikle azot (N₂) ve hidrojen (H₂) gaz karışımı ile nikel indirgeni. İndirgenme, 0,01 L dak⁻¹ H₂ ve 0,19 L dak⁻¹ N₂ akış hızıyla 600°C'de 1 saat süreyle gerçekleştirildi. İndirgenmeden sonra her pil farklı bileşimlere sahip gaz karışımlarında 600°C'de test edildi. Gaz karışımları özellikleri Şekil 9 ve Tablo 3 te detaylı olarak verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1 Sinterleme Sonuçları

3.1.1 Isıtma Sırasında Sıcaklık Artışı ile Elektrolit Destekli Pilin Sinterleme Davranışı

Şekil 1: Bir elektrolit destekli bir pilin farklı sıcaklıklarda sinterleme sırasında alınan görüntülerini göstermektedir. Pil; 40x40 mm genişlik ve uzunlukta, 60-200-40 µm, A-E-K, (kalınlık oranı: 3-10-2) kalınlığa sahiptir. Pil ayrıca gözenekli bir alumina altlık üzerine yerleştirilmiştir ve pilin katodu bu altlığın üst yüzeyine degecek şekilde konumlandırılmıştır. Şekil 1'e göre pilde 100 °C sıcaklıkta gözle görülür bir değişiklik yoktur ancak kenarlarında hafif bir yukarı doğru yönelim vardır. Bu durum yüzeyin üst kısmında başlayan katkı maddelerinin sinterleme sırasında giderilmesinden kaynaklanır. Bu da kılcal kuvvetlerin neden olduğu anot tarafında basınç stresine yol açar. Sıcaklık daha da arttığında 250 °C'de kapiler kuvvet yönündeki değişim nedeniyle eğrilik yönü aşağı doğru değişmeye başlar ve bir bombe oluşumuna neden olur. 400°C sıcaklıkta pilden katkı maddeleri uzaklaştırıldıktan sonra pil yapısı ana büzülme sıcaklığına (900°C) kadar neredeyse tekdüze hale gelir. Bu sıcaklıkta alümina altlığın üst yüzeyinden pilin üst yüzeyinin tepe noktasına (h_1) olan mesafe, 500°C'deki (1,465 mm) h_1 ile karşılaştırıldığında çok az azalmaya rağmen 1,405 mm olarak ölçüldü. Bunun nedeni: ayrıştırma işleminden sonra parçacıkların yeniden düzenlenmesi olasılığıdır. Sıcaklık 1100°C ve 1200°C'ye yükseltildiğinde h_1 sırasıyla 5,471 mm ve 5,726 mm'ye yükselir. Bu, esas olarak katot katmanının yüksek büzülme davranışından kaynaklanır (eğriliğin katot katmanına (aşağıya) doğru olduğu görülebilir). Ayrıca pilde sinterleme sonrasında oda sıcaklığında yaptığımız görsel gözleme göre herhangi bir çatlak veya çatlak benzeri kusur oluşmamıştır. Pil, sinterleme sırasında oluşan artık gerilime ve soğutma sırasındaki termal genişleme katsayısı (CTE) uyumsuzluğuna dayanacak kadar güçlüydü.



Şekil 1. Elektrolit destekli bir pilin farklı sıcaklıklarda sinterleme sırasında çekilmiş resimleri

3.1.2. Elektrolit Kalınlığının ve Pil Boyutunun Tek Aşamalı Ortak Sinterleme Üzerindeki Etkisi

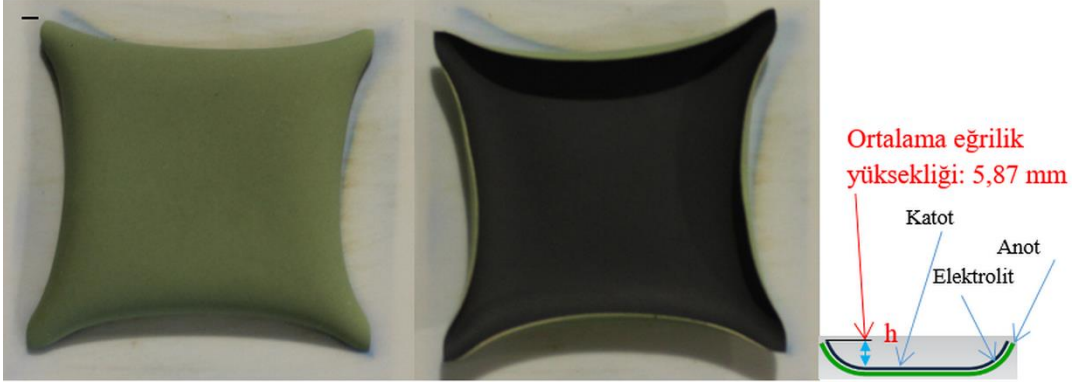
Elektrolit destekli pil için, elektrolit kalınlığının pili desteklemek için yeterli olması ve aşırı ohmik kayıplara neden olmaması gerekmektedir. Bu nedenle başlangıçta anot, elektrolit ve katot kalınlığı sırasıyla 60 µm, 200 µm ve 40 µm olan pil 1(kalınlık oranı: 3-10-2) oluşturuldu. Bu kalınlık ve kalınlık oranı için ortalama eğrilik yüksekliği h, 5,87 mm olarak ölçüldü (bkz. Şekil 2, Ortalama eğrilik yüksekliği, katodun üst yüzeyinden eğrilerin tepe noktasına kadar hesaplandığına dikkat edin. Ölçüm pillerin her kenarından alınıp bunların ortalaması alınarak yapılmıştır). Daha sonra pilin deformasyona karşı direncini artırmak ve eğrilik oluşumunu baskılamak amacıyla elektrolit kalınlığı 200 µm'den 300 µm'ye artırıldı. Böylelikle ortalama eğrilik yüksekliği 5,56 µm'ye düşürüldü (bkz. Şekil 2, pil 2). Bu durum, elektrolit kalınlığının artırılmasıyla elektrolit destekli pilde elektrolit malzemesinin (CGO) daha baskın hale gelmesi ve böylece katot büzülmesinin olumsuz etkisinin azalmasına bağlanabilir. Diğer bir deyişle elektrolitin uzunluk yönüne normal kesit alanının artması, atalet momentinde ($I = bc^3/12$, bu çalışmada b kalınlık ve c genişlik) bir artışa ve dolayısıyla bükülmeye karşı direncin artmasına neden olmuştur ($\sigma = My/I$, σ bükülme stresi, M iç bükülme momenti, y nötr eksen ile kesit üzerinde bir nokta arasındaki dik mesafe ve I atalet momenti). Ayrıca pil boyutu 40x40 mm GxU'dan 30x30 mm GxU'ya düşürüldü ve sonuç olarak ortalama eğrilik yüksekliği 5,56 mm'den 4,11 mm'ye düştü (bkz. Şekil 2; pil 2 ve pil 3). Ancak yüksek güç çıkışı elde etmek için pil boyutunu küçültmek faydalı değildir ve bu nedenle çalışmanın geri kalanında pil genişliği ve uzunluğu sırasıyla 40 mm ve 40 mm olarak sabit tutulmuştur.

Pil Türü 1

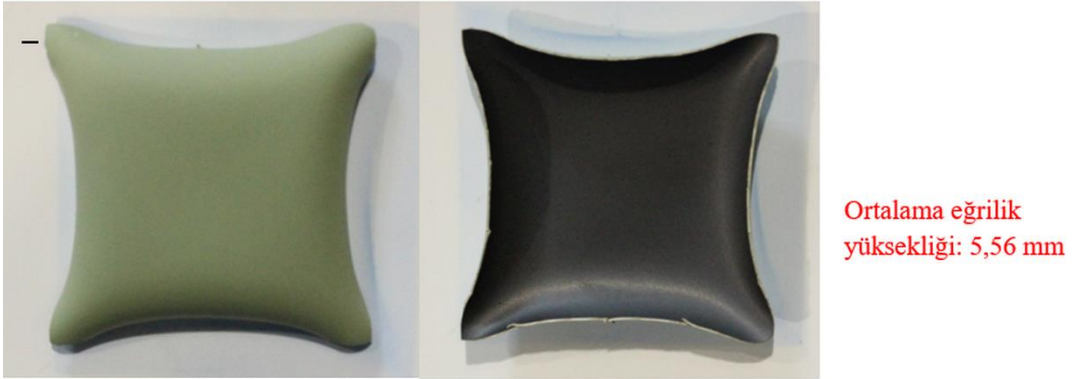
Pil 1 40 x 40 mm GxU, kalınlık oranı: 3-10-2 (A-E-K), kalınlık:60-200-400 µm

Anot tarafından görünüm

Katot tarafından görünüm

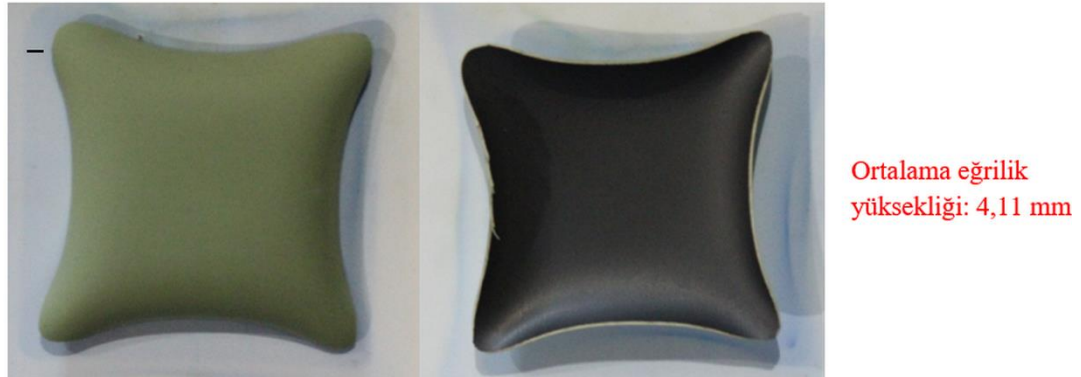


Pil 2 40 x 40 mm GxU kalınlık oranı:3-15-2 (A-E-K), kalınlık:60-300-40 µm



Pil Türü 2

Pil 3 30 x 30 mm GxU, kalınlık oranı:3-15-2 (A-E-K), kalınlık:60-300-40 µm

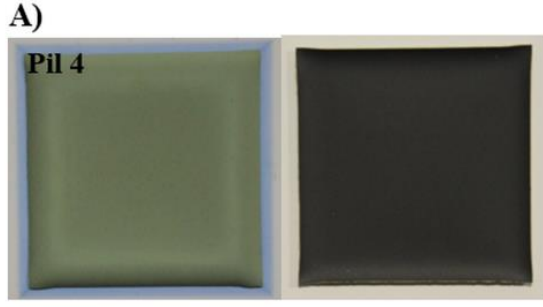


Şekil 2. Elektrolit kalınlığı ve pil boyutunun 1200 °C'de sinterlenmiş pil sinterlenebilirliği üzerindeki etkisi

3.1.3. Elektrolit Destekli Pillerin Kısıtlı Sinterlenmesi

Eğrilik oluşumunu baskılamak ve böylece eğrilik içermeyen pil elde etmek için elektrolit destekli pile sınırlı kısıtlama uygulandı. Bunun için sinterleme sırasında oluşabilecek eğrilikleri baskılamak için belirli kütlelere sahip gözenekli alümina plakalar sinterlemeden önce sinterlenecek pillerin üzerine

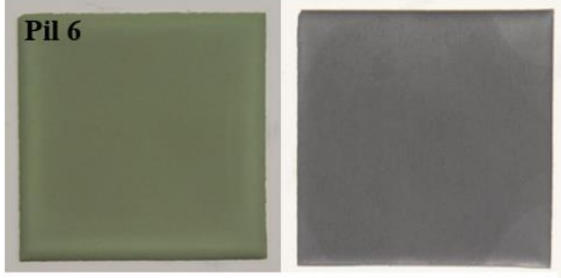
yerleştirildi. Şekil 3: Bir veya birkaç gözenekli alümina kapak plakalarıyla sinterlenmiş üç özdeş elektrolit destekli düzlemsel pillerin görüntülerini (pil 4, pil 5 ve pil 6) ortalama eğrilik yükseklikleri ile gösterir. Şekil 4: Nihai eğrilik içermeyen pili (pil 6) farklı perspektiflerden gösterir. Ek olarak: Şekil 3B'de gözenekli alümina plaka kütlesi ile ortalama eğrilik yüksekliği arasındaki ilişki olası bir $y = -0,0328 + 5,593 \cdot \exp(-0,081 \cdot x)$ denklemiyle gösterilmektedir. Bu elektrolit destekli düzlemsel TO-KOYP'ler için plaka kütlesinin değişmesiyle ortalama eğrilik yüksekliğini öngörmek için kullanılabilir. Pil 2 ve Pil 4 özdeş pil olmalarına rağmen (60-300-40 μm , A-E-K, 40x40 mm GxU) pil 2 kısıtlama olmadan sinterlenirken pil 4 üzerine yerleştirilen 75x75 mm GxU gözenekli bir alümina plakası ile (kalınlık 1 mm ve kütlesi 16,45 g) sinterlenmiştir. Pil 2'de oluşan ortalama eğrilik yüksekliği 5,56 mm iken bu değer pil 4 için 1,11 mm olarak ölçülmüştür (neredeyse %80 düşüş) (bkz. Şekil 2, pil 2 ve Şekil 3, pil 4). Ancak bu kütle eğrilik içermeyen elektrolit destekli düzlemsel bir pil elde etmek için yeterli değildi. Bu nedenle pil 2 ve pil 4 ile özdeş olan bir pil daha yapıldı (pil 5) ve bu pil bu sefer üzerine yerleştirilen iki tane gözenekli alümina plakası ile (toplam kütle 32,9 g) sinterlenmiştir. Sonuç olarak ortalama eğrilik yüksekliği 0,38 mm'ye düştü (bkz. Şekil 3, pil 5). Bu pillerin aynısı olan başka bir pil (pil 6) daha yapıldı ve bu kez üzerine yerleştirilen 3 tane gözenekli alümina plakası (toplam kütle 49,35 g) ile sinterlenmiştir. Bunun sonucunda neredeyse eğrilik içermeyen elektrolit destekli düzlemsel bir pil elde edildi (bkz. Şekil 3 ve Şekil 4, pil 6). Şekil 3 ve Şekil 4'den görülebileceği gibi ortalama eğrilik yüksekliğindeki azalma, alümina plakasının kütlesindeki artışla doğrusal olarak orantılı değildir.



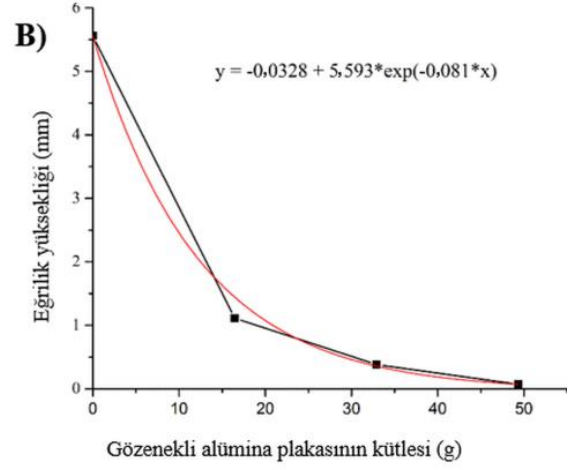
Ortalama eğrilik yüksekliği: 1,11 mm



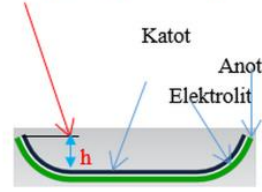
Ortalama eğrilik yüksekliği: 0,38 mm



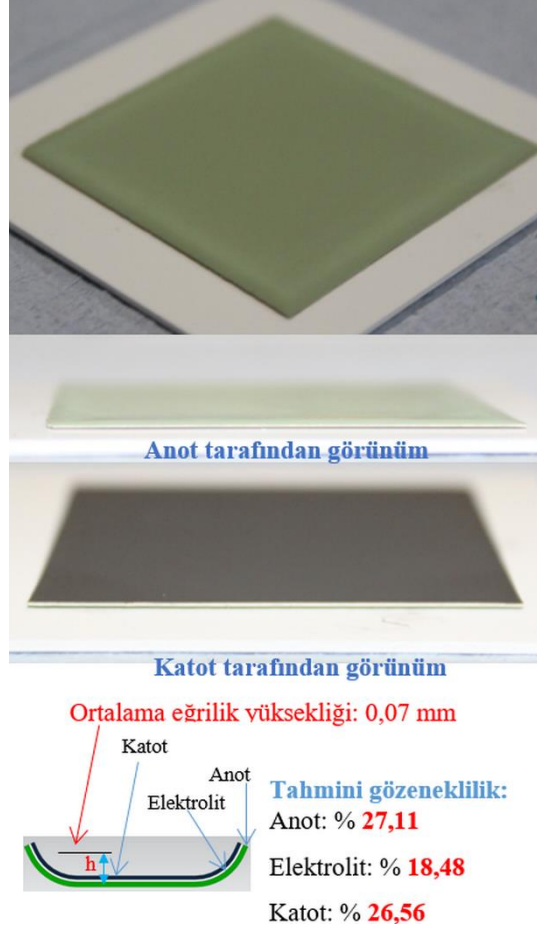
Ortalama eğrilik yüksekliği: 0,07 mm



Ortalama eğrilik yüksekliği



Şekil 3. A) Eğrilik oluşumunu baskılamak için gözenekli alümina plakaları ile sinterlenen Pil 1, Pil 2 ve Pil 3'ün sinterlenme sonuçları ile ortalama eğrilik yükseklikleri ve B) plaka ağırlığı ile eğrilik yüksekliği arasındaki ilişkiyi gösteren grafik ve bunun olası denklemi



Şekil 4. Neredeyse eğrilik içermeyen düzlemsel elektrolit destekli pilin (pil 6) farklı perspektiflerden görünüşleri ile anot, katot ve elektrolit tahmini gözeneklilik yüzdeleri

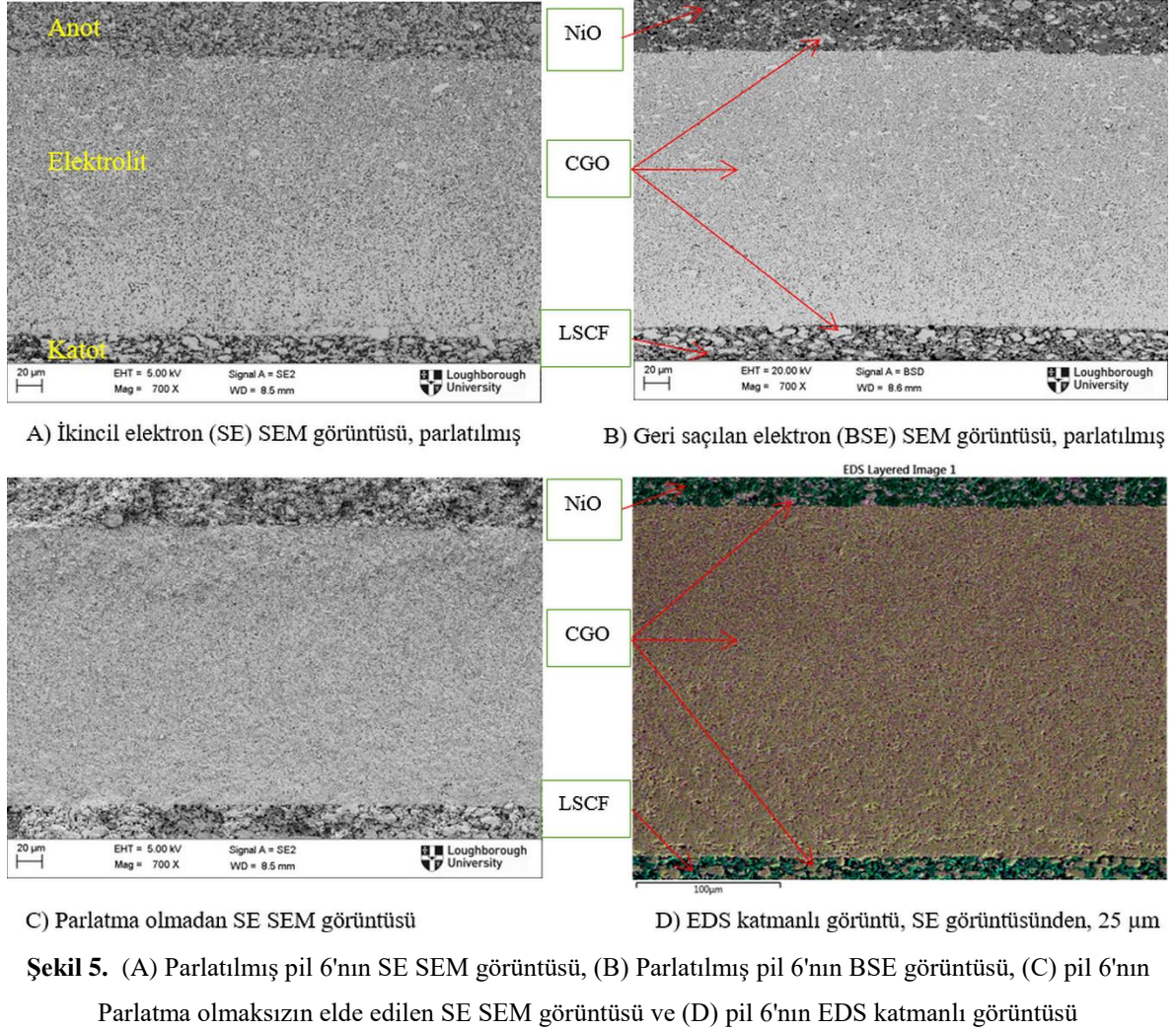
3.1.4. Sinterlenmiş Nihai Pilin Karakterizasyonu

Şekil 5: Nihai eğrilik içermeyen pilin (pil 6) SE ve BSE SEM ve EDS katmanlı görüntülerini göstermektedir. Ayrıca Tablo 2'de bu nihai pilin anot, katot ve elektrolitin tahmini gözenekliliği gösterilmektedir. Ek olarak: Tablo 2, pil 6'nın anot ve katotunun tahmini ortalama parçacık boyutunu ve ortalama gözenek boyutunu da özetler. Şekil 5'e göre katot katmanı pilin anot katmanlarına göre daha kaba tane yapısına sahiptir. LSCF katotunun daha yüksek sinterleme sıcaklığı nedeniyle bu beklendiği gibidir. Pil, CGO malzemesinin iyi bir şekilde sinterlenmesi için gereken sıcaklıktan daha düşük bir sıcaklıkta sinterlenmesinden dolayı gözenekli bir elektrolit yapıya sahiptir. Katmanlar arasında pil boyunca sürekli olarak iyi bir adezyon vardır. Ayrıca genellikle anot tarafındaki NiO'nun ve katot tarafındaki LSCF'nin bağlantısının makul olduğu görülmektedir ancak her iki tarafta da CGO'nun düşük bağlantısı vardır (bağlantılar arasında kopukluk), bu da elektrokimyasal reaksiyonlar için üçlü faz sınırını azaltabilir.

Tablo 2'ye göre pil 6'nın tahmini anot, elektrolit ve katot gözenekliliği sırasıyla: %27,11, %18,48 ve %26,56'dır. Ayrıca ortalama parçacık ve gözenek boyutları anot katmanı için sırasıyla: $2,307 \pm 1,715\mu\text{m}$ ve $1,102 \pm 0,621\mu\text{m}$, ve katot katmanı için ise sırasıyla: $2,767 \pm 2,343 \mu\text{m}$ ve $1,342 \pm 0,682$

μm olarak bulunmuştur. Katot katmanının bu ortalama parçacık ve gözenek boyutları, katodun iri taneli yapısından dolayı anot katmanının ortalama parçacık ve gözenek boyutlarından daha büyüktür.

Pil 6, kalınlık 60-300-40 μm , A-E-K, pil üzerine yerleştirilen üç adet 75x75 mm LxW gözenekli alümina kapak plakası ile sinterlenmiştir

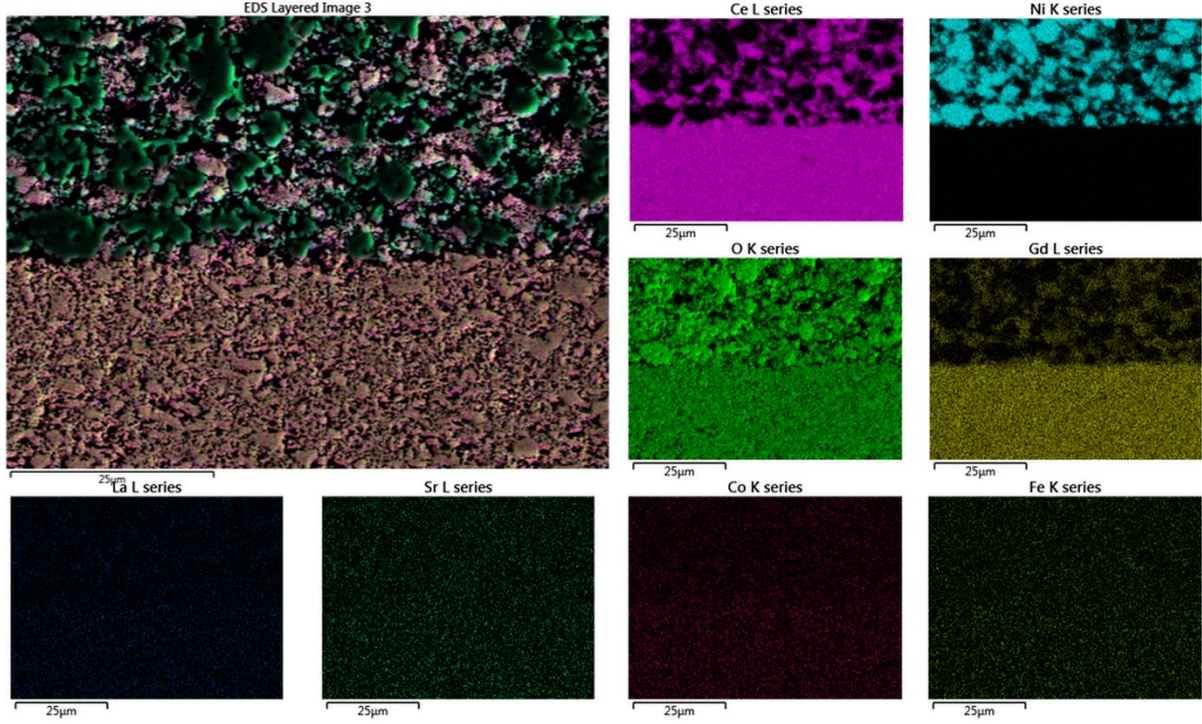


Tablo 2. Düzlemsel elektrolit destekli nihai pil olan pil 6'nın (kalınlık: 60-300-40 μm , A-E-K) elektrotlarının ve elektrolitinin gözeneklik yüzdeleri ile anot ve katodunun ortalama parçacık ve gözenek boyutları

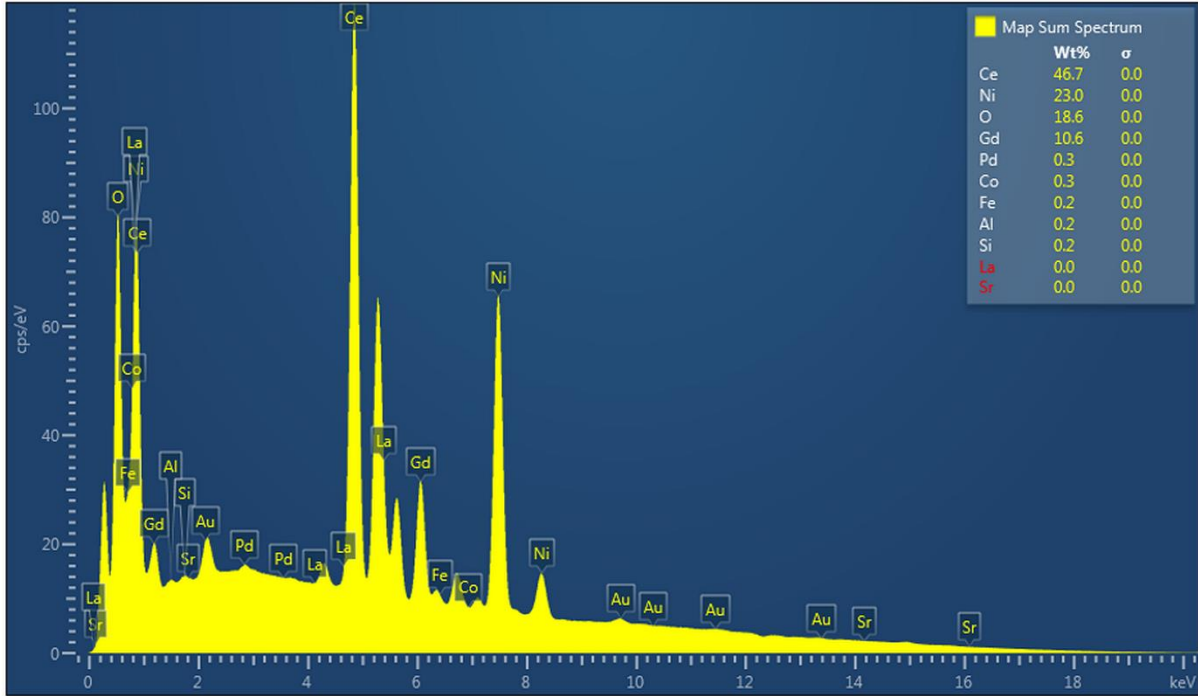
	Anot	Elektrolit	Katot
Gözeneklik (%)	27,11	18,48	26,56
Ortalama parçacık boyutu (μm)	2,307 \pm 1,715		2,767 \pm 2,343
Ortalama gözenek boyutu (μm)	1,102 \pm 0,621		1,342 \pm 0,682

Pile 6'nın EDS haritaları ve anot ve katot tarafından alınmış harita özeti spektrumları sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmektedir. Şekil 6A'ya göre seryum (Ce), oksijen O, Ni ve gadolinyum Gd elementleri kompozit anot elektrodunun (NiO-CGO malzemedan oluşan) beklenen bölgesindedir. Anot katmanında, ister katot katmanından yayılan ister imalat işlemi sırasında gelen gözlemlenebilir hiçbir yabancı madde Şekil 6A'ya göre yoktur. Bununla birlikte Şekil 6B, anot bileşeninde aslında bazı yabancı maddelerin bulunduğunu göstermektedir. Anot tarafında alüminyum (Al), silisyum (Si), demir (Fe) ve kobalt (Co) gibi elementlerin gözlemlendiği görülmektedir. Fe ve Co gibi yabancı maddelerin bazıları büyük olasılıkla katot tarafından gözenekli elektrolit tabakası boyunca yayılmıştır. Altın (Au) ve paladyumun (Pd) varlığı ise muhtemelen SEM görüntüleme öncesinde bu elementlerin pil yüzeylerine püskürtülmesinden kaynaklanmaktadır. Bu püskürtmenin amacı önceden bahsedildiği gibi SEM görüntülerinin alınabilmesi için pilin iletken hale getirilmesidir. Al'ın varlığı ise muhtemelen ya gözenekli alümina kaplama plakasından ya da alt alümina tabakadan kaynaklanmaktadır. Ek olarak: Si, üretim sürecinin herhangi bir aşamasında yapıya girmiş olabilir. Benzer şekilde Şekil 7A; katot elektrotlarını oluşturan lantan (La), stronsiyum (Sr), Co, Fe, Ce, O ve Gd elementlerinin de öngörülen alanda olduğunu göstermektedir. Katot tarafında da anot tarafında görülen ve benzer sebeplerden kaynaklanan bazı safsızlıklar (Al, Si ve Pd) gözlemlendi (Şekil 7B). Ancak katot tarafında herhangi Ni elementin varlığı gözlemlenmedi (bkz. Şekil 7B). Bu yabancı maddelerin anot ve katot tarafındaki miktarları oldukça az olsa da pilin aktif reaksiyon alanlarını bloke ederek pil performansının düşmesine neden olabilirler.

A) Pil 6'nın EDS haritasının anot tarafından alınmış görüntüleri

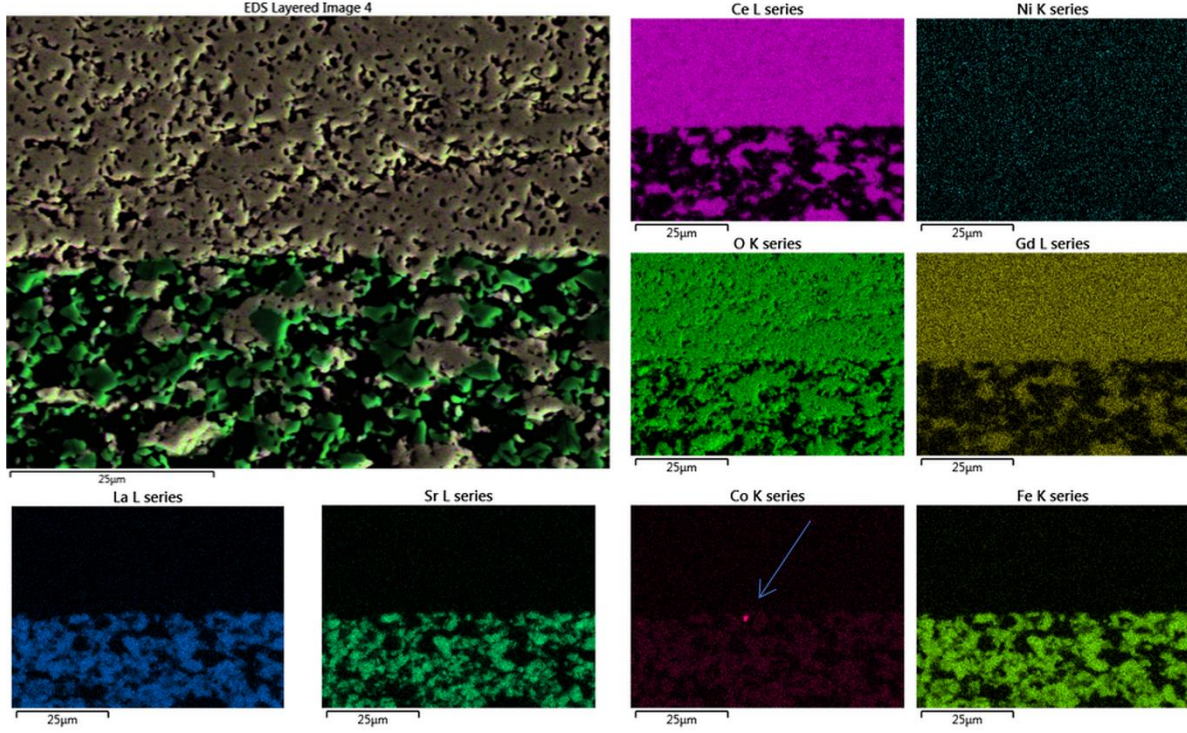


B) Pile 6'nın anot tarafından alınmış EDS harita özeti spektrumları

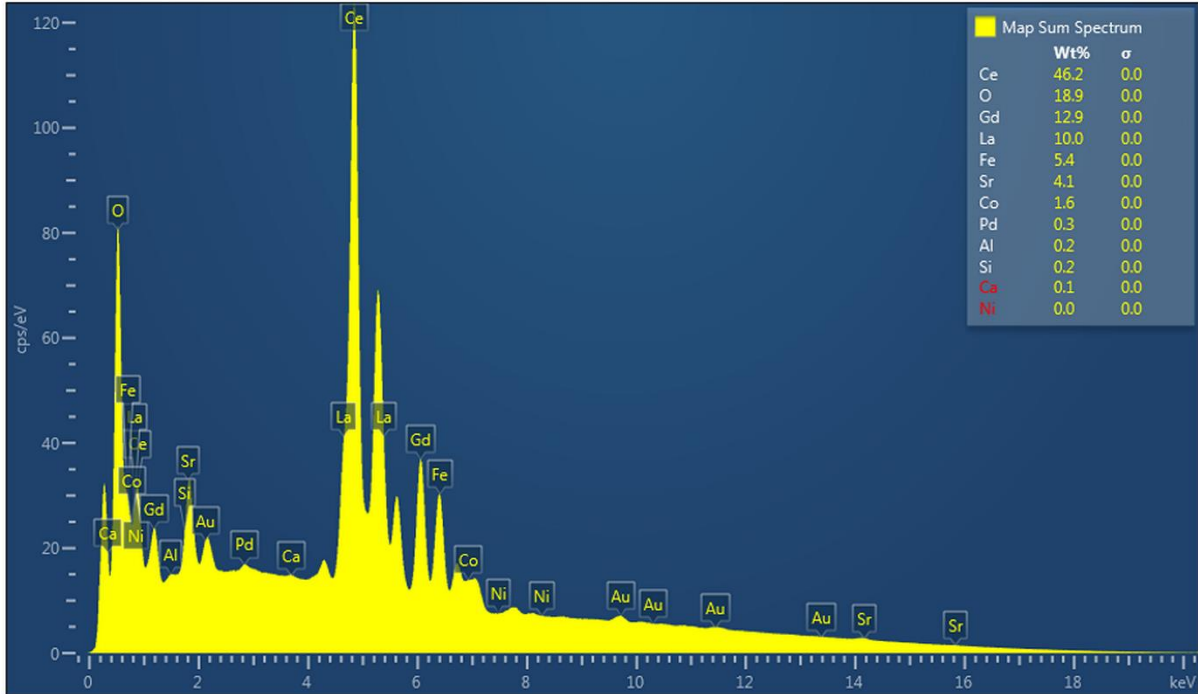


Şeki 6 A) Pil 6'nın EDS haritasının anot tarafından alınmış görüntüleri ve B) Pil 6'nın yine anot tarafından alınmış EDS harita özeti spektrumları, pil 6: 60-300-40 µm, A-E-C, kalınlığa sahiptir ve üzerine yerleştirilen üç adet 75x75 mm alümina gözenekli kapak plakası ile sinterlenmiştir

A) Pil 6'nın EDS haritasının katot tarafından alınmış görüntüleri



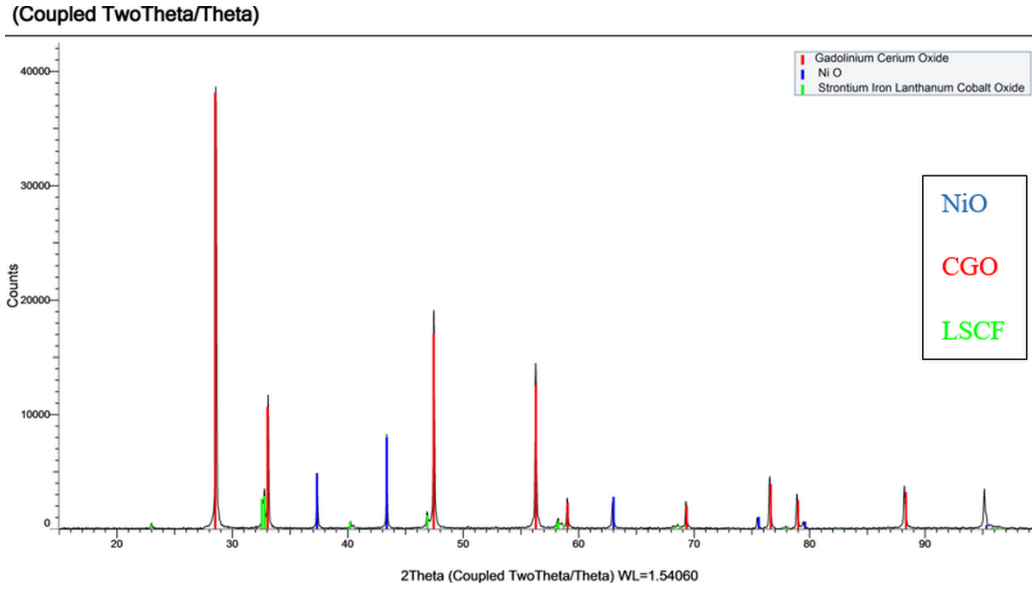
B) Pile 6'nın katot tarafından alınmış EDS harita özeti spektrumları



Şekil 7. A) Pil 6'nın EDS haritasının katot tarafından alınmış görüntüleri ve B) Pil 6'nın yine katot tarafından alınmış EDS harita özeti spektrumları

Ek olarak: Şekil 8'de pil 6'nın XRD kırınım pikleri gösterilmektedir. Bu şekle göre anot, elektrolit ve katot katmanları oluşturan NiO, CGO ve LSCF fazları net olarak görülmektedir. Ayrıca pil 6'nın harita

özeti spektrumunda (Şekil 6 ve 7) bazı istenmeyen faz oluşumlarına yol açabilecek safsızlıklar gözlenmesine rağmen Şekil 8'e göre sinterleme sonrasında pilde istenmeyen faz oluşumları yoktur.



Şekil 8. Pil 6'nın X-Işını kırınım pikleri (Pil kalınlığı: 60-300-40 μm , A-E-K, üç adet 75x75 mm GXU alümina kapak plakası üzerine yerleştirilerek sinterlenmiştir)

3.2. Pil Performans Test Sonuçları

Şekil 9: Pil 1 ve pil 6'nın OCV ve polarizasyon sonuçlarını göstermektedir. Ayrıca Tablo 3: Bu iki pilin belirli gaz karışımlarındaki OCV ve maksimum güç yoğunluklarını vermektedir. Şekil 9A'ya göre pil 1'in en yüksek güç yoğunluğu ve OCV'si yakıt açısından zengin gaz karışımlarında (gaz karışımı 1, gaz karışımı 4 ve gaz karışımı 7, R: 2,6) elde edilmiştir. Pil 1'in maksimum OCV'si, tüm gaz karışımları içerisinde gaz karışımı 4'te (80-31-100 ml dk^{-1} , $\text{CH}_4\text{-O}_2\text{-N}_2$, R: 2,6) 0,65 V olarak ölçüldü ve bu karışımdaki maksimum güç yoğunluğu ise 24,32 mW cm^{-2} olarak elde edildi. Ancak maksimum güç yoğunluğu 7 numaralı gaz karışımında (100-38-100 ml dk^{-1} , $\text{CH}_4\text{-O}_2\text{-N}_2$, R: 2,6) 29,39 mW cm^{-2} olarak elde edilmiştir. Bu karışımdaki maksimum OCV ise 0,55 V olarak ölçülmüştür (bkz. Şekil 9A ve Tablo 3). Benzer eğilimler pil 6'da da gözlemlendi. Maksimum güç yoğunluğu ve OCV değerleri yakıt açısından zengin gaz karışımları olan gaz karışımları 1, 4 ve 7'de elde edildi (R: 2,6). Ayrıca elektrolit kalınlığı 200 μm 'den (pil 1) 300 μm 'ye (pil 6) artırıldığında pil OCV'si ve güç yoğunluğu R:2,6 ve R:1,8'lik yakıt/oksijen oranlarının neredeyse tamamında azaldı, ancak genellikle R:1'de arttı. Pil 6'nın maksimum OCV'si ve güç yoğunluğu gaz karışımı 7'de elde edildi ve sırasıyla: 0,55 V ve 14,4 mW cm^{-2} olarak ölçüldü (bkz. Tablo 3 ve Şekil 9B). Artan elektrolit kalınlığına bağlı olarak pil performansının azalmasının nedeni: Esas olarak artan elektrolit kalınlığının, katot tarafından anot tarafına artan O^{2-} yolu nedeniyle yüksek ohmik kayıplara neden olması gerçeğine atfedilebilir (Morales ve ark., 2009; Ding ve ark., 2010). Ayrıca önceden bahsettiğimiz gibi piller tek odacıklı pil tutucusunda akış yönüne dik olarak yerleştirildi. Metan, oksijen ve nitrojen gazların karışımından oluşan gaz karışımı ilk olarak katot yüzeyine temas ettikten sonra elektrolitin gözenekli yapısından dolayı anot tarafına geçerler. Bu olayda

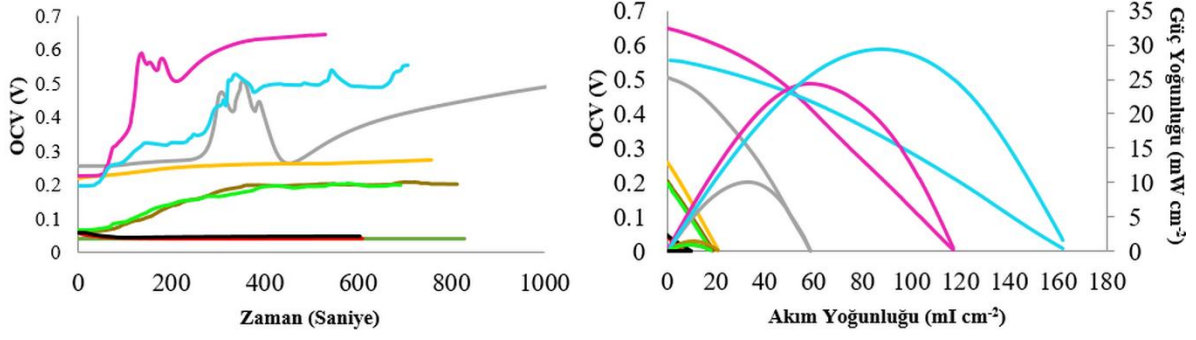
metan ve oksijen gazları elektrolitin gözenekli olmasından dolayı anot tarafına konveksiyon ve difüzyonla geçmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, O₂ hazının mol kütlelerinin (32 g) CH₄ (16 g) gazının mol kütlelerinden büyük olmasıdır. Bu durumda metan gazının difüzyonu oksijen gazının difüzyonundan daha iyidir sonucu çıkarılabilir. Böylelikle her ne kadar metan gazının katottan anoda difüzyonu veya taşını mı artan elektrolit kalınlığı ile birlikte bir miktar düşse de bu oksijen gazının difüzyonuna göre daha küçük olacaktır. Dolayısıyla artan elektrolit kalınlığı ile birlikte katotta daha fazla O₂ birikecek buda anot ve katottaki oksijen kısmi basınç farkını artıracaktır. Sonuç olarak OCV artacaktır. Bununla birlikte elektrolit kalınlığının artması, anot yüzeyi boyunca metan dönüşümü sunucunda meydana gelen H₂ ve CO gazların anottan katoda gözenekli elektrolit yapısından dolayı meydana gelen difüzyonun mesafesini artırır. Bu durum oluşan bu yan gazların çoğunluğun katotta kimyasal reaksiyona girmeden anotta elektrokimyasal reaksiyona girmesi ile sonuçlanır ve böylece daha iyi pil performansı elde edilir. Azalan pil performansı, elektrolit kalınlığını artırmanın faydasının kalınlık artırmanın olumsuz etkilerinden daha az olduğunu göstermektedir. Zayıf gaz koşullarında (R:1) pil performansındaki artış aynı mantık ile açıklanabilir. Fakat bu durumda gaz karışımı zayıf karışım olduğunda yani metan oranı (gaz karışımı, 3, 6 ve 9) zengin karışımlara göre (gaz karışımı 1, 2, 4, 5, 7 ve 8) daha az olduğundan bir önceki cümlede bahsettiğimiz tam tersi bir olay gerçekleşmiş olabilir. Bir başka deyişle artan pil performansı, elektrolit kalınlığının artırmanın pozitif etkisinin negatif etkisinden daha fazla olduğunu göstermektedir. Ek olarak: Farklı gaz karışımlarında her iki pildeki OCV salınımı, anotun ince bir katmana sahip olması nedeniyle temel olarak Ni oksidasyonu/indirgenmesinden kaynaklanıyor olabilir (Kuhn ve Napporn, 2010; Wang ve ark., 2013).

Ayrıca metan ve oksijen gazlarının miktarının arttırılmasıyla gönderilen gaz karışımının toplam miktarı arttırılmıştır (bkz. Tablo 3). Yakıt /oksijen oranı 2,6 olan gaz karışımlarında toplam gaz karışım miktarını arttırmak genel olarak pil 1 ve pil 6'nın performansı üzerinde olumlu etki yapmıştır. Fakat bu durum R: 1,8 ve R: 1 yakıt/hava oranına sahip gaz karışımlarında ağırlıklı olarak negatif bir etki yapmıştır. Pil performansındaki artış artan gaz akış hızıyla birlikte yüzey değişim katsayısının ve sıcaklığın artmasıyla açıklanabilir (Morales ve ark., 2009; Kuhn ve Napporn, 2010). Sıcaklığın artması katalitik aktiviteyi arttıracığından pil performansı artar. Ayrıca yüzey değişim kat sayısının artması anot tarafında daha fazla metanın reforme edilmesine ve oluşan yan gazlar H₂ ve CO'nun daha fazla miktarda elektrokimyasal reaksiyona girmesine yol açar. Bu durum doğal olarak performansın artmasına sebep olur. Ancak artan toplam gaz akış hızına rağmen karışımdaki metan oranı azaldığında yakıt açısından zengin gaz karışımlarına kıyasla zayıf gaz karışımlarında performansta düşüşler gözlemlenebilir. Yakıt açısından zengin gaz karışımlarında anot tarafında yeterli metan yüzdesi olacağından bunun sonucunda azalan bekleme süresi daha fazla metanın reforme edilmesini kolaylaştırabilir. Bununla birlikte anot tarafında yeterli metan yoksa, kalma süresinin azalması yakıt açısından zengin gaz karışımlarına kıyasla zayıf gaz karışımlarında anot yüzeyinde daha az metan ancak daha fazla O₂ adsorbe edildiği bir duruma neden olabilir. Bu nedenle daha az reformasyon sağlanır ve dolayısıyla pil performansında azalma olur.

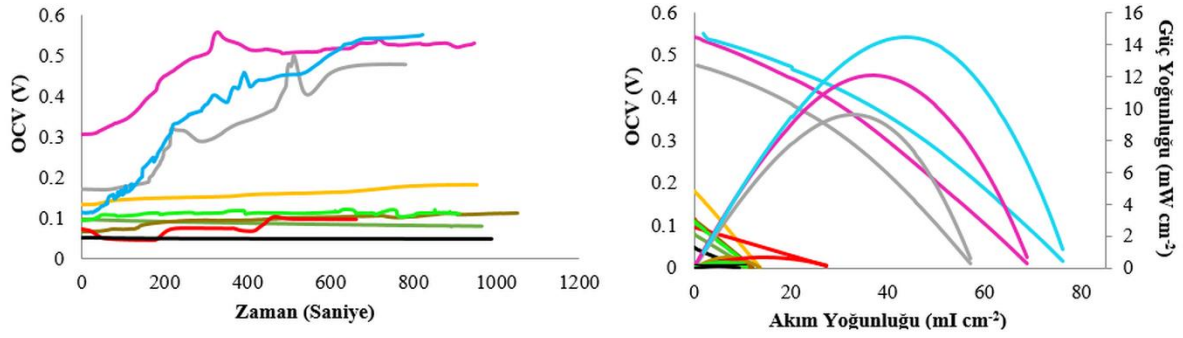
Şekil 9A, 9B ve Tablo 3: Tüm sabit metan ve nitrojen gazları içeren gaz karışımlarında artan O₂ miktarının pillerin OCV'si ve güç yoğunluğu üzerinde olumsuz etkileri olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni: Anot destekli pile kıyasla elektrolit destekli pilde düşürülmüş anot kalınlığının sebep olduğu etkilerdir. Anot, metan gazını yeniden düzenlemek ve ayrıca sentez gazlarının (H₂ ve CO) oksijen iyonları ile elektrokimyasal reaksiyonuna girmesini sağlamak için yeterli aktif yüzey alanına sahip olması gerekir (Buccheri ve ark., 2011; Meunier, 2016). Yeterli metan reformasyonu olmazsa anot tarafında oksijen kısmi basıncı artar dolayısıyla anot ve katot arasındaki oksijen kısmi basınç farkı azalır. Sonuç olarak Nernst denkleminde göre OCV azalır. Ayrıca yeteri miktarda H₂ ve CO üretilmediği için pil performansı da düşer. Bu nedenle ince anoda yakıt açısından daha zengin bir gaz karışımının (Meunier, 2016) gönderilmesi beklenir. Bu, ince anot katmanından kaynaklanan etkili reforme edici katalitik alanın bulunmaması nedeniyle azalan metan reformasyonunu telafi etmek amacıyla daha fazla metanın reforme edilmesine yardımcı olacaktır. Gaz karışımındaki artan metan gazı oranı ile birlikte anot aktif yüzey alanlarında oksijen adsorpsiyonu azalacak ve daha fazla metan gazı adsorbe olacaktır. Bu da daha fazla metan gazının reaksiyona girmesi ile sonuçlanır. Ancak tüm sabit metan ve nitrojen gazları içeren gaz karışımlarındaki oksijen gaz miktarının artması toplam gaz karışımlarındaki CH₄ oranının azalmasına sebep olur. Oksijen gazı miktarının artması nedeniyle anottaki yüzey alanları O adsorpsiyonu tarafından daha fazla işgal edilecektir. Başka bir deyişle oksijen gazı Ni yüzeyindeki adsorpsiyon alanları için metan gazı ile rekabet eder ve artan O₂, CH₄'ün kısmi oksidasyonu üzerinde engelleyici bir etkiye neden olur (Meunier, 2016). Bu nedenle tam metan reformasyonu daha az meydana gelir ve dolayısıyla OCV ve güç yoğunluğu azalır. Ayrıca pilin elektrokimyasal reaksiyonlarına katılmayan H₂O ve CO₂'nin oluşumu, artan O₂ ile birlikte artar (Meunier, 2016) ve dolayısıyla pil performansı düşer.

Özetlemek gerekirse: Pil 1'e göre daha kalın elektrolite sahip olan pil 6'nın performans sonuçları, tek aşamalı ortak sinterleme yoluyla düzlemsel bir elektrolit destekli pil elde etmek için artırılan elektrolit kalınlığının pil performansı üzerinde olumsuz etkisi olduğunu göstermektedir. Genel olarak pil performansının literatürdeki elektrolit destekli TO-KOYP'lerle karşılaştırıldığında nispeten düşük olduğu bulunmuştur. Bu muhtemelen referans (Sayan ve ark., 2023) bahsedilen anot destekli TO-KOYP'lerin düşük pil performansına sebep olan nedenlerdir. Örneğin: her iki elektrottaki safsızlıklar (bkz. Şekil 6 ve Şekil 7), kataliz zehirlenmesi, CGO elektrolitinin indirgenmesi vb.

A) Pil 1'in (kalınlık: 60-200-40 μm , A-E-K) farklı akış hızı ve gaz karışımındaki OCV ölçümleri ve polarizasyon sonuçları



B) Pil 6'nin (kalınlık: 60-300-40 μm , A-E-K) farklı akış hızı ve gaz karışımındaki OCV ölçümleri ve polarizasyon sonuçları



- Gaz karışımı: $\text{CH}_4\text{-O}_2\text{-N}_2$ mL dk^{-1}
- Gaz karışımı 1 : 40-15-100 mL R:2,6
 - Gaz karışımı 2 : 40-22-100 mL R:1,8
 - Gaz karışımı 3 : 40-40-100 mL R:1
 - Gaz karışımı 4 : 80-31-100 mL R:2,6
 - Gaz karışımı 5 : 80-44-100 mL R:1,8
 - Gaz karışımı 6 : 80-80-100 mL R:1
 - Gaz karışımı 7 : 100-38-100 mL R:2,6
 - Gaz karışımı 8 : 100-56-100 mL R:1,8
 - Gaz karışımı 9 : 100-100-100 mL R:1

Şekil 9. A) Pil 1 ve B) Pil 2'nin farklı akış hızı ve gaz karışımındaki OCV ölçümleri ve polarizasyon sonuçları, R, yakıt/oksijen oranı

Tablo 3. Farklı gaz karışımlarında pil 1 ve pil 6'nın maksimum OCV ve güç yoğunluğu sonuçları

		Pil 1		Pil 6	
		<i>Kalınlık 60-200-40 μm</i>		<i>Kalınlık 60-300-40 μm</i>	
		<i>A- E- C</i>		<i>A-E- C</i>	
		OCV (V)	Güç yoğunluğu (mW cm^{-2})	OCV (V)	Güç yoğunluğu (mW cm^{-2})
Sabit CH_4 (40ml/dk) ve Sabit N_2 (100 ml/dk)	Gaz karışımı 1 (R:2,6)	0,5	10,04	0,48	9,6
	Gaz karışımı 2 (R:1,8)	0,27	1,42	0,18	0,63
	Gaz karışımı 3 (R:1)	0,04	0,084	0,08	0,22
Sabit CH_4 (80ml/dk) ve Sabit N_2 (100 ml/dk)	Gaz karışımı 4 (R:2,6)	0,65	24,32	0,53	12,03
	Gaz karışımı 5 (R:1,8)	0,2	1,01	0,11	0,34
	Gaz karışımı 6 (R:1)	0,042	0,07	0,095	0,69
Sabit CH_4 (100ml/dk) ve Sabit N_2 (100 ml/dk)	Gaz karışımı 7 (R:2,6)	0,55	29,39	0,55	14,4
	Gaz karışımı 8 (R:1,8)	0,2	0,93	0,11	0,33
	Gaz karışımı 9 (R:1)	0,047	0,13	0,046	0,11

4. Sonuçlar

Anot ve katot destekli pillerin konfigürasyonu için oluşturulan tek aşamalı ortak sinterleme tekniği kullanılarak elektrolit destekli düzlemsel bir TO-KOYP üretildi. İyi tanımlanmış kalınlık ve kalınlık oranına sahip elektrolit destekli düzlemsel bir pilin optimize edilmiş sıcak presleme ve sinterleme koşulları ile birlikte tek aşamada ortak sinterleme ile üretilebilirliği görüldü. Sonuçlar: Sinterleme sırasında delaminasyon ve çatlamanın olmadığı ancak pilin kenarlarında eğriliğin oluştuğunu gösterdi. Pilin diğer konfigürasyonlarında yapıldığı gibi eğrilik oluşumunu bastırmak ve düzlemsel ve eğrilsiz

pil elde etmek için gözenekli alümina kapak plakası kullanıldı. Pilin üst yüzeyine yerleştirilen toplam kütlesi 49,35 g olan üç adet gözenekli alümina kapak plakası kullanılarak neredeyse eğrilik içermeyen elektrolit destekli bir pil başarıyla elde edildi. SEM, EDS ve XRD karakterizasyon teknikleri; sinterlenmiş nihai pilin tahmini gözenekliliğini, ortalama parçacık ve gözenek boyutunu ölçmek ve pildeki olası safsızlıkları ile birlikte istenmeyen faz oluşumlarını tespit etmek amacıyla kullanılmıştır. Sonuç: Pilde istenmeyen faz oluşumlarının olmadığını ancak Fe ve Co gibi bazı elementlerin katottan anot katmanına yayıldığını gösterdi. Ayrıca pilin anot ve katotunda Al, Si vb. gibi başka elementler de tespit edildi.

Piller, pillerin göreceli enerji dönüşüm kapasitesini ve elektrolit kalınlığının pil performansı üzerindeki etkisini araştırmak için test edildi. Maksimum güç yoğunluğu, yakıt açısından oldukça zengin koşullarda (gaz karışımı 7, 100-38-100 ml dk⁻¹, CH₄-O₂-N₂, R:2,6) 29,39 mW cm⁻² olarak pil 6'ya kıyasla ince bir elektrolite sahip olan pil 1'den elde edilmiştir. Bu gaz karışımında pil 1'in maksimum OCV'si 0,55 V olarak ölçülmüştür. Elektrolit kalınlığı arttığında (pil 6) artan ohmik kayıplardan dolayı pil performansı önemli ölçüde azaldı. Pil 6'nın maksimum OCV ve güç yoğunluğu gaz karışımı 7'de (100-38-100 ml dk⁻¹, CH₄-O₂-N₂, R:2,6) sırasıyla 0,55 V ve 14,4 mW cm⁻² olarak ölçülmüştür. Bu nedenle eğrilsiz düzlemsel pil elde etmek amacıyla elektrolit kalınlığının artırılması pil performansı üzerinde olumsuz etkilere neden olmuştur.

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.

Teşekkür

Çalışma, Türkiye Cumhuriyeti Milli Eğitim Bakanlığı ile birlikte EPSRC'nin Hindistan-İngiltere İşbirliğine Dayalı Yakıt Pilleri Araştırma Girişimi Projesi tarafından desteklenen "Katı Oksit Yakıt Pillerinin Hızlandırılmış Yaşlanması ve Bozunmasının Modellenmesi" (EP/I037059/1) projesi ile desteklenmiştir. Ayrıca Birleşik Krallık-Kore İşbirlikçi Araştırma Etkinliği Projesi (EP/M02346X/1) EPSRC'nin Yakıt Pillerinde "SOFC Yığınlarının İzlenmesi ve Kontrolü İçin Yeni Teşhis Araçları ve Teknikleri" konulu projesi ile destek vermiştir. Yazarlar yukarıda adı geçen tüm destekçilere sağladıkları finansmandan dolayı minnetle teşekkür ederler.

Referanslar

Ao G., Yan Y., Zhao P., Pan Z., Lv Z. ve Wang, Z. Enhanced redox and reoxidation tolerances of Ce_{0.8}Gd_{0.2}O_{1.9} electrolyte for Ni cermet anodes in single-chamber SOFCs. Journal of Solid State Electrochemistry 2022; 26(3): 865–873. doi:10.1007/s10008-022-05130-0

- Bedon A., Viricelle JP., Rieu M., Mascotto S. ve Glisenti A. Single chamber solid oxide fuel cells selective electrodes: A real chance with brownmillerite-based nanocomposites. *International Journal of Hydrogen Energy* 2021; 46(27): 14735–14747. doi:10.1016/j.ijhydene.2021.01.220
- Briault P., Rieu M., Laucournet R., Morel B., Viricelle JP. Anode supported single chamber solid oxide fuel cells operating in exhaust gases of thermal engine. *Journal of Power Sources* 2014; 268: 356–364. doi:10.1016/j.jpowsour.2014.06.061
- Buccheri MA., Singh A., Hill JM. Anode- versus electrolyte-supported Ni-YSZ/YSZ/Pt SOFCs: Effect of cell design on OCV, performance and carbon formation for the direct utilization of dry methane. *Journal of Power Sources* 2011; 196(3): 968–976. doi:10.1016/j.jpowsour.2010.08.073
- Bukhari M., Mohsin M., Kayani ZN., Rasool S., Raza R. The La⁺³-, Nd⁺³-, Bi⁺³-doped ceria as mixed conductor materials for conventional and single-component solid oxide fuel cells. *Energies* 2023; 16(14). doi:10.3390/en16145308
- Catalano M., Taurino A., Zhu J., Crozier PA., Dal Zilio S., Amati M., Mele C. Dy- and Tb-doped CeO₂-Ni cermets for solid oxide fuel cell anodes: electrochemical fabrication, structural characterization, and electrocatalytic performance. *Journal of Solid State Electrochemistry* 2018; 22(12): 3761–3773. doi:10.1007/s10008-018-4064-2
- Choi I. Fabrication of wavy type via in-situ observation of curvature evolution during Fabrication of wavy type porous triple-layer SC-SOFC via in-situ observation of curvature evolution during co-sintering. Loughborough University, Loughborough, United Kingdom, 2015. <https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/bitstream/2134/18668/1/Thesis-2015-Choi.pdf> adresinden erişildi.
- Deepi AS., Dharani Priya S., Samson Nesaraj A., Selvakumar AI. Component fabrication techniques for solid oxide fuel cell (SOFC)–A comprehensive review and future prospects. *International Journal of Green Energy* 2022; 19(14): 1600–1612. doi:10.1080/15435075.2021.2018320
- Ding C., Lin H., Sato K., Amezawa K., Kawada T., Mizusaki J., Hashida, T. Effect of thickness of Gd_{0.1}Ce_{0.9}O_{1.95} electrolyte films on electrical performance of anode-supported solid oxide fuel cells. *Journal of Power Sources* 2010; 195(17): 5487–5492. doi:10.1016/j.jpowsour.2010.03.075
- Gu B., Sunarso J., Zhang Y., Song Y., Yang G., Zhou W., Shao Z. A high performance composite cathode with enhanced CO₂ resistance for low and intermediate-temperature solid oxide fuel cells. *Journal of Power Sources* 2018; 405(July): 124–131. doi:10.1016/j.jpowsour.2018.10.025
- Hussain S., Yangping L. Review of solid oxide fuel cell materials: cathode, anode, and electrolyte. *Energy Transitions* 2020; 4(2): 113–126. doi:10.1007/s41825-020-00029-8
- Kamvar M., Ghassemi M., Steinberger-Wilckens R. The numerical investigation of a planar single chamber solid oxide fuel cell performance with a focus on the support types. *International Journal of Hydrogen Energy* 2020; 45(11): 7077–7087. doi:10.1016/j.ijhydene.2019.12.220
- Kuhn M., Napporn TW. Single-chamber solid oxide fuel cell technology-from its origins to today's state of the art. *Energies* 2010; 3(1): 57–134. doi:10.3390/en3010057

- Lyu Y., Xie J., Wang D., Wang J. Review of cell performance in solid oxide fuel cells. *Journal of Materials Science* 2020; 55(17): 7184–7207. doi:10.1007/s10853-020-04497-7
- Mahmud LS., Muchtar A., Somalu MR. Challenges in fabricating planar solid oxide fuel cells: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2017; 72(January): 105–116. doi:10.1016/j.rser.2017.01.019
- Mariño M., Breuil P., Rieu M., Jamon D., Rampnoux JM., Viricelle JP., Garrelie F. Simulation of nanosecond IR laser annealing of cerium gadolinium oxide. *Journal of the European Ceramic Society* 2018; 38(11): 3875–3880. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2018.04.035
- Mariño M., Rieu M., Viricelle JP., Garrelie F. Laser induced densification of cerium gadolinium oxide: Application to single-chamber solid oxide fuel cells. *Applied Surface Science* 2016; 374: 370–374. doi:10.1016/j.apsusc.2015.12.220
- Maryland Tape Casting 2016. <http://www.marylandtapecasting.com/> adresinden erişildi.
- Meunier M. Performance and ageing of an anode-supported SOFC operated in single-chamber conditions. *Journal of Power Sources* 2016; 153(1): 108–113. doi:10.1016/j.jpowsour.2005.03.138
- Milcarek RJ., Garrett MJ., Welles TS., Ahn, J. Performance investigation of a micro-tubular flame-assisted fuel cell stack with 3,000 rapid thermal cycles. *Journal of Power Sources* 2018; 394(May): 86–93. doi:10.1016/j.jpowsour.2018.05.060
- Minh N. Solid oxide fuel cell technology features and applications. *Solid State Ionics* 2004; 174(1–4): 271–277. doi:10.1016/j.ssi.2004.07.042
- Morales M., Piñol S., Segarra M. Intermediate temperature single-chamber methane fed SOFC based on Gd doped ceria electrolyte and $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_{3-\delta}$ as cathode. *Journal of Power Sources* 2009; 194(2): 961–966. doi:10.1016/j.jpowsour.2009.05.027
- Nurk G., Kooser K., Urpelainen S., Käämbre T., Joost U., Kodu M., Lust E. Near ambient pressure X-ray photoelectron - and impedance spectroscopy study of $\text{NiO} - \text{Ce}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{O}_{2-\Delta}$ anode reduction using a novel dual-chamber spectroelectrochemical cell. *Journal of Power Sources* 2018; 378(January): 589–596. doi:10.1016/j.jpowsour.2017.12.080
- Özel S., Aslan K. Investigation of the effect of Cr_2O_3 particles on al-si matrix composites produced by powder metallurgy. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2023; 12(2): 387–395. doi:10.17798/bitlisfen.1223482
- Özel S., Hamidli, T. Investigation of $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ added al matrix composites produced by T/M method. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2022; 11(4): 1042–1049. doi:10.17798/bitlisfen.1169380
- Sayan Y., Kim JS., Wu H. Performance of anode supported single chamber solid oxide fuel cells produced in various thicknesses by single-step co-sintering. *International Journal of Engineering Research and Development* 2023; 15(1): 195–211.
- Sayan Y., Venkatesan V., Guk E., Wu H., Kim, JS. Single-step fabrication of an anode supported planar single-chamber solid oxide fuel cell. *International Journal of Applied Ceramic Technology* 2018;

15(6): 1375–1387. doi:10.1111/ijac.13012

Singhal SC., Kendall K. High temperature solid oxide fuel cells: fundamentals, design and applications. Oxford: Elsevier Advanced Technology; 2003.

Su H., Hu YH. Progress in low-temperature solid oxide fuel cells with hydrocarbon fuels. *Chemical Engineering Journal* 2020a; 402(April): 126235. doi:10.1016/j.cej.2020.126235

Su H., Hu YH. Progress in low-temperature solid oxide fuel cells with hydrocarbon fuels. *Chemical Engineering Journal* 2020b; 402(June): 126235. doi:10.1016/j.cej.2020.126235

Tian Y., Lü Z., Wang Z., Wei B., Guo X., Wu P. Effect of the angle between gas flow direction and electrode on single-chamber SOFC stacks. *Journal of Solid State Electrochemistry* 2019; 23(6): 1651–1657. doi:10.1007/s10008-019-04266-w

Tian Y., Wu P., Zhang X., Guo X., Ding L. Performance of a linear array solid oxide fuel cell micro-stack operated in single-chamber conditions. *Ionics* 2020; 26(12): 6217–6224. doi:10.1007/s11581-020-03780-6

Timurkutluk B., Timurkutluk C., Mat MD., Kaplan Y. A review on cell/stack designs for high performance solid oxide fuel cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2016; 56: 1101–1121. doi:10.1016/j.rser.2015.12.034

Wang ZH., Lü Z., Chen KF., Wei B., Zhu XB., Huang XQ., Su WH. Redox tolerance of thin and thick Ni/YSZ anodes of electrolyte-supported single-chamber solid oxide fuel cells under methane oxidation conditions. *Fuel Cells* 2013; 13(6): 1109–1115. doi:10.1002/fuce.201200050

Wei L., Zhang J., Yu F., Zhang W., Meng X., Yang N., Liu S. A novel fabrication of yttria-stabilized-zirconia dense electrolyte for solid oxide fuel cells by 3D printing technique. *International Journal of Hydrogen Energy* 2019; 44(12): 6182–6191. doi:10.1016/j.ijhydene.2019.01.071

Yusenko MV., Belyaev VD., Demin AK., Bronin DI., Salanov AN., Sobyanin VA., Potemkin DI. Performance of single-chamber solid oxide fuel cells based on Ni and Ni–Cu alloy anodes and fed with a methane–air mixture. *Kinetics and Catalysis* 2022; 63(1): 123–128. doi:10.1134/S0023158422010116

Examination of the Electrochemical Behavior of Ru Nanoparticles Prepared on MgO

Gamze BOZKURT^{1*}

¹Project Coordination Implementation and Research Center, Erzurum Technical University, Erzurum, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0003-2128-9934>

*Corresponding author: gamze.bozkurt@erzurum.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 07.03.2024

Accepted: 10.05.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

Ru/MgO

Electrochemical

Microemulsion

ABSTRACT

Electrode materials are an important component for the performance and life of electrochemical devices. Various metal and metal oxide materials are used as electrode materials for electrochemical devices. In this context, various studies are being carried out to improve the electrochemical properties of these materials. In this study, Ru/MgO metal/metal oxide nanomaterial was synthesized for energy storage devices, and electrochemical properties of Ru/MgO nanomaterial was examined by cyclic voltammetry (CV) and galvanostatic charge and discharge (GCD) methods. Homogeneous Ru nanoparticles were obtained on MgO. According to the calculation made using the XRD pattern, the crystal size of Ru nanoparticles was approximately 4.2 nm. According to GCD measurements taken at different current densities, the highest specific capacitance was obtained with 239 F/g at 0.5 A/g.

MgO Üstüne Hazırlanan Ru Nanopartiküllerin Elektrokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi

Article History:

Received: 07.03.2024

Accepted: 10.05.2024

Published online: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler;

Ru/MgO

Elektrokimya

Mikroemülsiyon

ÖZ

Elektrot malzemeleri, elektrokimyasal cihazların performansı ve ömrü açısından önemli bir bileşendir. Elektrokimyasal cihazlarda elektrot malzemesi olarak çeşitli metal ve metal oksit malzemeler kullanılmaktadır. Bu bağlamda bu malzemelerin elektrokimyasal özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada enerji depolama cihazları için Ru/MgO metal/metal oksit nanomalzemesi sentezlenmiş ve elektrokimyasal özellikleri döngüsel voltametri (CV) ve galvanostatik şarj ve deşarj (GCD) yöntemleriyle incelenmiştir. MgO üzerinde homojen Ru nanopartikülleri elde edildi. XRD modeli kullanılarak yapılan hesaplamaya göre Ru nanopartiküllerinin kristal boyutu yaklaşık 4,2 nm idi. Farklı akım yoğunluklarında alınan GCD ölçümlerine göre en yüksek özgül kapasitans 0,5 A/g'de 239 F/g ile elde edilmiştir.

To Cite: Bozkurt G. Examination of the Electrochemical Behavior of Ru Nanoparticles Prepared on MgO. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(5): 2053-2064.

1. Introduction

The need for lightweight, low-cost, and high-performance power supplies is increasing day by day. Therefore, research on portable electronics is gaining importance (Ray and Saruhan 2020). Batteries and supercapacitors are long-life, lightweight, and low-cost energy storage devices that are very important for portable materials. In order to produce energy storage devices with the desired properties, the electrochemical properties of the electrode materials used in these devices need to be developed and improved. Various materials have been investigated in the literature as electrode materials for energy

storage devices. Among these, it is reported that transition metal oxides can provide various oxidation states for efficient redox charge transfer, resulting in much higher specific capacitance (Zhang et al. 2013). In general, monometallic transition metal oxides (such as NiO, CuO, Co₃O₄, Fe₃O₄, and Mn₃O₄), single-phase bimetallic oxides (such as NiCo₂O₄, MnCo₂O₄, NiMoO₄, NiFe₂O₄, and CoMn₂O₄) and noble metal oxides (such as RuO₂ and IrO₂) have been investigated as electrode materials (Wu et al. 2016). Additionally, transition metals are used in energy storage devices. However, it is known that not every metal is suitable. Precious metals such as Ag, Au, and Pt are not generally used due to their cost. Elements such as Hg and Cd are not safe materials for electrodes due to their toxicity. Ru is also a precious metal but has excellent electrochemical performance, especially in the oxide state, which is applied in the military industry (Xi 2022). Therefore, different metal or metal oxide materials can be used as electrode materials.

The type of support material used affects the size, distribution, and resistance to sintering of the deposited Ru particles (Javaid et al. 2020; Javaid et al. 2023). Ru/MgO has been investigated in various studies for ammonia decomposition and synthesis due to its high catalytic activity and stability (Ju et al. 2017; Ju et al. 2019; Wildfirea et al. 2021; Yamazaki et al. 2022; Fang et al. 2023; Javaid et al. 2023). However, no publication has been observed examining the galvanostatic charge-discharge based electrochemical properties of Ru/MgO.

In this work, MgO was synthesized by the microemulsion method. Then, Ru nanoparticles were supported on MgO by the solvothermal method and exposed to microwave treatment. The physical and electrochemical properties of the obtained Ru/MgO nanoparticles were examined to examine their use in energy storage devices.

2. Materials and Method

2.1. Materials

Magnesium chloride hexahydrate (MgCl₂.6H₂O, (≥99%)), Ruthenium (III) chloride (RuCl₃, 45-55% Ru content), the surfactant dioctyl sulfosuccinate sodium salt (AOT, (≥97%)), n-heptane (99%), 1-butanol, and NaOH (≥98%), KOH (≥98%) and nafion (15-20% water) were obtained from Sigma–Aldrich. All aqueous solutions were prepared using distilled water.

2.2. Synthesis of MgO and Ru/MgO

MgO was achieved by using the microemulsion method. MgO was prepared as previously reported (Bozkurt and Daş 2023). Then, Ru nanoparticles were supported on MgO by the solvothermal method and exposed to microwave treatment as previously reported by Bozkurt (2023). Ru/MgO synthesis is given schematically in Figure 1. Ru metal loading on the MgO was set to 10 wt%.

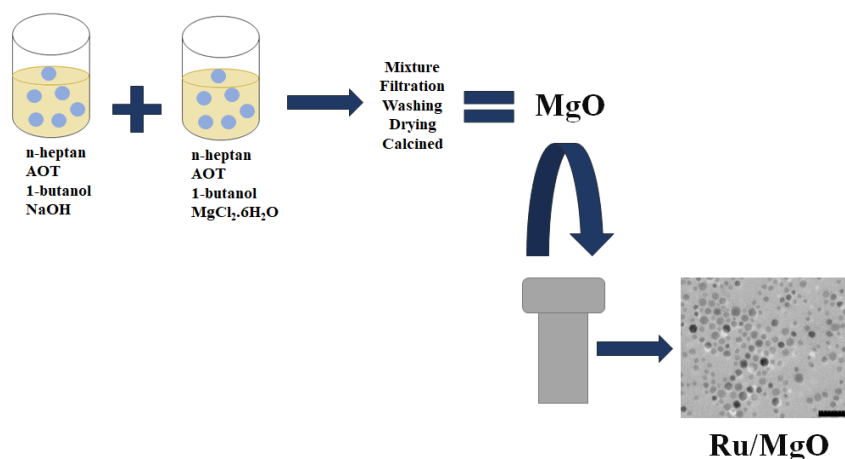


Figure 1. Schematic representation of the synthesis of Ru/MgO nanoparticles

2.3. Material Characterization

The structure of the nanocomposites was characterized by X-ray diffraction (XRD, PANalytical Empyrean). The morphology of the nanocomposites was investigated by a scanning electron microscope (SEM, Zeiss Sigma 300). The surface area, pore volume, and pore radius of the nanocomposites were measured using a BET instrument (Micromeritics 3Flex). The microstructure characterization of the nanocomposites was performed with a Hitachi HighTech HT7700 Transmission electron microscope (TEM). X-ray photoelectron spectroscopy analysis was carried out on the Specs-Flex X-ray photoelectron spectrometer. Inductively coupled plasma-mass spectrometer (ICP/MS) analysis was carried out on Agilent 7800 ICP-MS.

2.4. Electrochemical Characterization

CV and the GCD measurements of the Ru/MgO were investigated with a potentiostat/galvanostat (Gamry 1010E) connected to a three-electrode electrochemical cell system. The electrochemical experiments were performed using a conventional three-electrode cell. A glassy carbon disc electrode as a working electrode, platinum wire as a counter electrode, and an Ag/AgCl reference electrode were employed. An ink solution on a glassy carbon electrode was prepared with 20% nafion and distilled water by taking 50 μg of material/cm² from the Ru/MgO nanoparticles in powder form. The electrolyte solution is 1 M 100 ml of KOH solution. The experiments were carried out in the potential range of $-0.5\text{V}/+0.5\text{V}$ and at different scanning rates of 10 to 200 mV/s. In addition, galvanostatic charge/discharge (GCD) measurements were performed. In addition, EIS experiments were carried out to determine the capacitive and resistive behavior of Ru/MgO. The frequency range for EIS measurements is 0.01 to 100000 Hz. The specific capacitance values were calculated according to the following equation:

$$C = \frac{1}{mv(V_c - V_a)} \int_{V_a}^{V_c} I v dV \quad (1)$$

where C ; specific capacitance (F/g), m ; active mass of the electrode (g), v ; scan rate (mV/s), I_v ; voltammetric current (A) and V_c - V_a ; sweep potential range is (V) (Deka et al. 2016).

3. Results and Discussion

3.1. Characterizations of the MgO and Ru/MgO

According to Figure 2, XRD analysis confirmed the typical structure of MgO. The peaks were consistent with MgO peaks (MATCH no. 96-901-6214). In addition, characteristic diffraction peaks at approximately 37.8 - 50.6 and 58.2° corresponding to (100), (101), and (102) planes of hexagonal close-packed (hcp) Ru were observed. The crystal size for Ru/MgO was calculated as 4.2 nm using the metallic Ru peak at approximately 50° with the help of the Scherrer equation.

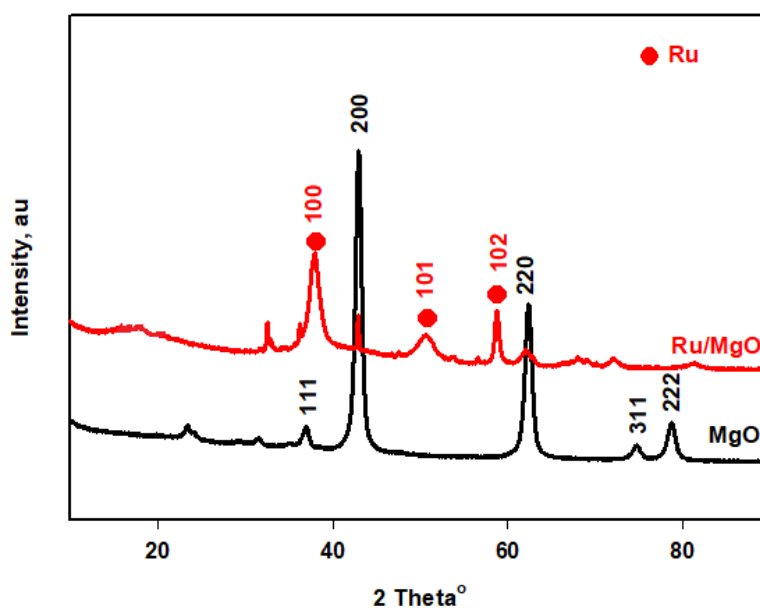


Figure 2. XRD patterns of MgO and Ru/MgO

Figure 3 illustrates the nitrogen adsorption-desorption isotherm (BET measurement curve) and BJH desorption pore volume graph for MgO. MgO showed a type IV isotherm associated with the mesoporous structure, and the surface area was 52.3 m²/g. In addition, according to the pore distribution graph (inset graph), MgO showed a mesopore distribution observed between 2 and 50 nm.

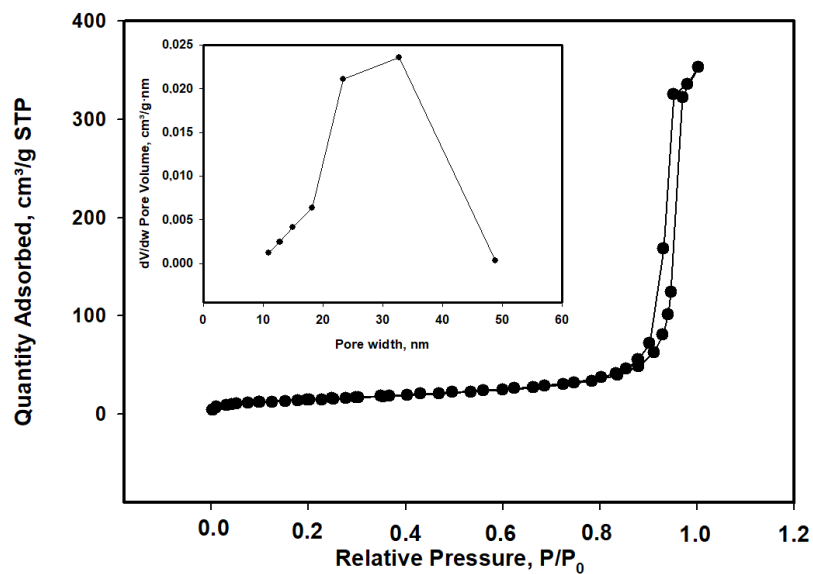


Figure 3. BET isotherms and BJH desorption pore volume distributions (inset graphs) of MgO

SEM images and EDS results for MgO and Ru/MgO are given in Figure 4. According to the SEM image in Figure 4a, nanoleaf structures were observed for MgO. According to the EDS result (Figure 4b), peaks of Mg and O were observed. According to the SEM image of Ru/MgO shown in Figure 4c, new structures were formed on top of the nanoleaf structures. Similarly, as a result of the EDS of Ru/MgO (Figure 4d), peaks for Ru, Mg, and O were observed.

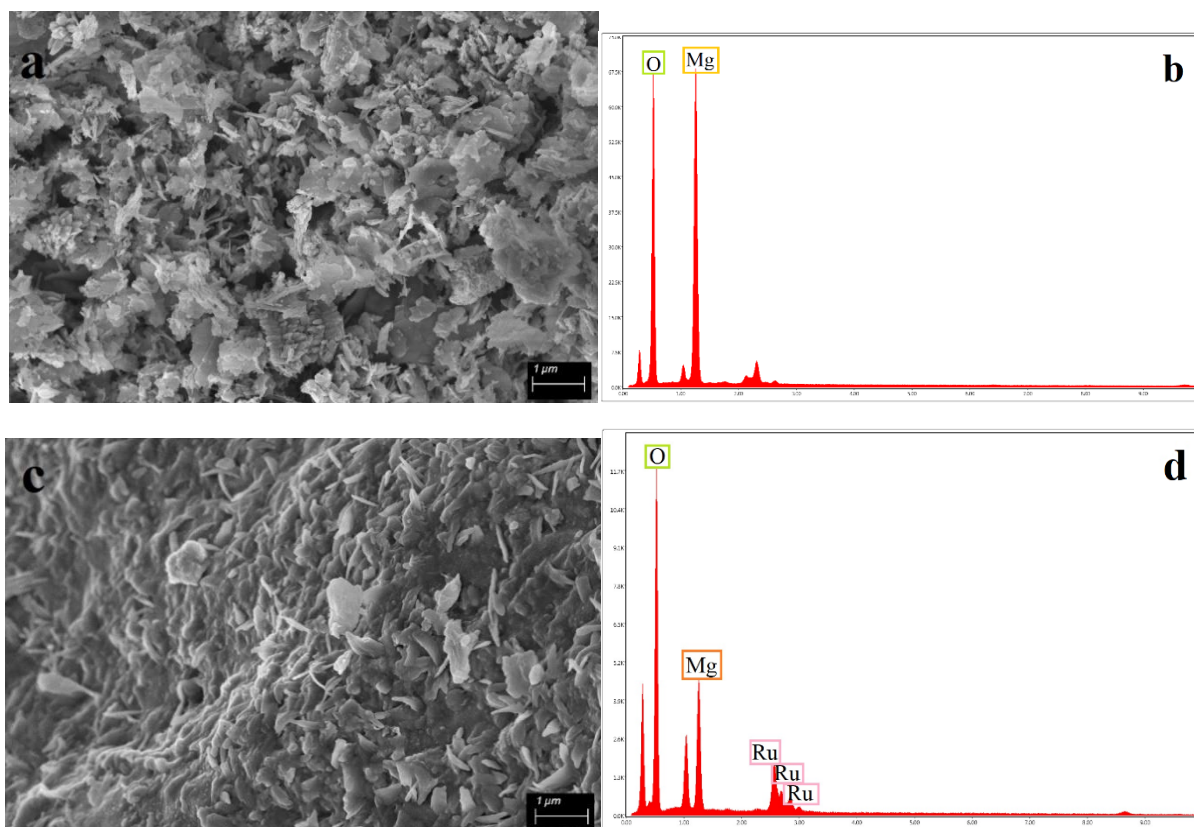


Figure 4. SEM images and EDS spectra of (a-b) MgO (c-d) Ru/MgO

TEM images of MgO are given in Figure 5a and Ru/MgO in 5b (500 nm scale) and 5c (100 nm scale). According to the TEM images, it was observed that Ru nanoparticles were distributed on MgO in spherical form. According to the histogram graph given in Figure 5d, the average particle size was calculated as 18.5 nm. Using the log-normal distribution function, a standard deviation of 1.18 nm was calculated.

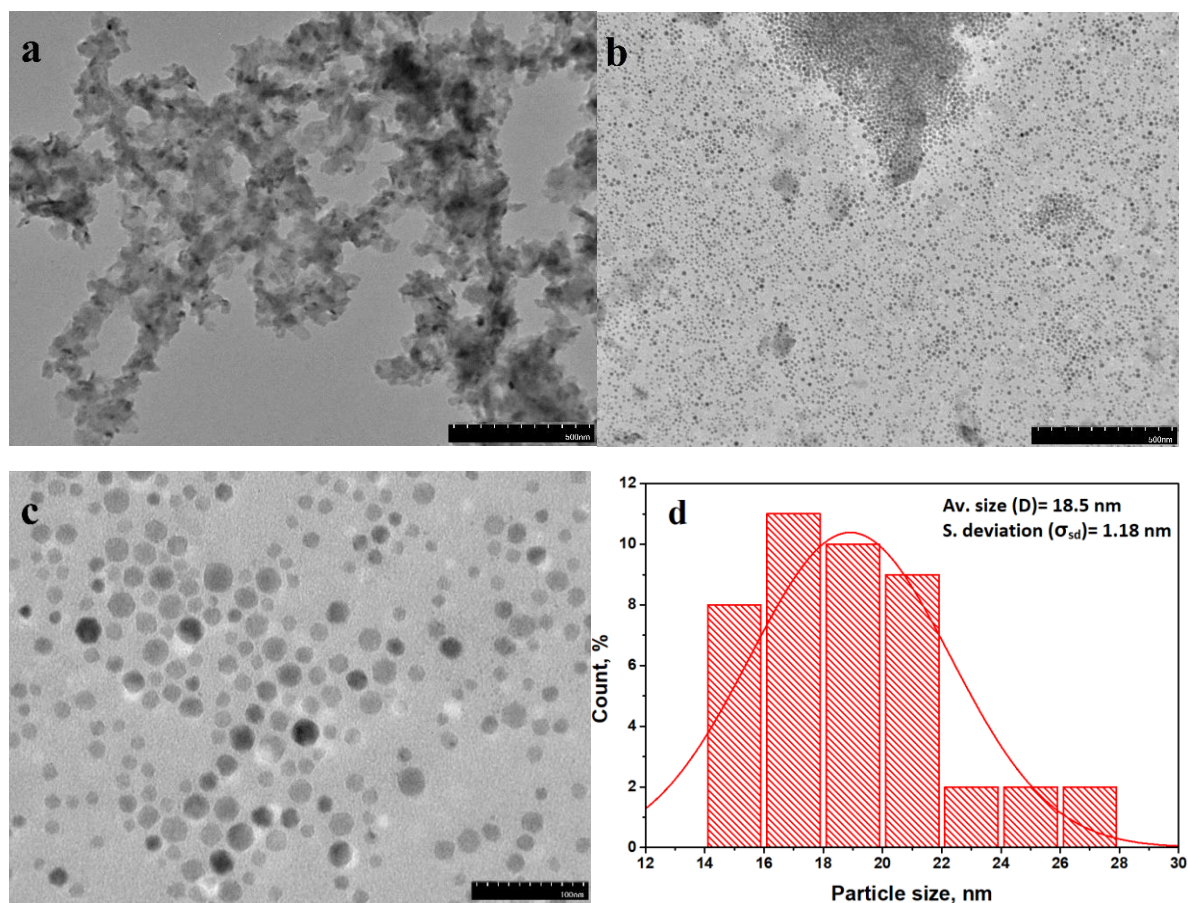


Figure 5. TEM images of (a) MgO (b) Ru/MgO (500 nm scale) (c) Ru/MgO (100 nm scale) (d) particle size distribution for Ru/MgO fitted with a log normal distribution function

The electronic properties of elements were obtained by XPS measurement, as shown in Figure 6. Figure 6a indicates the presence of Mg, O, and Ru. Accordingly, the Mg 1s spectrum exhibited one prominent peak resolved at 1306 eV, accompanied by a satellite (Figure 6b), which is directly related to the characteristic signals of MgO (Aboutalebianaraki et al. 2022). According to the O1s spectrum given in Figure 6c, the peaks at 532.3 eV and 531.7 eV are attributed to chemisorbed oxygen and crystal lattice oxygen, respectively (Leelavathi et al. 2013). According to Figure 6d–e, signals with binding energies consistent with Ru (0) were observed (Wu and Jiang 2015; Yinghuai 2007). According to Figure 6e, the metallic state of Ru, characterized by Ru3p_{3/2} and Ru3p_{1/2} peaks, was observed at 462.3 eV and 484.5 eV, respectively (Saptal et al. 2018). According to the ICP-MS analysis used to confirm the Ru content, the Ru loading percentage was found to be 8.6%.

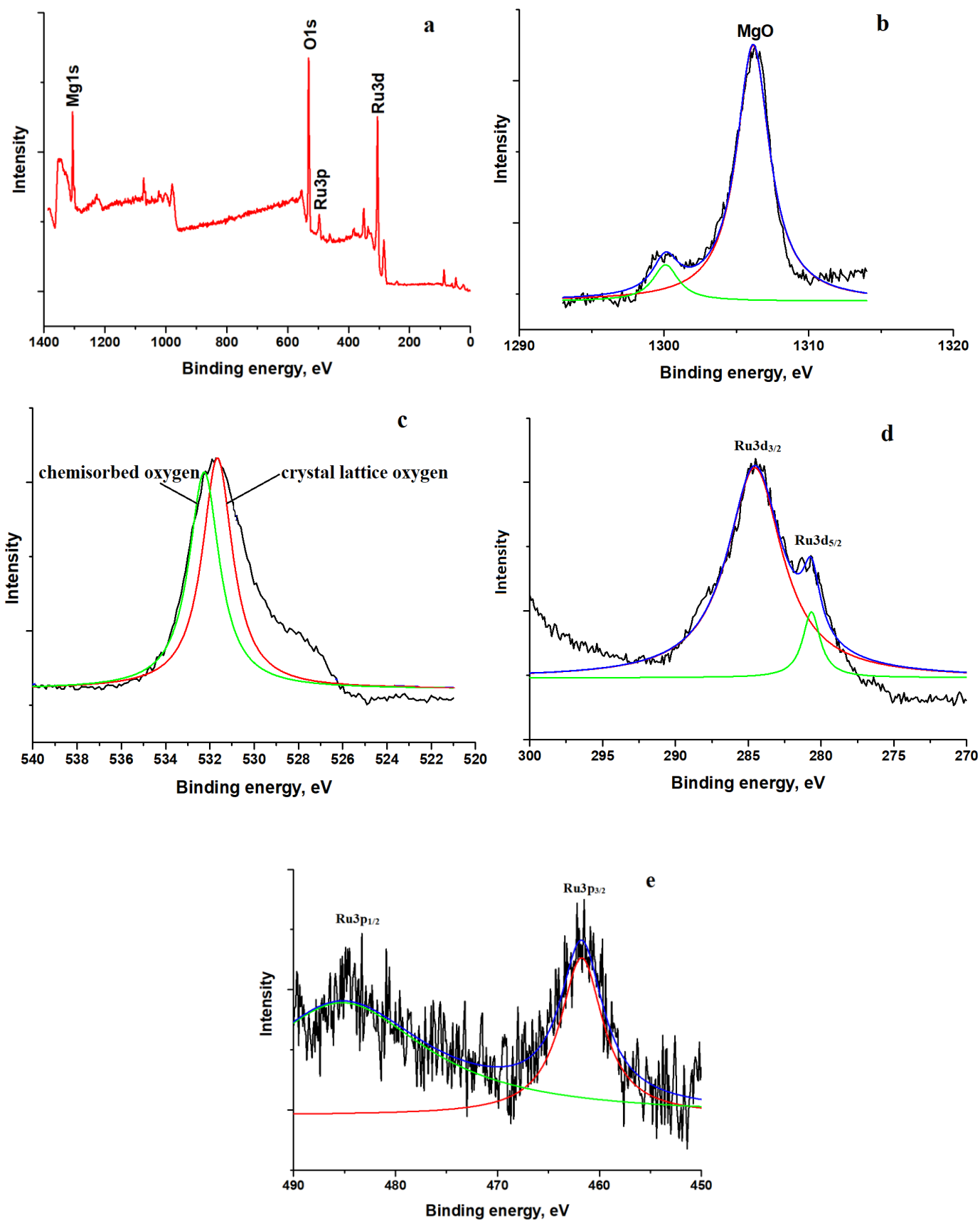


Figure 6. XPS spectra for Ru-MgO (a) general spectrum (b) Mg 1s (c) O 1s (d) Ru 3d (e) Ru 3p regions

Figure 7 shows the results of electrochemical tests for Ru/MgO. As can be seen in Figure 7a, cyclic voltammetry measurements were performed over the potential range of -0.5 V to 0.5 V at five different scan rates including 10-20-50-100 and 200 mV/s. As the scanning speed increased, a rectangular-like cycle close to ideal capacitive behavior was obtained. As the scan rate increases, there is a high surface area with a high number of nanopores for maximum diffusion at the electrode/electrolyte interface. This results in an increase in capacitance (Ray et al. 2020). The specific capacitance increased in direct proportion to the increase in scan rate. In redox reactions that depend on the insertion or deinsertion of protons into the electrolyte at low scan rates, diffusion of ions from the electrolyte occurs in almost all available pores of the electrode. In this case, the insertion reaction occurs, and near-ideal capacitance behavior occurs. In addition, the effective interaction between ions and the electrode decreases significantly with increasing scan rates (Dubal et al 2013). In these (Figure 7a), taken at different scanning speeds, a slight anodic peak was observed at approximately -0.3 V. CV curves do not have a rectangular shape due to the faradaic pseudo-capacitive nature of the electrode, especially at high scanning speeds (Zhang et al. 2013). The galvanostatic charge-discharge cycle at various current densities was also investigated, as shown in Figure 7b. Specific capacitances were calculated from galvanostatic charge-discharge curves using the equation given in Equation 1. The calculated specific capacitance values were 239.0, 104.2, 27.5 and 21.4 F/g at 0.5, 1, 2, and 3 A/g. Table 1 summarizes the specific capacitance of previously reported various supercapacitor electrode materials. Carbon and cobalt-based materials are generally used as electrode materials for supercapacitors and batteries. According to Table 1, the Ru/MgO prepared in this study exhibited a promising specific capacitance among these materials.

Table 1. Comparison of specific capacitance for various materials in alkaline aqueous electrolytes reported in the literature

Material	Specific capacitance (F/g)	Current density (A/g)	Electrolyte	Reference
Nitrogen-doped graphene nanosheets	132.4	0.1	1 M KOH	Zheng et al. 2013
Macrochanneled activated carbon	196	1	6 M KOH	Li et al. 2014
Co/Cr ₂ O ₃	248.1	1	1 M KOH	Bozkurt G. 2023
Defect introduced graphene sheets	256.0	1	1 M KOH	Qui et al. 2017
MnCo ₂ O _{4.5}	368	1	2 M KOH	Zhang et al. 2019
Co ₃ O ₄ -NiO/Graphene oxide	883.0	1	6 M KOH	Yang et al. 2020
Ru/MgO	239.0	0.5	1 M KOH	This work

In addition, Figure 7c shows the Nyquist graph obtained as a result of electrochemical impedance spectroscopy for Ru/MgO. Approximately semicircular regions at high frequency and linear regions at low frequency were obtained. The semicircle corresponds to the electrochemical response of Ru/MgO. It also provides information about the charge transfer kinetics of the material. The linear part is indicative

of diffusion processes, such as ion diffusion within the pores of the electrode material (Gaikwad et al. 2024). In addition, the Bode plot showing the phase shift between current signals and voltage is given in Figure 7d. A decrease in phase angles was observed with increasing frequency. As the frequency increases, the phase angle decreases, indicating that the material exhibits resistive behavior. Ru/MgO behaved capacitive at low frequencies and resistively at high frequencies (Gaikwad et al. 2024; Shafa et al. 2021).

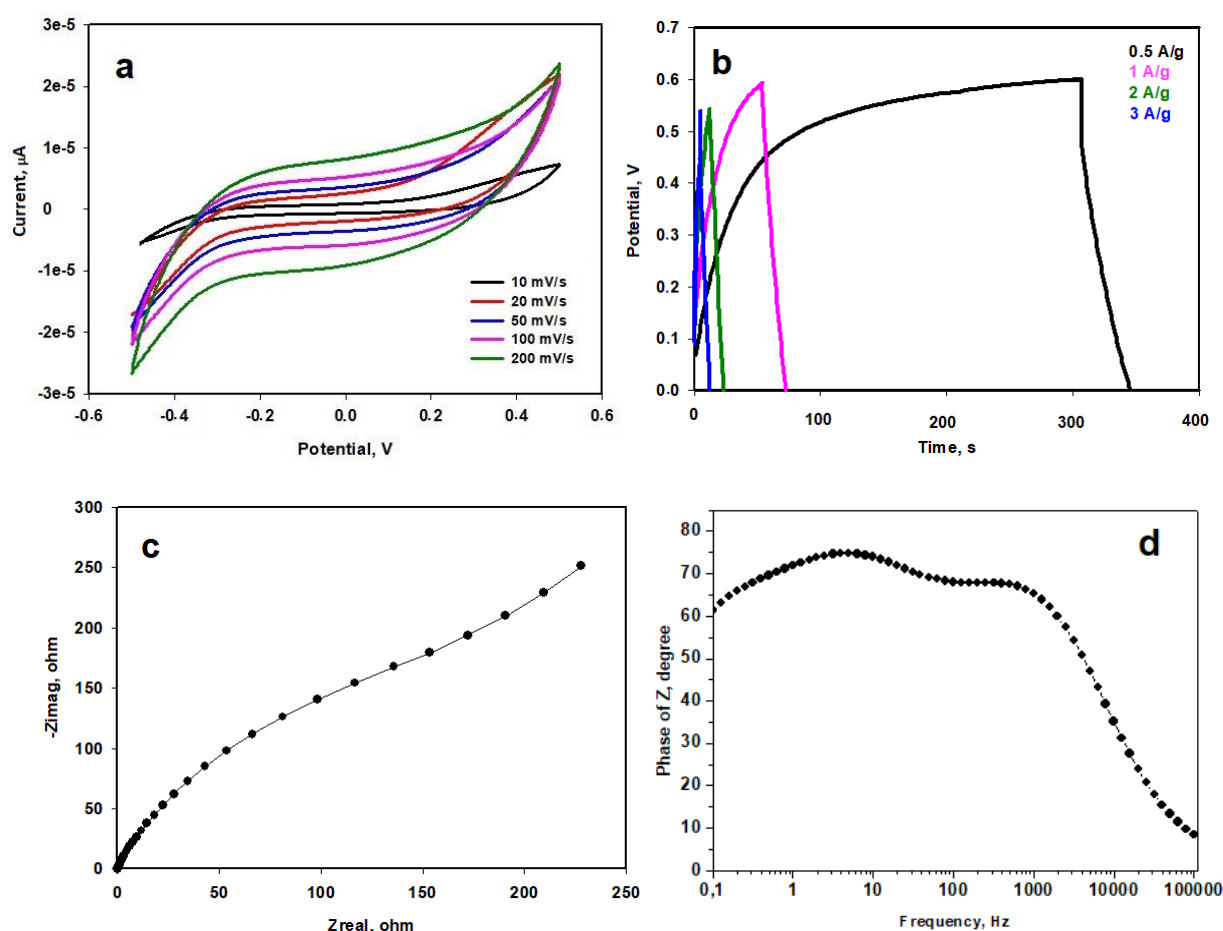


Figure 7. Electrochemical characteristics of the Ru-MgO (a) CV curves (b) GCD curves (c) EIS curves (d) Bode plots

4. Conclusions

In this study, Ru nanoparticles were prepared on MgO synthesized by the microemulsion method. According to the XRD pattern of the received Ru/MgO, the crystal size of Ru nanoparticles was calculated as 4.2 nm. In the TEM image of this material, which has a very small crystal size, nanoparticles with a homogeneous structure were clearly observed and the average particle size was found to be 18.5 nm. According to the XPS result, metallic Ru was obtained. According to the CV measurements were performed at different scan rates. It has been observed that as the scan rate increases, cycles closer to the rectangular-like cycle are formed. Additionally, GCD measurements were taken at various current densities. The highest specific capacitance of 239.0 F/g was achieved for 0.5 A/g. The

obtained specific capacitance value is promising for the use of Ru/MgO nanomaterials as electrode materials in energy storage devices.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

References

- Aboutalebianaraki N., Neal CJ., Seal S., Razavi M. Biodegradable Mg-Sc-Sr Alloy improves osteogenesis and angiogenesis to accelerate bone defect restoration. *Journal of Functional Biomaterials* 2022; 13: 261-278.
- Bozkurt YG. Investigation of electrochemical performance of Ni/Cr₂O₃ and Co/Cr₂O₃ composite nanoparticles prepared by microwave-assisted solvothermal method. *Journal of Alloys and Compounds* 2023; 960: 170627.
- Bozkurt YG., Daş E. The synthesis of MgO and MgO-graphene nanocomposite materials and their diode and photodiode applications. *Physica Scripta* 2023; 98: 085911.
- Deka BK., Hazarika A., Kim J., Park YB., Park HW. Multifunctional CuO nanowire embodied structural supercapacitor based on woven carbon fiber/ionic liquid–polyester resin. *Composites: Part A*, 2016; 87: 256-262.
- Dubal DP., Gund GS., Holze R., Lokhande CD. Mild chemical strategy to grow micro-roses and micro-woolen like arranged CuO nanosheets for high performance supercapacitors. *Journal of Power Sources* 2013; 242: 687-698.
- Fang H., Wu S., Ayvali T., Zheng J., Fellowes J. Dispersed surface Ru ensembles on MgO (111) for catalytic ammonia decomposition. *Nature Communications* 2023; 14: 647.
- Gaikwad DS., Bobade RG., Suryawanshi VB., Nakate UT., Shaikh SF., Enizi A., Dabke DB., Lokhande BJ., Ambare RC. Electrochemical property of nanosphere-like MgO electrode synthesized via SILAR in asymmetric supercapacitor. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 2024; 35: 363.
- Javaid R., Aoki Y., Nanba T. Highly efficient Ru/MgO-Er₂O₃ catalysts for ammonia synthesis. *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 2020; 146: 109570.
- Javaid R., Nanba T. Efficient Ru/MgO–CeO₂ catalyst for ammonia synthesis as a hydrogen and energy carrier. *International Journal of Hydrogen Energy* 2023; 48(30): 11214-11224.
- Ju X., Liu L., Yu P., Guo J., Zhang X. Mesoporous Ru/MgO prepared by a deposition-precipitation method as highly active catalyst for producing CO_x-free hydrogen from ammonia decomposition. *Applied Catalysis B: Environmental* 2017; 211: 167-175.

- Ju X., Liu L., Zhang X., Feng J., He T., Chen P. Highly efficient Ru/MgO catalyst with surface-enriched basic sites for production of hydrogen from ammonia decomposition. *Chem Cat Chem* 2019; 11: 4161–4170.
- Leelavathi A., Madras G., Ravishankar N. Origin of enhanced photocatalytic activity and photoconduction in high aspect ratio ZnO nanorod. *Physical Chemistry Chemical Physics* 2013; 15: 10795.
- Li J., Ren Z., Ren Y., Zhao L., Wang S., Yu J. Activated carbon with micrometer-scale channels prepared from luffa sponge fibers and their application for supercapacitors. *RSC Advances* 2014; 4: 35789.
- Qiu Z., He D., Wang Y., Zhao X., Zhao W., Wu H. High performance asymmetric supercapacitors with ultrahigh energy density based on hierarchical carbon nanotubes@NiO core–shell nanosheets and defect-introduced graphene sheets with hole structure. *RSC Advances*, 2017; 7: 7843.
- Ray A., Korkut D., Saruhan B. Efficient flexible all-solid supercapacitors with direct sputter-grown needle-like Mn/MnO_x@Graphite-Foil electrodes and PPC-embedded ionic electrolyte. *Nanomaterials* 2020; 10(9): 1768.
- Saptal VB., Sasaki T., Bhanage BM. Ru@PsIL-Catalyzed Synthesis of N-formamides and benzimidazole by using carbon dioxide and dimethylamine borane. *Chem Cat Chem* 2018; 10: 1-9.
- Shafai N., Beltagi A., Ibrahim MM., Ramadanc MS., Mehaseb I. Enhancement of the photocurrent and electrochemical properties of the modified nanohybrid composite membrane of cellulose/graphene oxide with magnesium oxide nanoparticle (GO@CMC.MgO) for photocatalytic antifouling and supercapacitors applications. *Electrochimica Acta* 2021; 392: 138989.
- Wildfirea C., Abdelsayed V., Shekhawat D., Daglec RA., Davidson SD., Hu J. Microwave-assisted ammonia synthesis over Ru/MgO catalysts at ambient pressure. *Catalysis Today* 2021; 365: 103-110.
- Wu Z., Jiang H. Efficient palladium and ruthenium nanocatalysts stabilized by phosphine functionalized ionic liquid for selective hydrogenation. *RSC Advances* 2015; 5: 34622.
- Wu Z., Zhu Y., Ji X., Banks CE. Nanomaterials in advanced batteries and supercapacitors. In: Ozoemena, K.I., Chen, S (editors). *Transition metal oxides as supercapacitor materials. Nanomaterials in Advanced Batteries and Supercapacitors. Part 9.* Canada: Springer, 2016; 317-344.
- Xi Z. Recent advances of transition metal oxides and chalcogenides in pseudo-capacitors and hybrid capacitors: A review of structures, synthetic strategies, and mechanism studies. *Journal of Energy Storage* 2022; 49: 104148.

- Yamazaki K., Matsumoto M., Kubo H., Fujitani T., Ishikawa M., Sato A. Evaluation of durability performance of a Ru/MgO catalyst for ammonia decomposition at an on-site hydrogen fueling station. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2022; 61(17): 5778–5785.
- Yang X., Xiang C., Zou Y., Liang J., Zhang H., Yan E., Xu F., Hu X., Cheng Q., Sun L. Low-temperature synthesis of sea urchin-like Co-Ni oxide on graphene oxide for supercapacitor electrodes. *Journal of Materials Science & Technology* 2020; 55: 223-230.
- Yinghuai Z., Widjaja E., Sia SL., Zhan W. Carpenter K et al. Ruthenium (0) nanoparticle-catalyzed isotope exchange between 10B and 11B nuclei in decaborane (14). *Journal of the American Chemical Society* 2007; 129(20): 6507–6512.
- Zhang YX., Li F., Huang M. One-step hydrothermal synthesis of hierarchical MnO₂-coated CuO flower-like nanostructures with enhanced electrochemical properties for supercapacitor. *Materials Letters* 2013; 112: 203-206.
- Zhang M., Liu W., Liang R., Tjandra R., Yu A. Graphene quantum dot induced tunable growth of nanostructured MnCo₂O_{4.5} composites for high-performance supercapacitors *Sustainable Energy Fuels* 2019; 3: 2499-2508.
- Zheng B., Chen T., Xiao FN., Bao WJ., Xia XH. KOH-activated nitrogen-doped graphene by means of thermal annealing for supercapacitor. *Journal of Solid-State Electrochemistry* 2013; 17: 1809–1814.

Tuzlu Suda Metan Hidrat Oluşum Koşullarının Tahmini için Regresyon Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi

Sema DEMİRCİ UZUN^{1*}, Aytuğ ONAN², Vahide BULUT³

¹Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Bölümü, 35620, İzmir

²Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 35620, İzmir

³Katip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Bölümü, 35620, İzmir

¹<https://orcid.org/0000-0002-6445-5464>

²<https://orcid.org/0000-0002-9434-5880>

³<https://orcid.org/0000-0002-0786-8860>

*Sorumlu yazar: semademirci.uzun@ikcu.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 13.05.2022

Kabul tarihi: 21.05.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Metan hidrat

Oluşum koşulları

Kemoinformatik

Makine öğrenmesi

Petrol ve gaz borularında hidrat oluşumu; akış sürekliliği için en önemli faktörlerden biridir. Hidrat oluşumu, boruların tıkanmasına yol açabildiği gibi güvenlik ve ekonomik açıdan da sorunlara neden olabilmektedir. Bu nedenle, hidrat oluşum ve bozunma koşullarının belirlenmesi ve analizi önemli bir araştırma problemidir. Bu amaçla, geleneksel kimyasal deneylere ve analizlere dayalı birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Doğal gaz hidrat oluşum ve bozunma mekanizması üzerindeki çevre koşullarının etkisinin karmaşık yapısı; yüksek başarımlı hidrat oluşum koşulu tahmin ve analiz yöntemleri geliştirmek için makine öğrenmesi algoritmalarının kullanımını uygun kılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, doğrusal regresyon, karar ağacı, destek vektör makineleri, Gauss süreç regresyonu algoritmalarına dayalı on sekiz temel makine öğrenmesi algoritmasının etkinliği, tuzlu suda metan hidrat oluşum sıcaklığının basınca ve iyon konsantrasyonlarına dayalı özneliklere bağlı olarak belirlenmesi için değerlendirilmektedir. Deneysel analizlerde kullanılan regresyon modelleri incelendiğinde, Gauss süreç regresyonu tabanlı algoritmaların R-kare ölçütü bakımından, analizlerde kullanılan diğer yöntemlere kıyasla daha yüksek başarımlı elde ettiği görülmektedir. Karşılaştırmalı analizde dikkate alınan tüm konfigürasyonlar arasında en başarılı sonuçlar, hem ortalama mutlak hata (RMSE= 0,9517), hem ortalama kare hatası (MSE=0,9058) hem de R-kare ölçütü (R-kare=0,99) cinsinden rasyonel ikinci dereceden Gauss süreç regresyonu algoritması ile elde edilmektedir.

Comparative Analysis of Regression Algorithms for Prediction of Methane Hydrate Formation Conditions in Salt Water

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 13.05.2022

Accepted: 21.05.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

Methane hydrate

Formation conditions

Chemoinformatics

Machine learning

One of the most critical issues affecting flow continuity in oil and gas pipelines is hydrate formation. Hydrate formation can cause pipe clogging, which can be hazardous to both safety and the economy. As a result, determining and analyzing hydrate formation and degradation conditions is a critical scientific challenge. Many research based on conventional chemical tests and analyses have been conducted for this goal. Because of the complexity of the impacts of environmental variables on natural gas hydrate formation and degradation mechanisms, machine learning techniques are an appropriate choice for developing hydrate formation condition prediction and analysis approaches with high predictive performance. The efficiency of eighteen basic machine learning algorithms based on linear regression, decision trees, support vector

machines, and Gaussian process regression algorithms is evaluated in this study to determine the methane hydrate formation temperature in brine based on pressure and ion concentration features. When the regression models used in the experimental analyses are examined, it is found that the Gaussian process regression-based algorithms outperform the other methods utilized in the analysis in terms of the R-square criterion. The rational quadratic Gaussian process regression produced the best results in terms of mean absolute error (RMSE= 0.9517), mean square error (MSE=0.9058), and R-squared measure (R-squared=0.99) among all the configurations included in the comparative study.

To Cite: Demirci Uzun S., Onan A., Bulut V. Tuzlu Suda Metan Hidrat Oluşum Koşullarının Tahmini için Regresyon Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(5): 2065-2083.

1. Giriş

Doğal gaz; yanması sırasında oluşan düşük miktardaki karbondioksit gazı emisyonuna bağlı olarak diğer fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında çok daha temiz bir enerji kaynağıdır. Bu durum da dikkate alınarak dünya genelinde en çok ısı ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, çeşitli araçlar için yakıt olarak kullanılmakla birlikte başta plastikler olmak üzere bazı son derece önemli organik bileşiklerin üretiminde ana hammaddelerden birini oluşturmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bilgi İdaresi (EIA) 2020 yılı verilerine göre, Dünya genelindeki doğal gaz kaynaklarının 250000'den 700000 trilyon fit küpe kadar olduğu tahmin edilmekte ve 2020-2025 yılları arasında yıllık doğal gaz ihtiyacının her yıl için %1,9 oranında artması beklenmektedir (EIA, 2020). Bu rakamlarla dünya genelinde tüm doğal gaz rezervlerindeki karbon içeriğinin diğer yaygın olarak kullanılan tüm fosil yakıtlardakinin yaklaşık iki katı kadar olduğu düşünülmektedir (Dendy Sloan ve Koh, 2007; Walsh ve ark., 2009). Artan bu talebin karşılanmasında, mevcut doğal gazın kaynaklardan son kullanıcıya nakli ve depolanma yöntemleri son derece önem taşımaktadır. Bu amaçlar için kullanılan yöntemlerden en yaygın olanları sıkıştırılmış doğal gaz (CDG) şeklinde depolanıp sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) olarak boru hatlarında taşınmalarıdır (Sapag ve ark., 2010). Ancak, her iki yöntemin de bazı dezavantajları mevcuttur. CNG yönteminde doğal gaz 20-25 MPa basınç civarında sıkıştırıldığından kalın duvarlı ve çok ağır depolama tanklarına ihtiyaç duyulmaktadır. LNG yönteminde ise sıvı doğal gazın oluşturulabilmesi için sistem sıcaklığını 191 K'in altında tutabilecek bir soğutma sistemi gerekmektedir (Wang ve ark., 2010; Inkong ve Yodpetch, 2022). Son dönemlerde, bu sorunları elimine edebilmek için doğal gazın katı halde taşınıp depolanmasını sağlayan katılaştırılmış doğal gaz (SNG) adlı yöntem uygulanmaya başlanmıştır. Bu yöntemde doğal gaz, katı hidrat formun içine hapsedilmiş durumdadır. Böylelikle SNG; yüksek hacimli enerji depolama kapasitesi, patlama açısından güvenli oluşu, kolayca işlenebilmesi, kolay geri dönüşümü ve maliyet avantajı gibi özellikleriyle diğer yaygın yöntemlere göre üstünlük göstermektedir (Veluswamy ve ark., 2018; Bhattacharjee ve ark., 2020).

Doğal gaz hidratları, uygun basınç (10 atm) ve sıcaklık (0 °C) koşullarında katı su latisleri tarafından sarılmış doğal gaz moleküllerinden oluşan klatrat kristal bileşiklerdir (Sloan ve Koh, 2007). Stökiyometrik bir orana bağlı olmaksızın küçük gaz molekülleri hidrojen bağları yardımıyla katı su moleküllerinden oluşan bir kafesin içerisine hapsedilmiş durumdadırlar. İçerdikleri su molekülü sayısına

bağlı olarak hidratlar farklı kristal yapılarına sahip olabilirler. Bir gaz hidratın hacmi içerdiği gaz moleküllerinin sayısına ve hidrat oluşum koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yüksek depolama kapasitesi ve güvenli yapısı ile doğal gaz depolanması ve transferinde büyük öneme sahiptirler (Gudmundsen ve Borrehaug, 1996; Yevi ve Rogers, 1996). Çoğunlukla deniz kara sınırlarındaki tortularda ve sürekli don alanlarında özellikle de arktik bölgelerde yaygın bir şekilde bulunmaktadır. Atmosfer ve okyanus suyunun ısınmasıyla hidrat formun kararlılığı düşerek yapısındaki metan gazı tortu ve toprağa sızmaya başlamaktadır. Yeryüzüne çıkarıldıklarında ise standart basınç ve sıcaklıkta 1 metreküp gaz hidrat ortalama 164 metreküp doğal gaz salınımı yapmaktadır.

Hidrat oluşumunu etkileyen başta sıcaklık ve basınç olmak üzere birçok parametre mevcuttur. Örneğin; hidrat tutunması için hidratlar ve boru hattı duvarlarındaki adhezyon kuvvetleri, serbest su fazının varlığı, akış modeli ve sıvı akış hızı gibi parametreler de önem taşımaktadır. Serbest su fazı yoksa hidratlar ve boru duvarlarındaki adhezyon kuvvetleri küçüktür ve bu durumda hidratlar genel olarak boru hatları içerisinde tutunamazlar (Wang ve ark., 2016). Literatürde, gaz hidrat oluşum mekanizmalarına yönelik tahminleme çalışmalarında gaz akış hızı ve adhezyon kuvvetleri vb. parametreleri de inceleyen modeller mevcuttur (Wang ve ark., 2016; Alireza, 2020).

Diğer yandan, petrolde ve gaz borularında hidrat oluşumu akış sürekliliği için en önemli zorluklardan biridir (Walsh ve ark., 2009). Boruların tıkanmasına neden olarak akışı önlemekte ve hem ekonomik kayba hem de güvenlik sorunlarına sebep olmaktadır. Bu sorunu önlemek için hidrat oluşum ve bozunma koşullarını belirlemek ve yorumlamak oldukça önemlidir.

Genellikle yapılan çalışmalarda, termodinamik hidrat inhibitörü olarak inorganik tuzlar ve alkol katkı maddesi kullanılmaktadır (Sloan ve Koh, 2007). Bu bağlamda literatürde, inorganik tuzların hidrat oluşum ve bozunma dengesine etkilerini içeren birçok çalışma yer almaktadır (Hammerschmidt, 1934; Jiafang ve ark., 2021). Gerçekleştirilen çoğu çalışma, derişik tuz çözeltilerinin hidrat faz dengesine etkilerini göstermek üzere gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalara göre, çözeltideki tuzlar hidrat oluşma koşullarını düşük sıcaklık ve yüksek basınç bölgesine çekmektedirler. Bazı çalışmalarda ise farklı tuz iyonlarının hidrat inhibisyonuna olan etkileri araştırılmıştır (Hammerschmidt, 1934; Lu ve ark., 2001; Sabil ve ark., 2010; Wang ve ark., 2016; Lv ve ark., 2018; Sun ve ark., 2018). Dholabhai ve ark. (1993) NaCl ve KCl varlığında metan hidrat oluşumunun kinetiğini araştırmış ve bu tuzların varlığında metan hidrat oluşum hızının saf sudakine göre önemli ölçüde azaldığını bulmuşlardır (Dholabhai ve ark., 1993). Kumar ve ark. (2019) ise tetrahidrofur (THF) varlığında NaCl çözeltilisinin termodinamik dengeye etkisini tespit etmeye yönelik çalışmalar gerçekleştirilerek tuz varlığının basınç üzerine negatif etkisi sonucu metan-THF hidrat oluşumuna yardımcı olduğunu tespit etmişlerdir (Pandey ve ark., 2019; Veluswamy ve ark., 2019). Literatürde yapılan deneysel çalışmaların yanı sıra, tuz varlığında hidrat oluşum ve bozunma koşullarını araştıran birçok tahmin ya da hibrit çalışma da gerçekleştirilmiştir. Tuz çözeltilerindeki hidrat dengesi üzerine yapılan tahmin çalışmaları genel olarak Van der Waals, Platteeuw (Van der Waals ve ark., 1959; Ng ve Robinson, 1977; John ve ark., 1985) ve Chen-Guo (Chen ve Guo, 1998) modellerini içermektedir.

Guo Tianmin ve Chen Guangjin (1998) istatistiksel mekaniğe dayanan hidrat oluşumunun termodinamik bir modelini önermişlerdir. Temel olarak hidratın çekirdeklenme sürecinde aynı anda gerçekleşen iki kinetik süreç vardır:

- 1- Gaz molekülü; kimyasal bir formül ile gösterilebilen stökiyometrik basit hidrat bileşiğini oluşturmak üzere su ile kompleksleşir.
- 2- Basit hidrat moleküllerindeki gaz ve suyun daha küçük gaz moleküllerini absorblaması ile oluşan boşluk kavitesinin varlığı stökiyometrik olmayan hidrat oluşumuna sebep olur.

Böylece, basit hidrat karışımının ideal çözelti olduğunu kabul ederek Guo ve ark. (1998) Doğal gaz sistemlerindeki temel denge ilişkisini kurmuştur:

$$f_i = X_i f_i^0 (1 - \sum_j \theta_j)^\alpha \quad (1)$$

f_i gaz fazındaki i bileşenin uçuculuğu, x_i i bileşenin basit hidrat yapısındaki hidratın mol fraksiyonu, α ise hidrat yapısı ile ilişkilidir. Hidrat yapısı I. tip olduğunda $1/3$; hidrat yapısı II. tip olduğunda bu değer 2 dir.

θ_j basit hidrat yapılarının kavitelerindeki küçük gaz moleküllerinin j doluluk oranını temsil etmektedir. Bu oran doğrudan Eşitlik (2) ile hesaplanabilir:

$$\theta_i = \frac{C_i f_i}{1 + \sum_j C_j f_j} \quad (2)$$

Burada C_i küçük gaz bileşenlerinin i Langmuir sabitidir ve Eşitlik (3) ile ifade edilir:

$$C_i = X_i \exp\left(\frac{Y_i}{T - Z_i}\right) \quad (3)$$

f_i^0 i bileşeninden oluşmuş basit hidrat bileşiklerinin uçuculuğudur ve Eşitlik (4) ile hesaplanır:

$$f_i^0 = \exp\left(\frac{-\sum_j A_{ij} \theta_j}{T}\right) \left[a_i \exp\left(\frac{b_i}{T - c_i}\right) \right] \exp\left(\frac{\beta P}{T}\right) a_\omega^{1/\lambda_2} \quad (4)$$

A_{ij} tip II hidrat sistemlerinin ikincil etkileşim sabitidir, tip I hidratların ikincil etkileşim sabiti çok küçük olduğundan ihmal edilebilir. Modeldeki a_i , b_i ve c_i parametreleri ile β ve λ_2 parametreleri hidrat yapısının tipine bağlıdır. Tip I ise β 4.242 K/MPa ve λ_2 3/23; tip II ise β 10.224 K/MPa ve λ_2 1/17; a_ω suyun aktivitesidir. Tüm bu parametreler hesaplanıp denklem 7'de yerine koyulduğunda bileşenlerin mol fraksiyonu toplamının 1 olduğu durumda hidrat oluşum parametreleri tahmin edilebilir. Bu analize dayanılarak verilen basınç değeri için hidrat yapısının oluşma sıcaklığı tahminlenebilir. Benzer şekilde

sıcaklık değeri bilindiğinde doğal gaz hidrat oluşumu için basınç tahminlemesi yapılabilmektedir (Zuo ve ark., 2021).

Bu modeller daha sonrasında Parrish-Prausnitz (1972), Nagata, Ng-Robinson (1977) vd. tarafından modifiye edilerek geliştirilmiştir (Ng ve Robinson, 1977). Bu termodinamik modeller ilgili sistemlerin faz dengelerini tahmin yeteneğine sahip olsalar da hala sistem parametrelerinin genişletilmesine, çeşitli tuz katkılarının farklı basınç ve sıcaklık gibi parametrelerle birlikte hidrat oluşumuna katkılarının ortaya konulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu uygun parametreleri deneysel olarak bulmak ve bunların doğru bir şekilde elde edilip türetildiğini denetlemek genellikle zor ve oldukça maliyetlidir. Bu gibi sebeplerle, son yıllarda gittikçe artan ilgiye sahip ve oldukça temel bir araştırma konusu haline dönüşmeye başlayan yapay zekâ uygulamalarının bu tür etkin parametrelerin bulunması ve yorumlanmasında önemi ve gerekliliği ortaya çıkmıştır. Kimya alanında çalışan bilim insanları, çoğunlukla tasarladıkları kimya problemlerini çözmek için laboratuvar ortamında çeşitli deneyler planlamakta ve kullanılacak verilerin elde edilmesi amacıyla gerek zaman gerekse iş gücü ve sarf malzeme/makine-teçhizat maliyetlerini karşılayabilme açısından oldukça yoğun çaba göstermek durumundadırlar. Bu gibi sebeplerle, 1960lı yıllardan günümüze kadar kimyanın bazı temel problemlerini çözmek amacıyla çeşitli bilgisayar programları geliştirilerek toplanan verilerin bilgiye dönüştürülmesi süreci kolaylaştırılmaya çalışılmıştır. Bu aşamada, maddelerin kimyasal, fiziksel ya da biyolojik özelliklerini tahmin etmeye, organik sentez yöntemleri geliştirmeye ve molekül yapılarını aydınlatmaya yönelik çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Böylelikle, bu yaklaşım kendi içinde bir disiplin olan kemoinformatiğin ortaya çıkıp gelişmesini sağlamıştır (Gasteiger, 2020). Günümüzde ise kemoinformatik, son yılların artan öneme sahip konusu yapay zekâ yaklaşımını verilerin kimyasal bilgiye dönüştürülmesinde yaygın olarak kullanmaya başlamıştır. Yapay zekâ yaklaşımı ve özellikle makine öğrenmesi/derin öğrenme çoğunlukla ilaç geliştirme, analitik kimya, organik kimya, tarım kimyası araştırmaları, gıda bilimi, malzeme bilimi ve süreç kontrolü ki kimya problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır (Boullart ve ark., 1992; Zupan ve ark., 1994; Anzali ve ark., 2012; Elyashberg ve ark., 2012; Le ve ark., 2012; Schleifer, 2012; Mak ve Pichika, 2019; Technology, 2022). Özetle, doğal gaz hidratlarının oluşma ve bozunma mekanizmasına çevresel koşulların etkisini belirlemek oldukça kompleks bir süreçtir. Bu sebeple belirlenen parametrelerin faz dengesine etkilerinin incelenmesi ve hidrat oluşum koşullarının tahmininde makine öğrenmesi algoritmalarının kullanılması yüksek tahmin doğruluğuna sahip modeller geliştirilmesi potansiyeline sahiptir. Çalışma kapsamında, tuzlu suda metan hidrat oluşum faz dengesini belirlemeye yönelik olarak temel makine öğrenmesi regresyon modellerinin etkinlikleri değerlendirilmektedir. Faz dengesinin belirlenmesinde, NaCl, KCl, CaCl₂ ve MgCl₂ tuzlarının iyonlarının etkisi dikkate alınmaktadır. Çalışmanın geri kalanı şu şekilde yapılandırılmıştır. İkinci bölümde, çalışmada kullanılan veri setinin temel özellikleri, analizlerde kullanılan regresyon algoritmaları sunulmaktadır. Üçüncü bölümde, deneysel süreç, değerlendirme ölçütleri ve deneysel sonuçlar tanıtılmaktadır. Dördüncü bölümde ise çalışmanın temel sonuçlarına değinilmektedir.

2. Materyal ve Metot

Bu bölümde, çalışma kapsamında kullanılan veri seti ve regresyon algoritmaları tanıtılmaktadır.

2.1. Veri Seti

Bu çalışmada, tuzlu suda (NaCl, KCl, CaCl₂ ve MgCl₂ varlığında) metan hidrat oluşum koşullarını değerlendirmek amacıyla 1951'den 2020'ye kadar yayınlanan araştırma çalışmalarındaki 702 deneysel veri örneğinin toplanması ile elde edilen veri seti kullanılmıştır (Xu ve ark., 2021). Toplanan veri örneklerine ilişkin tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Tablo 1'de sunulmaktadır. Burada, tuz derişimleri, Cl⁻, Na⁺, K⁺, Ca²⁺ ve Mg²⁺ dâhil olmak üzere her iyon için mol %'sine dönüştürülerek verilmektedir.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Veri Setine İlişkin Temel Tanımlayıcı İstatistiksel Bilgiler (EIA, 2020)

Öznitelik	Maksimum	Minimum
Sıcaklık (K)	311,95	268,54
Basınç (MPa)	185,6	2,92
NaCl (wt%)	30	0
KCl (wt%)	21,88	0
CaCl ₂ (wt%)	32	0
MgCl ₂ (wt%)	25	0

2.2. Regresyon Algoritmaları

Bu bölümde, tuzlu suda metan hidrat oluşum sıcaklığının basınca ve iyon konsantasyonlarına dayalı özniteliklere bağlı olarak belirlenmesinde kullanılan temel regresyon algoritmaları tanıtılmaktadır.

Doğrusal regresyon (linear regression), bir ya da daha fazla tahmin değişkeninin bir fonksiyonu olarak sürekli bir yanıt değişkenini belirlemek amacıyla kullanılan temel bir makine öğrenmesi algoritmasıdır.

Doğrusal regresyon ile doğrusal bir model oluşturulur. Burada, yanıt olarak da nitelendirilen bir bağımlı değişken, bir ya da daha fazla bağımsız özniteliğin bir fonksiyonu aracılığıyla belirlenir (Montgomery ve Peck, 2001).

Sağlam doğrusal regresyon (robust linear regression), yinelemeli olarak her bir veri noktasına ağırlıklı en küçük kareler yöntemine dayalı olarak ağırlık değeri atar. Böylelikle, veri setinin küçük bölümlerinde meydana gelen büyük değişikliklere daha az duyarlı bir öğrenme modeli elde edilmiş olur. Sağlam doğrusal regresyon, doğrusal regresyona kıyasla, aykırı değerlere daha az duyarlı bir model oluşturur (Rousseeuw ve Leroy, 2005).

Kademeli doğrusal regresyon (stepwise linear regression) algoritması da, en son regresyon modelinde dikkate alınacak bağımsız değişkenler regresyon modeli adım adım yinelemeli olarak uygulanarak belirlenir. Burada, modeldeki potansiyel değişkenlerin art arda eklenmesi ya da çıkarılması ve her bir yinelemede ilgili değişken seti üzerinde yapılan işlemin istatistiksel anlamlılığının sınanması ile uygun değişken seti elde edilir (Beck, 2017).

Karar ağacı algoritmaları (decision tree algorithms), öğreticili öğrenme problemlerinde kullanılan temel makine öğrenmesi algoritmaları arasında yer almaktadır (Onan, 2015). Karar ağacı algoritmaları hem regresyon hem de sınıflandırma görevlerinde uygulanabilmektedir. Karar ağacı algoritmaları, ağaç yapılı bir öğrenme modeli oluşturur. Burada, kök düğüm tüm örnekleri temsil eden ilk düğümdür ve alt dallara bölünebilir. İç düğümler, veri setinin özniteliklerini, düğümler arası dallar ise karar kurallarını temsil eder. Model ile elde edilen sonuçlar ise yaprak düğümlerde temsil edilir. Karar ağacı modelleri, görsel ve açıklanabilir bir öğrenme modeli oluşturur (Kantardzic, 2011).

Çalışma kapsamında, üç temel karar ağacı regresyon modeli olan ince ağaç, orta ağaç ve kaba ağaç modelleri kullanılmıştır. İnce ağaç modelinde, sınıflar arasında çok sayıda ayırım yapmak amacıyla birçok yaprak düğüm yer alabilmektedir ve maksimum bölme sayısı 100'dür. Orta ağaç modelinde, ağaç yapısında maksimum bölme sayısı 20 olarak alınır. Kaba ağaç modelinde ise maksimum bölme sayısı 4 ile sınırlı tutulur (Gilat, 2008).

Destek vektör makineleri (support vector machines), hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerinde uygulanabilen öğreticili öğrenme algoritmaları arasındadır (Kantardzic, 2011). Hem doğrusal hem de doğrusal olmayan problemlerde başarıyla uygulanabilmektedir. Destek vektör makineleri, uygun bir öğrenme modeli oluşturmak amacıyla, veri setindeki örnekleri daha yüksek boyutlu bir uzayda hiperdüzlem kullanarak temsil eder. Böylelikle, iyi bir karar ayırımı yapılması amaçlanır.

Çalışma kapsamında, altı temel destek vektör makinesi modeli olan doğrusal SVM, ikinci dereceden SVM, ince Gauss SVM, orta Gauss SVM ve kaba Gauss SVM modelleri dikkate alınmıştır (Gilat, 2008). Topluluk yöntemleri (ensemble methods), bir dizi zayıf öğrenme algoritmasından (temel öğrenenler) alınan kararları birleştirmeyi amaçlar, böylece elde edilen öğrenme modelinin doğruluğu ve sağlamlığı geliştirilebilir. Topluluk yöntemlerinin genelleme yeteneği, tek temel öğrenenlere göre daha iyidir (Onan ve ark., 2016).

Çalışma kapsamında, iki topluluk yöntemi olan önyükleme ile birleştirilmiş karar ağaçları ve güçlendirilmiş karar ağaçları modelleri kullanılmaktadır. Önyüklemeli karar ağaçları, tek bir karar ağacı kullanılmasında ortaya çıkabilecek aşırı öğrenme ve düşük genelleştirme yeteneğini ortadan kaldırmak amacıyla birden fazla karar ağacının sonucunu birleştiren bir öğrenme modelidir. Burada, verilerin önyükleme örnekleri kullanılarak, toplulukta yer alan karar ağaçları oluşturulur. Güçlendirilmiş karar ağaçları modeli, karar ağacı öğrenme algoritmalarını AdaBoost topluluk yöntemi ile birleştiren bir modeldir (Gilat, 2008).

Gauss süreç regresyonu (Gaussian process regression) algoritması (GPR), öğrenme modelini oluşturmak için az sayıda parametreye dayanan, yüksek başarımlı makine öğrenmesi algoritmaları arasındadır. GPR, oldukça az sayıda verinin varlığında dahi etkin sonuçlar alabilen bir öğrenme algoritmasıdır (Sloan ve Koh, 2007). Çalışma kapsamında, kare üstel GPR, matern 5/2 GPR, üstel GPR ve rasyonel ikinci dereceden GPR modelleri kullanılmıştır.

3. Deneysel Süreç ve Sonuçlar

Bu bölümde, çalışma kapsamında uygulanan deneysel süreç, regresyon algoritmaları ile elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde kullanılan başarımlar ölçütleri ve tuzlu suda metin hidrat oluşum sıcaklığının basınca ve iyon konsantrasyonlarına dayalı özneliklere bağlı olarak belirlenmesinde kullanılan temel regresyon algoritmalarının etkinlikleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir.

3.1. Deneysel Süreç ve Ölçütler

Çalışma kapsamında kullanılan regresyon algoritmalarının gerçekleştirimi MATLAB Regression Learner kullanılarak yapılmıştır. Deneysel sonuçlarda, 10-kat çapraz geçirme kullanılmıştır. Bu yöntem ile veri seti, 10 eşit parçaya ayrılarak, her bir adımda parçalardan bir tanesi modelin sınanmasında, geriye kalan parçalar ise eğitiminde kullanılmıştır.

Regresyon algoritmalarının başarımlarının değerlendirilmesinde, ortalama kare hata (mean square error, MSE), kök ortalama kare hata (root mean square error, RMSE), R-kare, ortalama mutlak hata (mean absolute error, MAE) ölçütleri kullanılmıştır. Buna ek olarak, öğrenme algoritmalarının eğitim süreleri de değerlendirmeye alınmıştır.

Ortalama kare hatası (MSE), bir regresyon modelinin bir dizi noktaya ne kadar yakın olduğunu ölçümleyen bir değerlendirme ölçütüdür. MSE değerinin sıfıra yakın olması, regresyon algoritmasının iyi bir öğrenme modeli oluşturduğunu gösterir. MSE, Eşitlik 5'e göre hesaplanmaktadır (Hodson, 2022):

$$MSE = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n (y_i - y_i^*)^2 \quad (5)$$

Burada, n , örnek sayısını, y_i gerçek değeri, y_i^* ise tahmin edilen değeri temsil etmektedir.

Kök ortalama kare hata (RMSE), regresyon modellerinin değerlendirilmesinde kullanılan bir ölçüttür. RMSE'de tahmin edilen değer ile gerçek değer arasındaki fark standart sapmaya dayalı olarak Eşitlik 6'ya göre hesaplanmaktadır (Hodson, 2022):

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n (y_i - y_i^*)^2} \quad (6)$$

Burada, n , örnek sayısını, y_i gerçek değeri, y_i^* ise tahmin edilen değeri temsil etmektedir. Standartlaştırılmış gözlemler ve tahminler RMSE girdileri olarak kullanıldığında, korelasyon katsayısı ile doğrudan bir ilişki vardır. Korelasyon katsayısı 1 olduğunda, RMSE 0 olmaktadır, yani tüm noktalar regresyon doğrusu üzerindedir ve hata bulunmamaktadır.

Ortalama mutlak hata (MAE), regresyon modellerinin değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan bir ölçüttür. MAE, iki sürekli değişken arasındaki farkı, bu iki değer arasındaki farkların mutlak değerleri

toplamını alarak ölçümler. MAE değerinin düşük olması, tahmin edilen değer ile gerçek değer arasındaki farkın az olduğunu gösterir. MAE, Eşitlik 7'ye göre hesaplanmaktadır (Hodson, 2022):

$$MAE = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n |y_i - y_i^*| \quad (7)$$

Burada, n , örnek sayısını, y_i gerçek değeri, y_i^* ise tahmin edilen değeri temsil etmektedir. Hem MAE hem de RMSE 0 ile ∞ arasında değişebilir ve düşük değerler öğrenme modelinin daha yüksek başarımlı olduğunu gösterir.

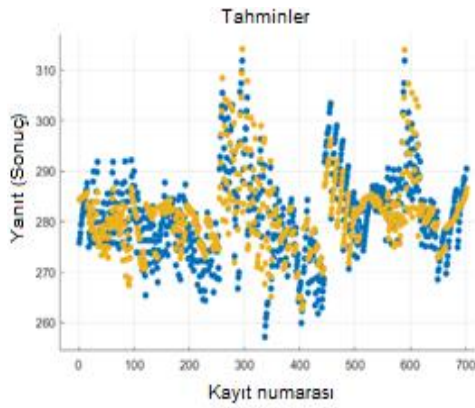
R-kare, regresyon modellerinin değerlendirilmesinde kullanılan diğer bir ölçüttür ve Eşitlik 8'e göre hesaplanmaktadır:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_i^*)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2} \quad (8)$$

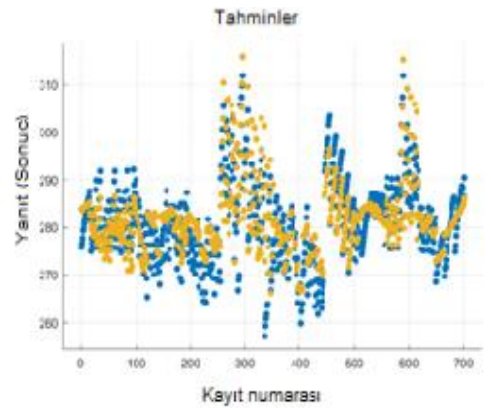
Burada, n , örnek sayısını, y_i gerçek değeri, y_i^* tahmin edilen değeri, μ ise gözlemlenen verilerin ortalamasını temsil etmektedir. R-kare değeri 1'e ne kadar yakınsa, uyum o kadar iyidir. 0'lık bir R-kare değeri, regresyon çizgisinin verilere hiç uymadığını gösterirken, 1'lik bir R-kare değeri, mükemmel bir uyumu gösterir.

3.2. Deneysel Sonuçlar

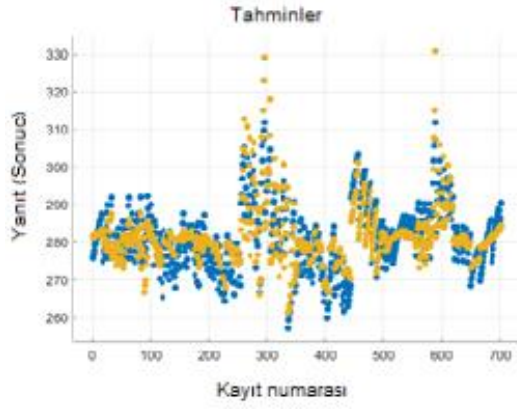
Şekil 1-18'de regresyon algoritmaları ile elde edilen yanıt grafikleri sunulmaktadır. Burada, mavi noktalar, veri setinde yer alan örnekleri, turuncu noktalar ise, öğrenme algoritmasınca elde edilen veri örneklerini temsil etmektedir.



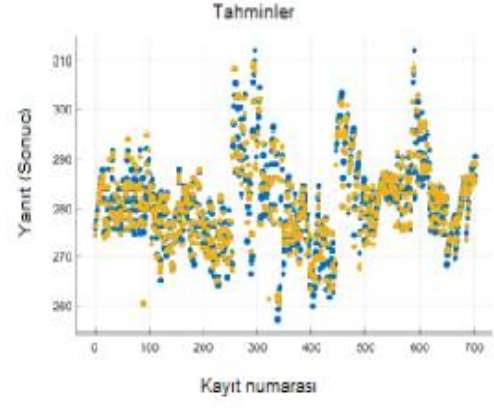
Şekil 1. Doğrusal regresyon yanıt grafiği



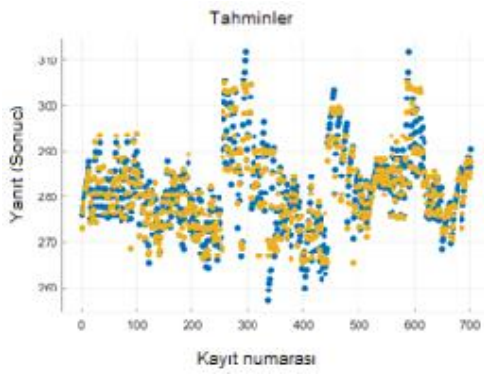
Şekil 2. Sağlam doğrusal regresyon yanıt grafiği



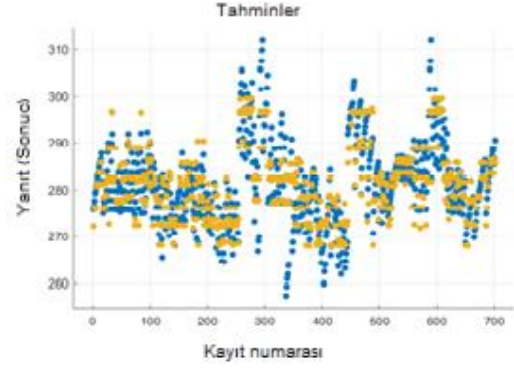
Şekil 3. Kademeli doğrusal regresyon yanıt grafiği



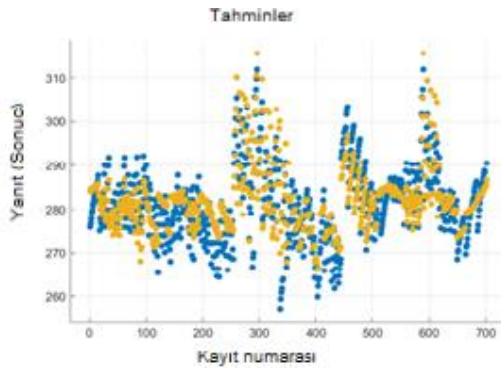
Şekil 4. İnce ağaç yanıt grafiği



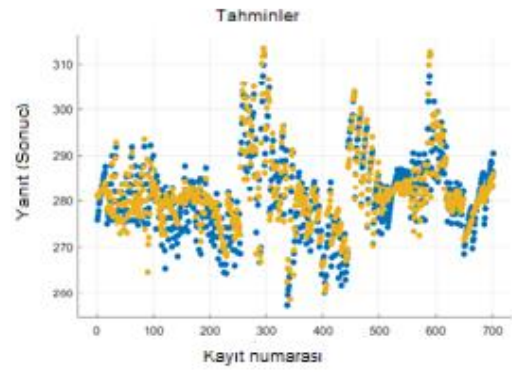
Şekil 5. Orta ağaç yanıt grafiği



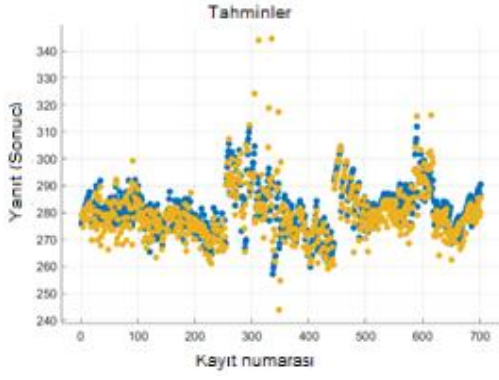
Şekil 6. Kaba ağaç yanıt grafiği



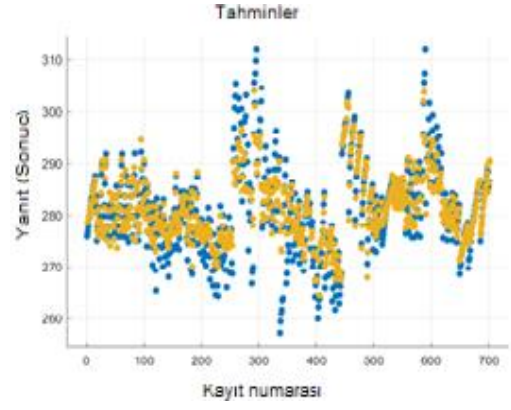
Şekil 7. SVM (Doğrusal) yanıt grafiği



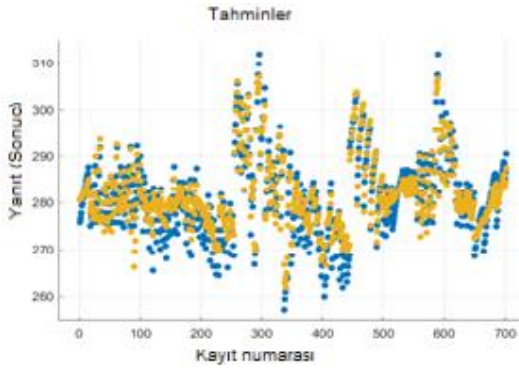
Şekil 8. SVM (İkinci dereceden) yanıt grafiği



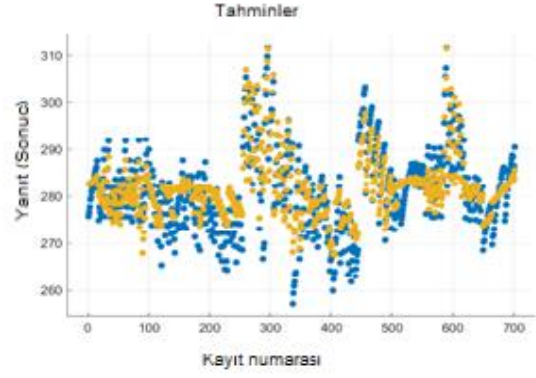
Şekil 9. SVM (Üçüncü dereceden) yanıt grafiği



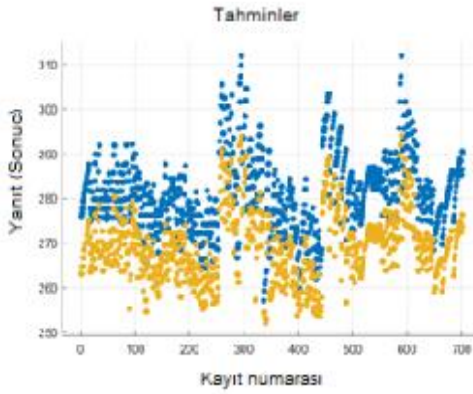
Şekil 10. SVM (ince Gauss) yanıt grafiği



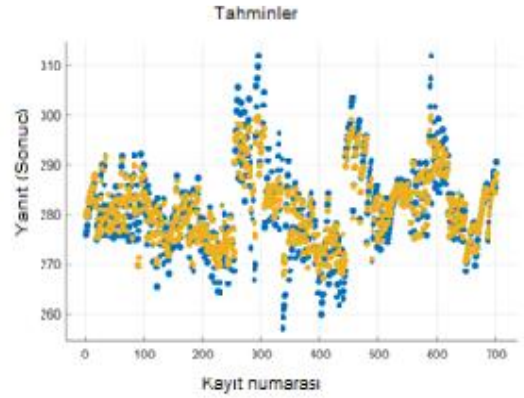
Şekil 11. SVM (orta Gauss) yanıt grafiği



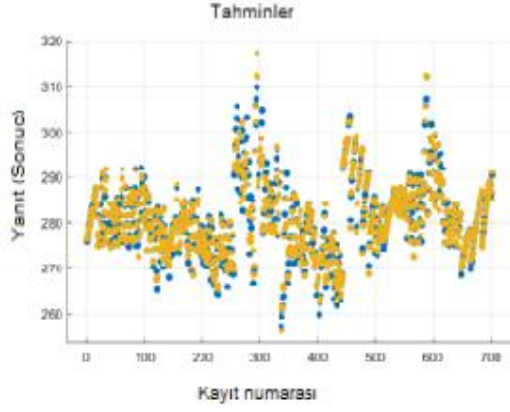
Şekil 12. SVM (kaba Gauss) yanıt grafiği



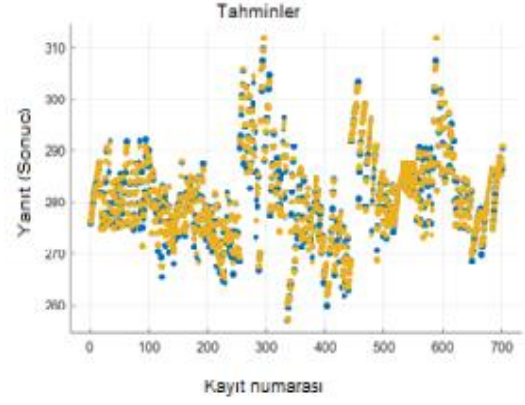
Şekil 13. Önyüklemeli karar ağaçları yanıt grafiği



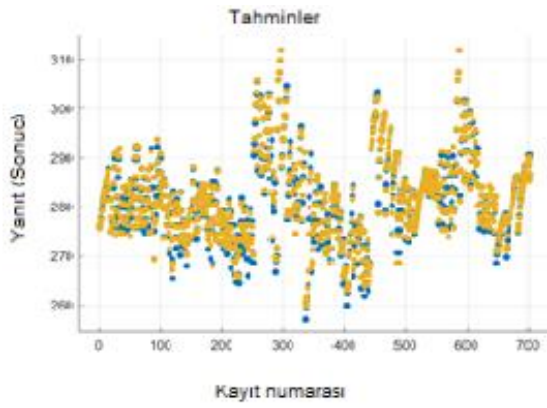
Şekil 14. Güçlendirilmiş karar ağaçları yanıt grafiği



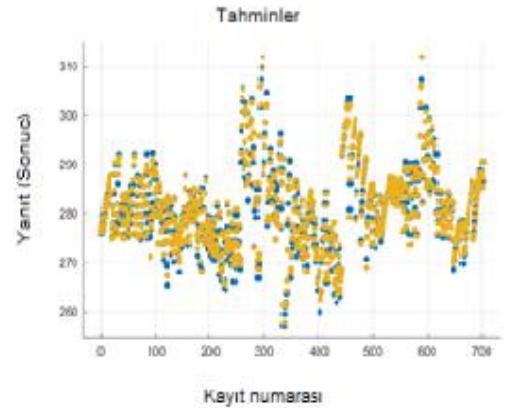
Şekil 15. Kare üstel GPR yanıt grafiği



Şekil 16. Matern 5/2 GPR yanıt grafiği



Şekil 17. Üstel GPR yanıt grafiği



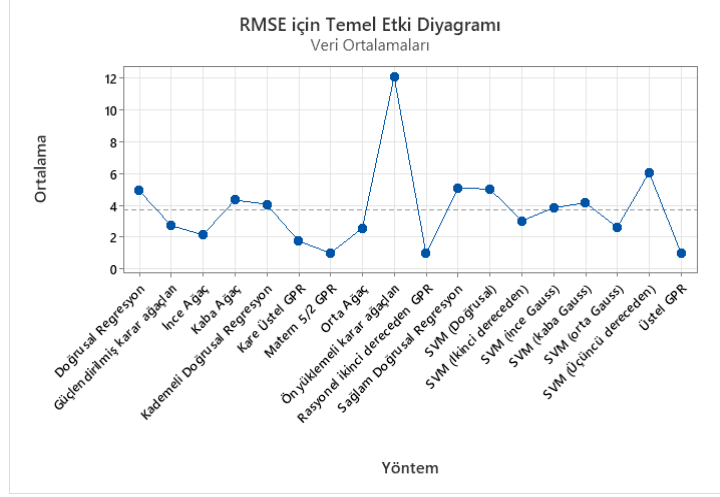
Şekil 18. Rasyonel ikinci dereceden GPR yanıt grafiği

Tablo 2. Regresyon algoritmaları ile elde edilen deneysel sonuçlar

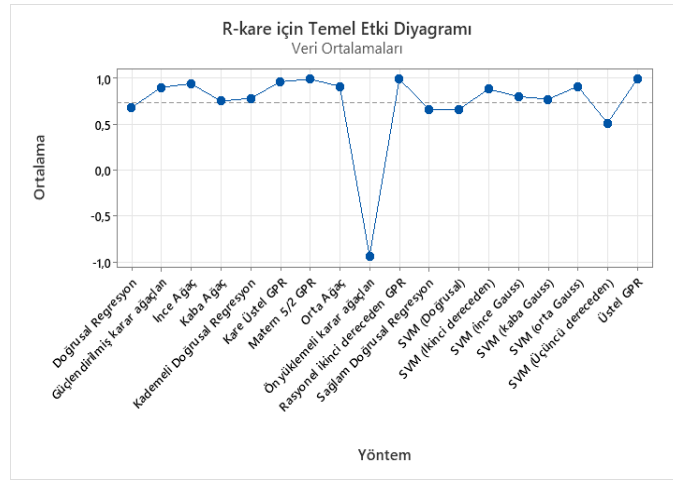
Yöntem	RMSE	R-kare	MSE	MAE	Eğitim Süresi (sn)
Doğrusal Regresyon	4,9028	0,6800	24,0380	3,9489	0,3289
Sağlam Doğrusal Regresyon	5,0441	0,6600	25,4430	3,9050	0,3823
Kademeli Doğrusal Regresyon	4,0539	0,7800	16,4340	3,2810	11,6230
İnce Ağaç	2,1297	0,9400	4,5356	1,3477	0,2202
Orta Ağaç	2,5461	0,9100	6,4826	1,8254	0,1740
Kaba Ağaç	4,3176	0,7500	18,6420	2,9332	0,1595
SVM (Doğrusal)	5,0223	0,6600	25,2240	3,9219	1,0306
SVM (İkinci dereceden)	3,0047	0,8800	9,0283	2,4032	48,0880
SVM (Üçüncü dereceden)	6,0539	0,5100	36,6500	3,9893	85,4100
SVM (ince Gauss)	3,8297	0,8000	14,6660	2,1297	0,2673
SVM (orta Gauss)	2,5953	0,9100	6,7357	1,9324	0,2566
SVM (kaba Gauss)	4,1478	0,7700	17,2040	3,2730	0,2448

Önyüklemeli karar ağaçları	12,0780	-0,9400	145,8700	11,9390	1,5263
Güçlendirilmiş karar ağaçları	2,7168	0,9000	7,3810	1,8089	1,6012
Kare Üstel GPR	1,7390	0,9600	3,0241	0,9542	5,1411
Matern 5/2 GPR	0,9850	0,9900	0,9703	0,6290	5,9258
Üstel GPR	0,9964	0,9900	0,9929	0,6065	6,4347
Rasyonel ikinci dereceden GPR	0,9517	0,9900	0,9058	0,6066	12,4100

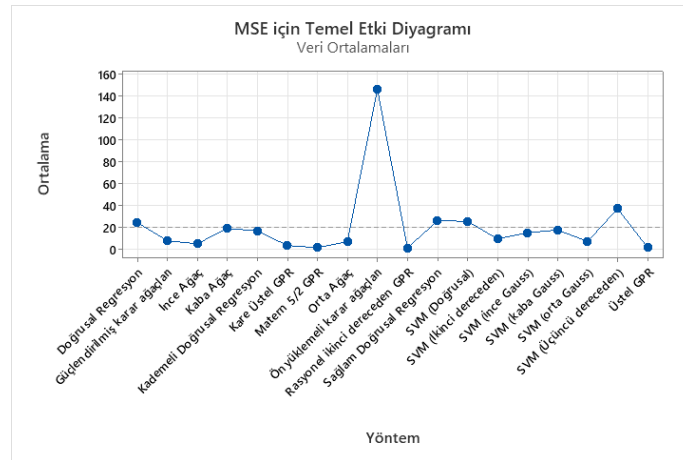
Tablo 2’de deneysel analizlerde kullanılan regresyon algoritmaları ile değerlendirme ölçütlerinde elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Karşılaştırılan yöntemler arasında, en iyi R-kare, RMSE ve MSE değerleri, rasyonel ikinci dereceden GPR yöntemi ile elde edilmektedir. Çalışma kapsamında ele alınan doğrusal regresyon tabanlı modeller arasında en iyi sonucun kademeli doğrusal regresyon algoritması ile alındığı görülmektedir. Sağlam doğrusal regresyon algoritması ise, doğrusal regresyon algoritmasına kıyasla daha düşük sonuçlar vermektedir. Çalışma kapsamında ele alınan ağaç tabanlı sınıflandırma algoritmaları arasında en iyi sonuç ince ağaç modeli ile alınmaktadır. İnce ağaç modelini orta ağaç modeli takip etmektedir. Deneysel analizlerde dikkate alınan destek vektör makineleri tabanlı modeller arasında en yüksek başarımlı SVM (orta Gauss) modeli ile alınmaktadır. Bu modeli, ikinci dereceden SVM modeli takip etmektedir. Çalışma kapsamında dikkate alınan topluluk yöntemleri incelendiğinde, önyüklemeli karar ağaçları modelinin oldukça performans gösterdiği, buna karşın, güçlendirilmiş karar ağaçları modeli ile yüksek performans elde edildiği görülmektedir. Çalışmada ele alınan tüm yöntemler arasında, Gauss süreç regresyonu tabanlı modellerin diğer yaklaşımlara kıyasla daha yüksek başarımlı sonuçları elde ettiği gözlenmektedir. Eğitim süreleri bakımından incelendiğinde ise, doğrusal regresyon, sağlam doğrusal regresyon, ince ağaç, orta ağaç, kaba ağaç ile bazı SVM tabanlı modellerin eğitim sürelerinin diğer yöntemlere kıyasla düşük olduğu görülmektedir. Tablo 2’de sunulan regresyon algoritmalarına ilişkin sonuçlar, tuzlu suda metin hidrat oluşum sıcaklığının basınca ve iyon konsantrasyonlarına dayalı özneliklere bağlı olarak tahmin edilmesinde makine öğrenmesi algoritmalarının başarıyla uygulanabileceğini göstermektedir. Tablo 2’de sunulan R-kare değerlerine bakıldığında, GPR tabanlı modellerin yüksek başarımlı regresyon modelleri elde ettiği görülmektedir.



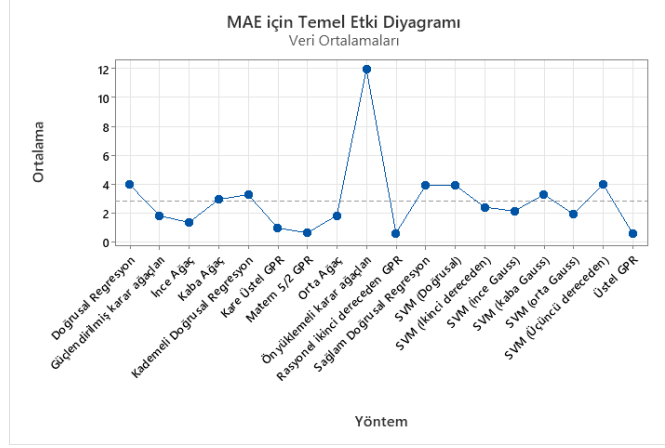
Şekil 19. RMSE için temel etki diyagramı



Şekil 20. R-kare için temel etki diyagramı



Şekil 21. MSE için temel etki diyagramı



Şekil 22. MAE için temel etki diyagramı

Çalışma kapsamında ele alınan değerlendirme ölçütlerinin farklı makine öğrenmesi algoritmalarına bağlı değişimini özetlemek amacıyla Şekil 19-22’de sırasıyla RMSE, R-kare, MSE ve MAE ölçütleri için temel etki diyagramları sunulmaktadır. Şekil 19’da sunulan RMSE değerleri incelendiğinde, en iyi (en düşük) RMSE değerinin rasyonel ikinci dereceden GPR yöntemi ile (RMSE: 0,9517) elde edildiği görülmektedir. Bu yöntemi, Matern 5/2 GPR yöntemi (RMSE: 0,9850) izlemektedir. En kötü (en yüksek) RMSE değeri ise önyüklemeli karar ağacı (RMSE: 12,0780) ile elde edilmektedir. Bu nedenle, RMSE değerleri bakımından en iyi ve en kötü yöntemler arasında anlamlı bir farklılık gözlenmektedir. Şekil 20’de sunulan R-kare değerleri incelendiğinde, önyüklemeli karar ağaçları yöntemi ile elde edilen R-kare değerinin, diğer yöntemler ile elde edilen R-kare değerleri ile önemli ölçüde farklılaştığı ve en düşük değer (R-kare: -0,94) bu yöntem ile alındığı görülmektedir. Şekil 20’de sunulan R-kare değerlerine göre, GPR algoritmasına dayalı yöntemler, R-kare değerleri bakımından en iyi (en yüksek) değerleri vermektedir. Matern 5/2 GPR, üstel GPR ve rasyonel ikinci dereceden GPR yöntemi ile (R-kare: 0,9900) değeri alınmaktadır. Şekil 21’de özetlenen MSE değerlerine bakıldığında, Şekil 19 ve Şekil 20’de sunulan ölçüt değerlerinde olduğu gibi, en kötü ölçüt değerlerinin önyüklemeli karar ağacı algoritması ile elde edildiği görülmektedir. En iyi sonuçlar ise genellikle GPR tabanlı yöntemler ile elde edilmektedir. Şekil 22’de sunulan MAE değerleri incelendiğinde, diğer ölçütlerde elde edilen sonuçlar ile benzer şekilde, önyüklemeli karar ağaçları yöntemi ile elde edilen MAE değerinin, diğer yöntemlerden önemli ölçüde farklılaştığı ve (MAE: 11,939) değeri ile en kötü (en yüksek) değerin alındığı gözlenmektedir. Çalışma kapsamında, ele alınan problemin modellenmesinde kullanılan makine öğrenmesi regresyon algoritmalarından, GPR tabanlı olanların ele alınan problem için yüksek başarılı modeller olduğu, önyüklemeli karar ağaçları yönteminin ise uygun olmadığı gözlenmektedir.

4. Sonuçlar

Petrol ve gaz boru hatlarında akış sürekliliğini etkileyen en kritik konulardan biri hidrat oluşumudur. Hidrat oluşumu hem güvenlik hem de ekonomi için tehlikeli olabilecek boruların tıkanmasına neden olabilir. Sonuç olarak, hidrat oluşumu ve bozunma koşullarının belirlenmesi ve analiz edilmesi kritik

bir bilimsel zorluktur. Bu çalışma kapsamında, metan hidrat oluşum koşullarının incelenmesi ve analizi problemi bir makine öğrenmesi problemi olarak modellenmiştir. Bu doğrultuda, doğrusal regresyon, karar ağacı, destek vektör makineleri, Gauss süreç regresyonu algoritmalarına dayalı on sekiz temel makine öğrenmesi algoritmasının etkinliği değerlendirilmiştir. Deneysel analizlerde kullanılan makine öğrenmesi algoritmaları ile oluşturulan modellerde ortalama mutlak hata için (RMSE= 0,9517), R-kare ölçütü için (R-kare=0,99), ortalama kare hatası ölçütü için (MSE=0,9058) ve ortalama mutlak hata ölçütü için (MAE=0,6065) değerleri elde edilmektedir. 1951-2000 yılları arasında yayınlanan bilimsel çalışmalardan elde edilen verilere göre yapılan analizler, makine öğrenmesi algoritmalarının oluşum koşullarının tahmin edilmesi ve analizinde geleneksel kimyasal/termodinamik modellere kıyasla daha yüksek tahminleme başarımı elde edebildiğini göstermektedir. Deneysel analizlerde kullanılan tüm algoritmalar arasında en yüksek sonuçlar genellikle Gauss süreç regresyonu tabanlı algoritmalar ile alınmaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağladıklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Alireza B. Investigation of predictive methods of gas hydrate formation in natural gas transmission pipelines. *Advanced Journal of Chemistry, Section B* 2020; 2(3): 91-101.
- Anzali S., Berthold MR., Fioravanzo E., Neagu D., Péry ARR., Worth AP., Yang C., Cronin MTD., Richarz AN. Development of computational models for the risk assessment of cosmetic ingredients. *IFSCC Magazine* 2012; 15(4): 249-255.
- Beck VL. *Linear regression: Models, Analysis & Applications*. Hauppauge, NY: Nova Science: 2017.
- Bhattacharjee G., Goh MN., Arumuganainar SEK., Zhang Y., Linga P. Ultra-rapid uptake and the highly stable storage of methane as combustible ice. *Energy&Environmental Science* 2020; 13(12): 4946–4961.
- Boullart L., Krijgsman R., Vingerhoeds RA. *Application of artificial intelligence in process control* Pergamon Press, Oxford, 1992.
- Chen GJ., Guo TM. A new approach to gas hydrate modelling. *Chemical Engineering Journal* 1998; 71(2): 145-151.
- Dholabhai PD., Kalogerakis N., Bishnoi PR. Kinetics of methane hydrate formation in aqueous electrolyte solutions. *Chemical Engineering Journal*; 1993; 71(1): 68–74.
- EIA. *Annual Energy Outlook 2020 with projections to 2050*. U.S. Energy Information Administration. 2020; 162. <https://www.eia.gov/aeo> (Erişim tarihi: 3 Mart 2022).

- Elyashberg ME., Blinov KA., Molodtsov SG., Williams A J. Elucidating “undecipherable” chemical structures using computer assisted structure elucidation approaches. *Magnetic Resonance in Chemistry* 2012; 50: 22-27.
- Gasteiger J. Chemistry in times of artificial intelligence. *ChemPhysChem*, 2020; 21(20): 2233-2242.
- Gilat A. *MATLAB: An Introduction with applications*, 3rd ed. Chichester, England: John Wiley & Sons, 2008.
- Gudmundsen J., Borrehaug A. Frozen hydrate for transport of natural gas. *Second International Symposium on Gas Hydrates*; Toulouse, 1996; 415–422.
- Hammerschmidt EG. Formation of gas hydrates in natural gas transmission lines. *Industrial & Engineering Chemistry*, 1934; 26(8): 851–855.
- Hodson TO. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): when to use them or not. *Geosci. Model Dev. Discuss*, 2022.
- Inkong K., Yodpetch V., Kulprathipanja S., Rangsunvigit P., Linga P. Influences of different co-promoters on the mixed methane hydrate formation with salt water at moderate conditions. *Fuel*, 2022; 316(6): 123215.
- Jiafang X., Shuai D., Yongchao H., Xuefeng Y., Jun Z. Molecular simulation study of methane hydrate formation mechanism in NaCl solutions with different concentrations. *Chemical Physics*, 2021; 551: 111323.
- John V., Papadoupoulos K., Holder G. A generalized model for predicting equilibrium conditions for gas hydrates. *AIChE Journal* 1985; 31(2): 252-259.
- Kantardzic M., *Data mining: Concepts, models, methods, and algorithms*. 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 2011.
- Le T., Epa VC., Burden FR., Winkler DA. Quantitative structure–property relationship modeling of diverse materials properties. *Chemical Reviews* 2012; 112: 2889-2919.
- Lu H., Matsumoto R., Tsuji Y., Oda H. Anion plays a more important role than cation in affecting gas hydrate stability in electrolyte solution- A recognition from experimental results. *Fluid Phase Equilibria*, 2001; 178(1-2): 225–232.
- Lv Q., Zang X., Li X., Li G. Effect of seawater ions on cyclopentane-methane hydrate phase equilibrium. *Fluid Phase Equilibria* 2018; 458: 272–277.
- Mak KK., Pichika MR. Artificial intelligence in drug development: present status and future prospects. *Drug Discovery Today*, 2019; 24: 773-780.
- Montgomery DC., Peck EA. *Introduction to linear regression analysis*. 3rd ed. Nashville, TN: John Wiley & Sons, 2001.
- Ng HJ., Robinson DB. The prediction of hydrate formation in condensed systems. *AIChE Journal* 1977; 23(4): 477-482.
- Onan A. Şirket iflaslarının tahminlenmesinde karar ağacı algoritmalarının karşılaştırmalı başarımları analizi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*. 2015; 8(1).

- Onan A., Korukoğlu S., Bulut H. Ensemble of keyword extraction methods and classifiers in text Classification. *Expert Systems with Applications*, 2016; 57: 232–247.
- Pandey G., Veluswamy HP., Sangwai J., Linga P. Morphology study of mixed methane-tetrahydrofuran hydrates with and without the presence of salt. *Energy Fuels* 2019; 33(6): 4865–4876.
- Rasmussen A., Williams CKI. *Gaussian processes for machine learning*. London, England: MIT Press, 2019.
- Rousseeuw PJ., Leroy AM. *Robust regression and outlier detection*. 1st ed. Nashville, TN: John Wiley & Sons, 2005.
- Sabil KM., Roman VR., Witkamp GJ., Peters CJ. Experimental observations on the competing effect of tetrahydrofuran and an electrolyte and the strength of hydrate inhibition among metal halides in mixed CO₂ hydrate equilibria. *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 2010; 42(3): 400–408.
- Sapag K., Vallone A., Blanco AG., Solar C. Adsorption of methane in porous materials as the basis for the storage of natural gas. In: Potocnik P, editor *Natural Gas* New York: IntechOpen, 2010; 205–44.
- Schleifer KJ. In *modern methods in crop protection research* (Eds. P. Jeschke, W. Krämer, U. Schirmer, W. Witschel), Wiley-VCH, Weinheim, 2012; 21-41.
- Sloan D., Koh E. *Clathrate hydrates of natural gases*. 3rd ed.; CRC Press: US, 2007; 20074156.
- Sun S., Zhao J., Yu D. Dissociation enthalpy of methane hydrate in salt solution. *Fluid Phase Equilibria* 2018; 456: 92–97.
- Technology partner for innovative companies. *Machine Learning and AI in Food Industry Solutions and potential*, <https://spd.group/machine-learning/machine-learning-and-ai-in-foodindustry/> (Son Erişim: 10 Haziran 2020).
- Van der Waals J. Clathrate solutions. *Advances in Chemical Physics*., 1959; 2: 1-57.
- Veluswamy HP., Kumar A., Kumar R., Linga P. Investigation of the kinetics of mixed methane hydrate formation kinetics in saline and seawater. *Applied Energy* 2019; 253: 113515.
- Walsh MR., Hancock SH., Wilson SJ., Patil SL., Moridis GJ., Boswell R., Collett TS., Koh CA., Sloan E.D. Preliminary report on the commercial viability of gas production from natural gas hydrates. *Energy Economics* 2009; 31(5): 815–823.
- Wang F., Liu GQ., Meng HL., Guo G., Luo SJ., Guo RB. Improved methane hydrate formation and dissociation with nanosphere-based fixed surfactants as promoters. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 2016; 4(4): 2107-2113.
- Wang X., French J., Kandadai S., Chua HT. Adsorption measurements of methane on activated carbon in the temperature range (281 to 343) K and pressures to 1.2 MPa. *Journal of Chemical & Engineering Data* 2010; 55(8): 2700–2706.
- Wang ZY., Zhao Y., Sun B., Chen L., Zhang J., Wang X. Modeling of hydrate blockage in gas-dominated systems. *Energy&Fuels* 2016; 30(6): 4653-4666.

- Xu H., Jiao Z., Zhang Z., Huffman M., Wang Q. Prediction of methane hydrate formation conditions in salt water using machine learning algorithms. *Computers & Chemical Engineering* 2021; 151, 107358.
- Yevi GY., Rogers RE. Storage of fuel in hydrates for natural gas vehicles (NGVs). *Journal of Energy Resources Technology* 1996; 118: 209–213.
- Zupan J., Novic M., Li X., Gasteiger J. Classification of multicomponent analytical data of olive oils using different neural networks. *Analytica Chimica Acta* 1994; 292: 219-234.
- Zuo L., Zhao S., Ma Y., Jiang F., Zu Y. Natural gas hydrate prediction and prevention methods of city gate stations. *Mathematical Problems in Engineering* 2021; Article ID 5977460, 10 pages.



Dikdörtgen Kanatlı Yüzeyler Üzerindeki Isı Transfer Karakteristiklerinin Taguchi Yöntemiyle Deneysel Olarak İncelenmesi

Onur YEMENİCİ^{1*}

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16000, Bursa

¹<https://orcid.org/0000-0003-0011-8343>

*Sorumlu yazar: oseckin@uludag.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 23.01.2024

Kabul tarihi: 21.05.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Dikdörtgen kanat
Taguchi yöntemi
Stanton sayısı
Isı transferi
Rüzgar tüneli

ÖZ

Bu çalışmada ısıtılmış dikdörtgen kanatlı yüzeyler üzerinden akışta akış hızı, kanat yüksekliği ve kanat sayısının ısı transferi üzerindeki etkileri Taguchi yöntemiyle deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler 12, 18 ve 24 mm kanat yüksekliğinde ardışık 7, 8 ve 9 adet kanada sahip yüzeyler üzerinden 3, 10 ve 15 m/s akış hızları için düşük hızlı bir rüzgâr tüneline yapılmıştır. Serbest akış ve duvar sıcaklıkları termal çiftler ile ölçülmüş ve performans parametresi olarak Stanton sayısı dikkate alınmıştır. Deneysel plan olarak L9 ortogonal dizisi seçilmiş ve sonuçlar sinyal-gürültü (S/N) oranı ve ANOVA yöntemi kullanılarak en uygun koşullar açısından analiz edilmiştir. Kanatlı yüzeyler üzerinde akışta ısı transferi kanat yüksekliği, kanat sayıları ve akış hızıyla artmıştır. Isı transferini artırmak için en etkili parametre sırasıyla akış hızı ve kanat yüksekliği iken, kanat sayısı en az etkili parametre olarak belirlenmiştir. En iyi sonuç 9 adet 24 mm kanat yüksekliğine sahip yüzey üzerinde 15 m/s akış hızında elde edilmiştir.

Experimental Investigation of Heat Transfer Characteristics over Rectangular Fin Surfaces by Taguchi Method

Research Article

Article History:

Received: 23.01.2024

Accepted: 21.05.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

Rectangular fin
Taguchi method
Stanton number
Heat transfer
Wind tunnel

ABSTRACT

In this study, the effects of flow velocity, fin height, and the number of fins on heat transfer over heated rectangular fin surfaces were experimentally investigated using the Taguchi method. Experiments were conducted in a low-speed wind tunnel with surfaces having consecutive 7, 8 and 9 fins with heights of 12, 18 and 24 mm, and for flow velocities of 3, 10, and 15 m/s. Free stream and wall temperatures were measured with thermocouples, and the Stanton number was considered as the performance parameter. An L8 orthogonal array was chosen as the experimental design, and the results were analyzed in terms of signal-to-noise (S/N) ratio and the analysis of variance (ANOVA) method to determine the optimal conditions. Heat transfer over fin surfaces increased with fin height, fin numbers, and flow velocity. While the most effective parameters in increasing heat transfer were flow velocity and fin height, respectively, the least effective parameter was determined as the number of fins. The optimal result was obtained with 9 fins of 24 mm height on the surface at a flow velocity of 15 m/s.

To Cite: Yemenici O. Dikdörtgen Kanatlı Yüzeyler Üzerindeki Isı Transfer Karakteristiklerinin Taguchi Yöntemiyle Deneysel Olarak İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(5): 2084-2093.

1. Giriş

Dikdörtgen kanatlı yüzeyler üzerindeki akış ve ısı transferi analizleri birçok mühendislik problemi ve tasarımı için büyük önem taşımaktadır. Kanatlar akışta ayrılma-yeniden birleşmeden kaynaklanan akış kararsızlığı ve daha büyük ısı transfer alanı yaratarak ısı transferini arttırmakta ve daha az enerji tüketimine yol açmaktadır. Bu nedenle elektronik devreler, soğutma kanalları, biyomedikal sistemler gibi birçok uygulama alanında kanatlı yüzeyler aktif olarak kullanılmaktadır. Kanatlı yüzeyler üzerinde akış ve ısı transferi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Kim ve Anand (1994), yüzey monteli ısı kaynaklarına sahip bir dizi paralel levha arasındaki türbülanslı ısı transferini incelemiş ve yüzeylerin ortalama ısı transferinin Reynolds sayısı ile arttığını bildirmiştir. Chomdee ve Kiatsiriroat (2007), bir elektronik modül dizisinin giriş bölgesinde delta kanatçık vorteks jeneratörleri ile ısı transferini arttırmak için bir çalışma yapmıştır. Naik ve ark. (1999), kanatlı yüzeylerin ısı transferi üzerindeki etkilerini inceledi ve kanat yüksekliği ile ısı transfer oranlarının arttığını bildirmiştir. Bilen ve Yapıcı (2001), dikdörtgen bir kanal içerisine yerleştirilen türbülans artırıcıların farklı düzenlemelerinin ısı transferi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Herman ve Kang (2001), oluklu bir kanalın zorlanmış taşınım ile soğutulması için üç farklı ısı transferi artırma stratejisinin sonuçlarını incelemişler ve paralel levha kanalına kıyasla oluklu kanalın ısı transferini artırdığını bulmuşlardır. Ryu ve ark. (2007a, 2007b) iki boyutlu kanatlara ve üç boyutlu bloklara sahip kanallardaki türbülanslı akışın akış ve ısı transfer karakteristiklerini iki ayrı çalışma ile incelemişlerdir. Sonuç olarak blok düzenlemelerinin akış karakteristiklerini önemli ölçüde etkilediğini ve ısı transferini artırdığını belirtmişlerdir. Isı üreten bloklara sahip bir kanaldaki iki boyutlu zorlanmış taşınım Tsay ve Cheng (2008) tarafından incelenmiş ve ısı transferinin blok yüksekliği arttıkça arttığı tespit edilmiştir. Yemenici ve ark. (2012, 2017), bloklu yüzeyler üzerinden laminer ve türbülanslı akışta blok yükseklikleri ile akış hızlarının akış ve ısı transferi karakteristikleri üzerindeki etkilerini deneysel ve nümerik olarak iki ayrı çalışmada incelemişlerdir. Son yıllarda deney tasarımı ve kalite kontrolü konularında Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem çeşitli parametrelerin ve seviyelerinin sistematik bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Maksimum anlamlı verinin minimum zaman ve maliyetle toplanmasının yanı sıra sistemin performansını belirleyen faktörlerin etkileşimi ve optimum parametre ayarları da bu metotla belirlenebilir. Bu nedenle Taguchi deneysel tasarım yöntemi literatürde etkin olarak kullanılmaya başlanmıştır. Arslanoglu ve Yiğit (2016) yaptıkları çalışmada aydınlatma lambalarının ışınımının insan termal konforu üzerinde etkisini Taguchi yöntemini kullanarak araştırmışlardır. Comakli ve ark. (2009) ısı pompalarında R22 ve R404A soğutucu karışımlarının optimum çalışma koşullarının belirlenmesi için yine Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Türkan (2022) Taguchi metodu kullanılarak mürekkep püskürtülmesinin optimizasyon analizini yapmıştır. Witcher ve ark. (2017) Taguchi L9 ortogonal dizisi kullanarak düşük hızlı bir kanat tasarımının aerodinamik analizini gerçekleştirmiştir.

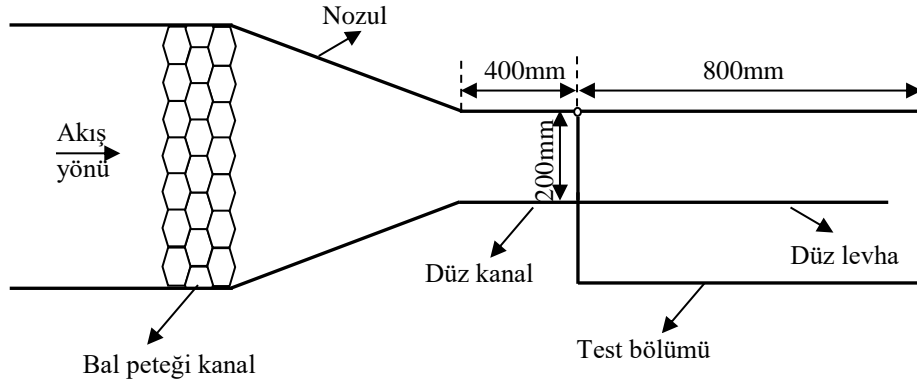
Literatürde kanatlı yüzeyler üzerinden akışta akış ve ısı transferi ile ilgili yapılan araştırmalar, akışın karmaşıklığından dolayı, ya akış şartları ya da kanat geometrisinin etkilerini incelemek üzerinedir.

Mevcut çalışmada hem akış şartları hem de kanat geometrisi değiştirilerek bu açığın kapanması amaçlanmaktadır. Akış hızı, kanat yüksekliği ve kanat sayısının ısı transferi üzerindeki bileşik etkileri deneysel olarak incelenmiş ve ısı transferi artış miktarı üzerinde bu parametrenin etkileri Taguchi yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Böylece her bir parametrenin ısı transferi artış miktarına olan katkılarını aynı anda değerlendirilmiş ve tasarımda öncelikli parametreler belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deneysel Yöntem

Bu çalışmada tüm deneyler Şekil 1’ de gösterilen üflemeli tip düşük hızlı bir rüzgar tüneline gerçekleştirilmiştir. Test bölümünün girişindeki maksimum akış hızı 30 m/s ve türbülans yoğunluğu %0,7’ dir. Akış hızı 6 kW’ lık rüzgar tüneli içindeki bir kelebek vanayla kontrol edilmektedir. Test bölümüne girmeden önce hava 305 x 305 mm² kesit alanına ve 150 mm kalınlığına sahip olan bir bal peteği kanal, 1.5:1 daralma oranına sahip bir nozul ve 305 x 305 mm² çıkış alanına sahip 400 mm uzunluğundaki bir düzeltme kanalı içinden geçmektedir. Pleksiglas test bölümünün giriş alanı 200 x 305 mm² ve uzunluğu 800 mm’ dir.

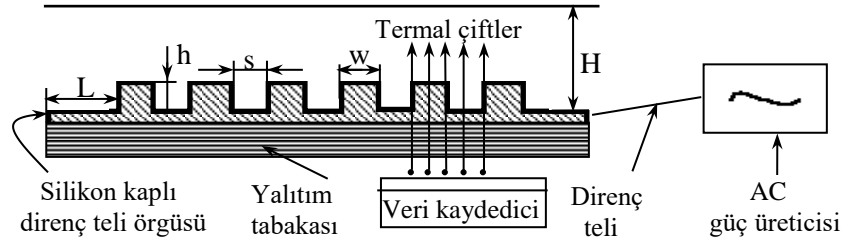


Şekil 1. Rüzgar tüneli ve test bölümünün şematik gösterimi

Deneyler 240 mm genişliğinde ve 750 mm uzunluğundaki bakır bir düz levha ve bu düz levhalardan elde edilen 9 farklı konfigürasyona sahip dikdörtgen kanatlı yüzeyler ile gerçekleştirilmiştir. Kanatlı yüzeyler kanat yükseklikleri (h) 12, 18 ve 24 mm alınarak, 7, 8 ve 9 adet ardışık kanatlardan oluşturulmuştur. Test bölümünün genişliği (W) ve yüksekliği (H), kanat genişliği (w), kanatlar arasındaki boşluklar (s) ve test bölümünün girişinden ilk kanada kadar olan uzunluk (L) tüm ölçümler boyunca sırasıyla 240, 200, 30, 30 ve 60 mm olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada kanat yükseklikleri uygulamada kullanılan gerçek kanat yükseklikleri göz önüne alınarak seçilirken, kanat sayıları deney düzeneğine uyumlu olacak şekilde seçilmiştir. Literatürde en iyi ısı transfer performansı en büyük kanat yüksekliği ve en fazla kanat sayısı ile elde edilmektedir. Ancak büyük kanat yüksekliğinin uygulama alanları sınırlıdır ve kanat sayısının etkisi de akış yüzeyi boyunca azalmaktadır.

Tüm sıcaklıklar yüzeylerin altına monte edilmiş bakır-constant termal çiftler ve bir veri kaydedici ile ölçülmüştür. Şekil 2’ de gösterildiği gibi, kanatlı yüzeylerin alt yüzeyi sabit ısı akışı elde etmek için 0.1

mm çapında silikon kaplı krom-nikel dirençli tel örgü ile kaplanmış ve ardından ısı kaybını minimize etmek amacıyla bir yalıtım tabakası ile örtülmüştür. Düz levha üzerindeki sıcaklık ölçümleri akış yönünde 30, 60, 180, 300, 420, 540 ve 660 mm mesafesinde olmak üzere yedi ölçüm noktasında yapılmıştır. Kanatlı yüzeylerde ise termal çiftler her bir kanadın üst yüzeyine eşit aralıklı üçer adet, kanatlar arasındaki tüm boşluklarda birer adet ve ilk kanatların önünde bir adet olacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 2. Kanatlı yüzey konfigürasyonu ve termal çiftlerin detayı

Düz ve kanatlı yüzeylerde ısı taşınım katsayıları ve buna bağlı olarak Stanton sayıları sırasıyla

$$h=q/(T_w-T_0)$$

(1)

$$St=h/\rho U C_p$$

(2)

formülleri kullanılarak hesaplanmıştır. Burada net ısı akısı (q), aynı yüzey sıcaklığını elde etmek için akış varken ($q_f=V_f I_f/A$) ve akış olmadığında elde edilen ısı akısı ($q_o=V_o I_o/A$) farkını temsil etmektedir. V ve I ise sırasıyla voltaj ve akım değerlerini ifade etmektedir. Kanatlı yüzeyler üzerinden elde edilen deneysel Stanton sayıları, düz yüzey deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Belirsizlik analizi için Kline ve McClintock (1953) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır. Sıcaklık ölçümlerinden elde edilen maksimum belirsizlik oranı $\pm\%2.5$ iken, bu ölçümler kullanılarak hesaplanan Stanton sayısındaki maksimum belirsizlik $\pm\%3.5$ olarak hesaplanmıştır.

2.2. Taguchi Yöntemi

Taguchi yöntemi deney tasarım için ortogonal dizileri kullanarak, gerekli verileri minimum zaman ve maliyetle elde ederek verimliliğe katkı sağlamaktadır. Bu yöntemde elde edilen deney sonuçları, sinyal/gürültü (S/N) değerlerine dönüştürülerek değerlendirilir. S/N değeri, kalite değişkeninin hedef türüne göre "daha küçük, daha iyi", "daha büyük, daha iyi", "nominal, en iyi" olmak üzere üç farklı şekilde hesaplanıp analiz edilir. Bu çalışmada çıkış değişkeni Stanton sayısı (St) olduğu için Eşitlik (3)' de verilen "daha büyük, daha iyi" türündeki S/N denklemi kullanılmıştır.

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$$

(3)

Burada; n gözlem sayısını ve y gözlemlenen verileri ifade etmektedir. Parametrelerin etkilerini değerlendirmek için ortalama değerler, sinyal/gürültü (S/N) oranları ve varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. ANOVA, incelenen değişkenlerle oluşturulan ve çıkış değişkenindeki varyasyonu açıklamak amacıyla kurulan bir regresyon modeline uygulanmıştır. Bu yöntemle, Lock ve ark. (2017) tarafından belirtildiği gibi, hangi parametrelerin etkili olduğu ve değişkenliği açıklamaya ne kadar katkıda buldukları belirlenmiştir.

Mevcut çalışmada, dikdörtgen kanatlı yüzeyler üzerinden akışta ısı transferini arttırmak amacıyla kanat yüksekliği, akış hızı ve kanat sayısı olmak üzere üç parametreyi optimize etmek için Taguchi yöntemi kullanılmıştır. Böylece en yüksek ısı transferinin elde edildiği en uygun parametre seti bulunmuştur. 3 parametrenin 3 seviyede incelenmesi amacıyla tam faktöriyel bir deney planı kullanılırsa, her bir model için $3^3 = 27$ adet deney yapmak gerekmektedir. Ancak bu çalışmada, Taguchi L9 ortogonal dizisi kullanılarak gerekli deney sayısı 1/3 oranında azaltılarak 9 farklı deney tasarımı için yapılmıştır. Parametreler ve seviyeleri Tablo 1’ de ayrıntılı olarak verilirken, deney planını belirleme amacına en uygun Taguchi L9 deney planı ise Tablo 2’ de gösterilmiştir.

Tablo 1. Deneyde kullanılan parametre ve seviyeler

Parametreler	Seviye 1	2	3
Kanat yüksekliği (mm)	12	18	24
Akış hızı (m/s)	3	10	15
Kanat sayısı	7	8	9

Tablo 2. Taguchi ortogonal L9 dizisi deney planı

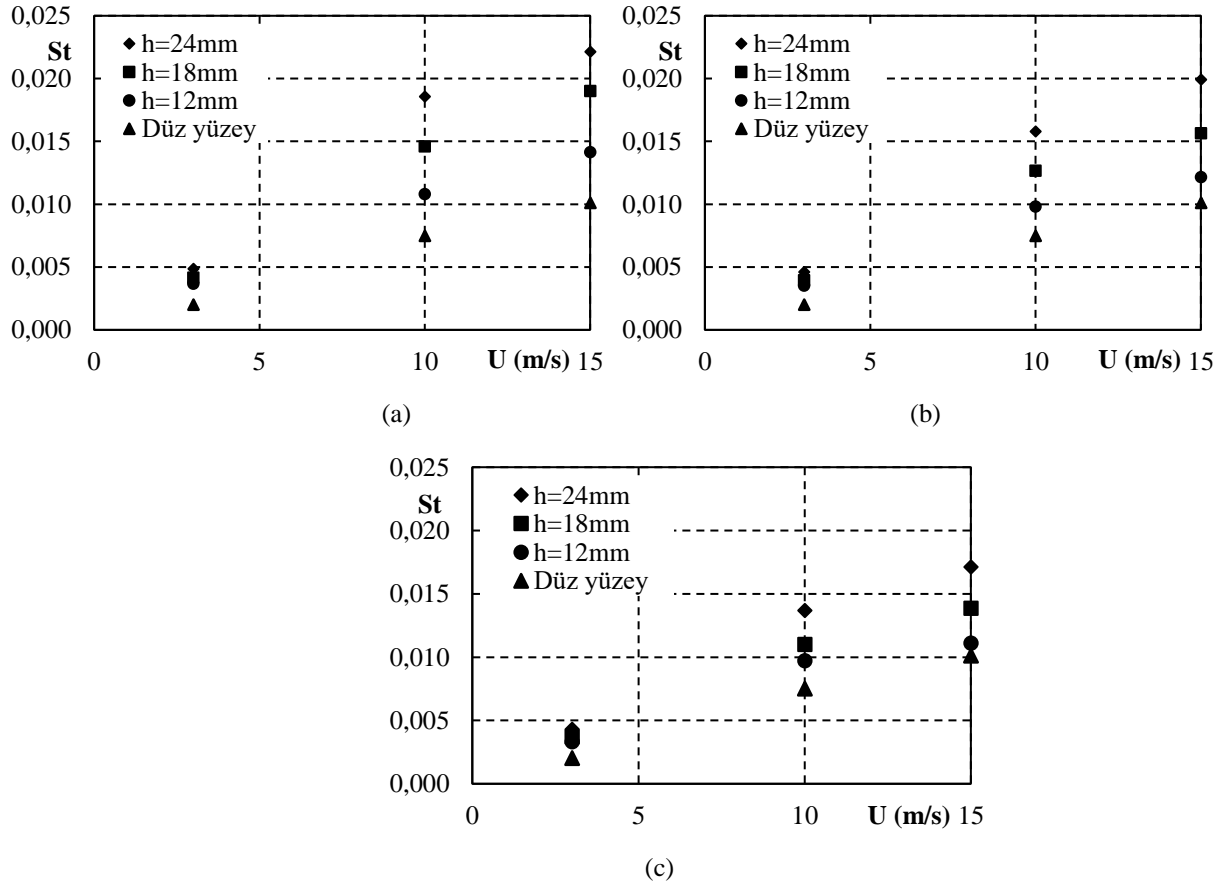
Deney no	Kanat yüksekliği (mm)	Akış hızı (m/s)	Kanat sayısı
T1	12	3	7
T2	12	10	8
T3	12	15	9
T4	18	3	8
T5	18	10	9
T6	18	15	7
T7	24	3	9
T8	24	10	7
T9	24	15	8

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Deney Sonuçları

Bu bölümde dikdörtgen kanatlı yüzeyler üzerinde akışta ölçülen sıcaklık verileriyle elde edilen Stanton sayıları üzerinde akış hızı, kanat yüksekliği ve kanat sayılarının etkisi incelenmiştir. Ayrıca düz yüzey üzerinden akışta elde edilen sonuçlarla da karşılaştırma yapılmıştır. Wu ve Perng (1999)’ in çalışma sonuçlarına benzer şekilde, tüm hız değerleri için kanatlı yüzeylerde en büyük St sayısı ilk kanadın üst köşesinde elde edilmiş ve akış boyunca azalmıştır. Düz yüzey değerlerine kıyasla daha yüksek olmasına rağmen, kanatlı yüzeylerdeki en düşük değerler ise dolaşım bölgelerinin olduğu kanat aralarında tespit edilmiştir. En sondaki kanadın arkasında da yeniden dolaşım bölgelerinden dolayı düşük Stanton sayıları

elde edilmiştir. Şekil 3 (a), (b) ve (c)' de kanatlı ve düz yüzeyler üzerinden akışta ortalama Stanton sayısının serbest akış hızı ile değişimi 9, 8 ve 7 kanat sayıları için sırasıyla verilmiştir. 9 adet 12, 18 ve 24 mm yüksekliğe sahip kanatlı yüzeylerde düz yüzeye göre St sayısı artışı $U=3$ m/s için sırasıyla %82, %105 ve %142 ve $U=15$ m/s için sırasıyla %40, %88 ve %118 olarak hesaplanmıştır. 10 m/s akış hızı için, 8 adet 12, 18 ve 24 mm kanat yüksekliğine sahip kanatlı yüzeyler üzerinden akışta St değerlerinin düz yüzeye göre artışı sırasıyla 1,3; 1,7 ve 2,1 oranındadır. Kanat yükseklikleri ve serbest akış hızları arttıkça ısı transferi artmış ve düz yüzey ile kıyaslandığında St sayısındaki artışın düşük hızlı akışlarda daha belirgin olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kanat sayısının artması da Stanton sayısında bir artışa sebep olmuştur.



Şekil 3. Kanatlı ve düz yüzeyler üzerinde akışta Stanton sayısının serbest akış hızı ile değişimi (a) $n=9$, (b) 8 ve (c) 7

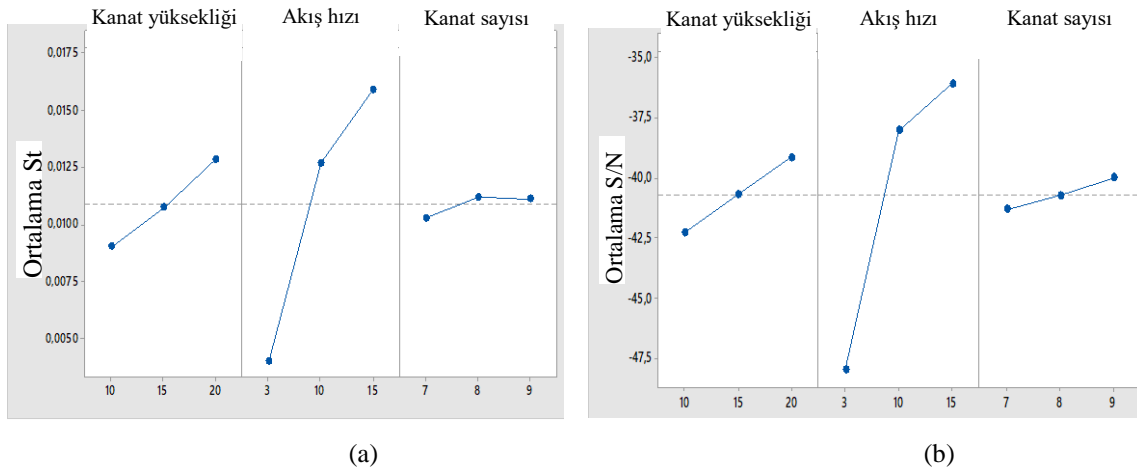
3.2. Taguchi Analizi

Bu çalışmada her biri 3 parametre için 3 seviye seçilerek 9 farklı deney için hesaplanan Stanton sayıları ile Taguchi yöntemi kullanılarak ANOVA analizleri gerçekleştirilmiştir. Isı transferi üzerindeki hata kaynaklarının etkisini gözlemlenmek için her deney aynı koşullar altında üç kez tekrarlanmıştır. 7, 8 ve 9 adet ardışık kanat için, kanat yükseklikleri 12, 18, 24 mm ve serbest akış hızları 3, 10 ve 15 m/s değerleri alınmıştır. Tablo 3' te kanatlı yüzeylerin ortalama Stanton sayısı değerleri, S/N oranları ve istatistiksel sonuçlar verilmiştir.

Tablo 3. Kanatlı yüzeyler için St ve S/N değerleri

Deney no	St	S/N oranı	Standart sapma
T1	0,003317	-49,584846	0,000028
T2	0,009770	-40,202344	0,000051
T3	0,014003	-37,076342	0,000148
T4	0,003934	-48,107082	0,000073
T5	0,014504	-36,770708	0,000106
T6	0,013750	-37,236154	0,000218
T7	0,004857	-46,273027	0,000052
T8	0,013762	-37,228169	0,000210
T9	0,019907	-34,020252	0,000101

Şekil 4 (a) ve (b)' de parametrelerin ısı transferi artışı üzerine etkilerini incelemek için sırasıyla ortalama St ve S/N değerleri verilirken, Tablo 4' de S/N oranları için çıkış değerleri ve 3 parametrenin etkisine göre sıralama değerleri verilmiştir. En yüksek ve en düşük ortalama St sayısı değerleri sırasıyla T9 ve T1 geometrisinde elde edilmiştir. S/N değeri değişimlerine göre, en yüksek St değeri, en büyük ortalama S/N oranlarına sahip 24 mm kanat yüksekliğine sahip 9 adet kanatlı yüzey üzerinde ve 15 m/s giriş hızında elde edilmiştir. Kanat yüksekliği, akış hızı ve kanat sayısının artması ısı transferini arttırmıştır. S/N oranları için çıkış değerlerine göre parametrelerin ısı transferi üzerinde en etkili parametrenin giriş hızı, ikinci olarak kanat yüksekliği ve son olarak da kanat sayısı olduğu belirlenmiştir.

**Şekil 4.** Kanatlı yüzeyler için ana etki grafikleri: (a) Ortalama St, (b) Ortalama S/N değeri**Tablo 4.** S/N oranları için çıkış değerleri

Seviye	Kanat yüksekliği (mm)	Akış hızı (m/s)	Kanat sayısı
1	-42,29	-47,99	-41,35
2	-40,70	-38,07	-40,78
3	-39,17	-36,11	-40,04
Delta	3,11	11,88	1,31
Rank	2	1	3

ANOVA, sonuçlar üzerinde her bir parametrenin katkısını ve birbirleriyle etkileşimlerini tanımlamak için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Bu çalışmada ANOVA yöntemi kanatlı yüzeyler üzerinden akışta kanat yüksekliği, akış hızı ve kanat sayısının ısı transferi üzerine etkilerini incelemek amacıyla yapılmıştır. Tablo 5’ de verilen ANOVA sonuçları ile matematiksel modelin güvenilirliği ve parametrelerin katkı oranları sunulmuştur. Hesaplanan p değerlerine göre, St sayısı değişiminde kanat sayısının anlamlı bir etkisi olmadığı görülmüştür. Determinasyon katsayısının (R^2) 94,42 değeri ise kurulan matematiksel modelin parametrelerin St sayısı üzerine etkilerini doğru olarak açıkladığını göstermektedir. St sayısı üzerine giriş hızının etkisinin %85,7, kanat yüksekliğinin etkisinin %7,9 ve kanat sayısının etkisinin %0,75 olduğu bulunmuştur. Parametrelerin St sayısı değişimine olan katkı değerlerine göre akış hızı en etkili parametre olarak tespit edilmiştir.

Tablo 5. Kanatlı yüzeyler için ANOVA değerleri

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	p-Value	%
Kanat yüksekliği	2	0,000021	0,00001	1,41	0,414	7,9
Akış hızı	2	0,000228	0,000114	15,38	0,049	85,7
Kanat sayısı	2	0,000002	0,000001	0,12	0,894	0,75
Error	2	0,000015	0,000007			
Total	8	0,000266				
Model Summary						
	S	R²	R² (adj)			
	0,0027241	94,42%	77,67%			

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, kanat yüksekliği, kanat sayısı ve akış hızlarının ısı transferi karakteristikleri deneysel olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar üzerinde her bir parametrenin etkisi Taguchi ve ANOVA yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır.

- Kanatların varlığının ısı transferini önemli derecede arttırdığı ve bu artışın kanat yüksekliği, kanat sayısı ve akış hızına önemli ölçüde bağlı olduğu sonucuna varılmıştır.
- Kanatlı yüzeyler üzerinden akışta ortalama St sayıları, kanat yükseklikleri ve kanat sayılarına bağlı olarak, 3, 10 ve 15 m/s akış hızları için sırasıyla 0,0049-0,0033, 0,019-0,0098 ve 0,022-0,011 arasında tespit edilmiştir.
- Kanatlı yüzeyler üzerinde akışta ortalama Stanton sayısı değerleri kanat yüksekliği, kanat sayıları ve akış hızıyla artmıştır. Ayrıca Stanton sayısındaki artış, düz yüzey ile kıyaslandığında, 3 m/s hıza sahip laminar akışta daha belirgindir.
- Kanatlı yüzeyler üzerinde akışta St sayısı değerleri düz yüzey değerleri ile karşılaştırıldığında kanat yüksekliği, kanat sayıları ve akış hızına bağlı olarak yaklaşık %10-%140 arasında artmıştır.
- Isı transferini arttırmak için en etkili parametre sırasıyla akış hızı ve kanat yüksekliği iken, kanat sayısı en az etkili parametre olarak belirlenmiştir.

- Kanat yüksekliği ve akış hızı ortalama St değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı iken, kanat sayısı tek başına bu değerler üzerinde en az etkiye sahiptir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Kaynakça

- Arslanoglu N., Yigit A. Experimental investigation of radiation effect on human thermal comfort by Taguchi method. *Applied Thermal Engineering* 2016; 92: 18–23.
- Bilen K., Yapici S. Heat transfer from a surface fitted with rectangular blocks at different orientation angle. *Heat and Mass Transfer* 2001; 38: 649–655.
- Chomdee S., Kiatsiriroat T. Air-cooling enhancement with delta winglet vortex generators in entrance region of in-line array electronic modules. *Heat Transfer Engineering* 2007; 28: 372–379.
- Comakli K., Simsek F., Comakli O., Sahin B. Determination of optimum working conditions R22 and R404A refrigerant mixtures in heat-pumps using Taguchi method. *Applied Energy* 2009; 86: 2451–2458.
- Herman C., Kang E. Comparative evaluation of three heat transfer enhancement strategies in a grooved channel. *Heat and Mass Transfer* 2001; 37: 563–575.
- Kim SH., Anand NK. Turbulent heat transfer between a series of parallel plates with surface-mounted discrete heat sources. *ASME Journal of Heat Transfer* 1994; 116: 577–587.
- Lock RH., Lock PF., Morgan KL., Lock EF., Lock DF. *Statistics: Unlocking the power of data*. 2nd Ed. John Wiley & Sons Inc.: 2017.
- Holman JP. *Experimental methods for engineers*. 5th ed. NY: McGraw Hill; 1989.
- Naik S., Probert SD., Bryden IG. Heat transfer characteristics of shrouded longitudinal ribs in turbulent forced convection. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 1999; 20: 374–384.
- Ryu DN., Choi DH., Patel VC. Analysis of turbulent flow in channels roughened by two-dimensional ribs and three-dimensional blocks, Part II: Heat transfer. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 2007; 28: 1112–1124.
- Ryu DN., Choi DH., Patel VC. Analysis of turbulent flow in channels roughened by two-dimensional ribs and three-dimensional blocks, Part I: Resistance. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 2007; 28: 1098–1111.
- Turkan B. Optimization analysis of the inkjet using the Taguchi method. *Pamukkale Universitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2023; 29(3): 281-288.
- Tsay YL., Cheng, JC. Analysis of convective heat transfer characteristics for a channel containing short multi-boards mounted with heat generating blocks. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2008; 51: 145–154.
- Umur H., Yemenici O., Umur Y., Sakin A. Flow and heat transfer characteristics over rectangular blocked surfaces. *Experimental Heat Transfer* 2017; 30(3): 192-204.

- Witcher K., McAndrew I., Vishnevskaya E. Aerodynamic analysis of low speed wing design using Taguchi L9 orthogonal array. Asia Conference on Mechanical and Aerospace Engineering, 2017.
- Wu HW., Perng SW. Effect of oblique plate on the heat transfer enhancement of mixed convection over heated blocks in a horizontal channel. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 1999; 42: 1217–1235.
- Yemenici O., Fıratoğlu ZA., Umur H. An experimental investigation of flow and heat transfer characteristics over blocked surfaces in laminar and turbulent flows. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2012; 55: 3641-3649.



Açısal Momentum Kontrolü İçin Rijit Dinamik Simülasyon Kullanılarak Mekanik Bir Jiroskop Volanının Tasarımı

M. Kürşat YALÇIN^{1*}

¹Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 51240, Niğde, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0001-9484-1422>

*Sorumlu yazar: mkursatyalcin@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 12.01.2024

Kabul tarihi: 23.05.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Mekanik jiroskop
Optimizasyon
Nütasyon
Presesyon
Tasarım

ÖZ

Jiroskoplar, harici nesneyi referans almadan üç boyutlu uzayda dönüşü algılayan cihazlardır. Mekanik jiroskoplar ise tork üreten mekanizmalardır. Bu torka, jiroskopik tork da denmektedir. Kontrollü tork üretmek için kullanılan jiroskoplar, kontrol momenti jiroskopları olarak adlandırılmaktadır. Mekanik jiroskopların en hayati parçası ise volandır. Volan tasarımlarında boyut ve dönme hızı tasarım parametreleridir. Bu makalede, dikey yerleştirilmiş, ağırlık torku sayesinde çalışan, bir volanlı mekanik jiroskopun volanının tasarımı rijit cisim simülasyonu ile elde edilmiştir. Bu amaçla optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Optimizasyon için Latin Hypercube Sampling Design yöntemi kullanılarak yüz adet nokta oluşturulmuştur. Cevap fonksiyonunun elde edilmesinde non-parametrik regresyon metodu kullanılmıştır. Minimizasyon için genetik algoritma yöntemi kullanılmıştır. Nütasyonun ve harcanan enerjinin minimum olması, jiroskopik torkun en fazla olması amaçlanmıştır. Bu amaçları sağlayan optimum hız $\omega=164,3941$ rad/s ve radyus ise $r=0,143839$ m olmaktadır.

Design of a Flywheel of a Mechanical Gyroscope Using Rigid Dynamic Simulation for Angular Momentum Control

Research Article

Article History:

Received: 12.01.2024

Accepted: 23.05.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

Mechanical gyroscope
Optimisation
Nutation
Precession
Design

ABSTRACT

Gyroscopes are devices that detect rotation in three-dimensional space without reference to an external object. Mechanical gyroscopes are mechanisms that produce torque. This torque is also called gyroscopic torque. Gyroscopes used to produce controlled torque are called control moment gyroscopes. The most vital part of mechanical gyroscopes is the flywheel. In flywheel designs, size and rotational speed are the design parameters. In this paper, the design of the flywheel of a vertically placed mechanical gyroscope with a flywheel operating by means of weight torque is obtained by rigid body simulation. Optimisation method is used for this purpose. One hundred points were generated using the Latin Hypercube Sampling Design method for optimisation. Non-parametric regression method was used to obtain the response function. Genetic algorithm method was used for minimisation. It is aimed to minimise the variation and the energy consumed and to maximise the gyroscopic torque. The optimum speed $\omega=164.3941$ rad/s and radius $r=0.143839$ m.

To Cite: Yalçın MK. Açısal Momentum Kontrolü İçin Rijit Dinamik Simülasyon Kullanılarak Mekanik Bir Jiroskop Volanının Tasarımı.. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(5): 2094-2113.

1. Giriş

Jiroskoplar, harici nesneyi referans almadan üç boyutlu uzayda dönüşü algılayan cihazlardır. Mekanik, optik ve elektromekanik türleri mevcuttur. Jiroskopların temel kullanım amacı açışal yön tayini olsa da, ilave olarak mekanik jiroskoplar, denge ve titreşim kontrolü için kullanılabilen, tork üreten mekanizmalardır. Bu torka, jiroskopik tork da denmektedir. Denge ve titreşim kontrolü için kullanılan mekanik jiroskoplar; kontrol momenti jiroskopları (CMG'ler) olarak adlandırılmaktadır. Bununla birlikte, şeklen bir CMG'ye benzese de, reaksiyon volanı olarak adlandırılan ve başka bir teknik (etki-tepki) ile dengeleme sağlayan mekanizmalar da mevcuttur. Ancak bunlar, bu çalışma kapsamında değildir.

Bir CMG, dönen bir volan ve tahrik aktüatörlerinden oluşmaktadır. Mekanizmayı bir arada tutmak için; yataklama ve çerçeveler kullanılmaktadır. Her ne kadar üç eksen de dönme ve tork üretme kabiliyetine sahip olsalar da, volanın dönmesinin, yalnızca bir eksen etrafında olmasının, bir eksen de tork üretimine yol açtığı ve bunun da çoğu uygulamada, yeterli olduğu görülmektedir. CMG, jiroskopik torku, öncelikle açışal momentumunun yönünü değiştirerek üretmektedir. Bunun için kendi ağırlığını veya dış etki kullanmaktadır. Tork kullanmadan, jiroskop torku üreten CMG'ler de mevcuttur. Üretilen jiroskopik tork, CMG'nin monte edildiği gövdeye iletilmektedir. Bazı durumlarda CMG, diğer modern yöntemlere göre watt başına çok daha fazla tork üretebilmektedir. CMG'ler torku verimli bir şekilde uygulayabildikleri için çevik uzay araçları, gemiler ve robotik sistemler dâhil birçok uygulama için idealdirler. Ancak CMG'ler, sürekli olarak dönen volan nedeni ile uzun süreli çalıştırıldığında yüksek enerji sarfına neden olmaktadır.

Bu soruna çözüm olarak uygulanan yöntemlerden biri de minimum güç tüketimi için optimum tasarım kullanmaktır. Optimizasyon sırasında, tasarımcılar tarafından en yaygın kullanılan araçlardan biri, belirli koşullar altında incelenen olayın çoklu fizik sonuçlarına bakılmasına ve güvenilir sonuçlar elde edilmesine olanak tanıyan simülasyonlardır. Rijit cisimlerin dinamik simülasyonları sayesinde, cisimleri oluşturan parçaların birbirleriyle olan bağlantı noktalarının, çizgisel veya açışal, zamana bağlı yer değiştirme, hız, ivme, moment, yük analizleri yapılabilmektedir. Böylece örneğin bir şafta gelecek tork bulunabilmekte ve uygun bir motor seçimi yapılabilmektedir. Yükler, çoğu durumda, cisimler üzerine yavaşça uygulanmazlar, zamana (dolayısıyla da frekansa) göre değişirler. Bu da eylemsizlik (kütlesel atalet) ve sönümlenmeyi önemli hale getirmektedir. Atalet ve/veya sönüm etkileri önemliyse, bir sistemin dinamik tepkisini belirlemede, statik yapısal analizlerin kullanılması yeterli değildir. Bu gibi durumlarda rijit veya esnek dinamik analizler yapılmaktadır. Simülasyonlar, tasarım başta olmak üzere çoğu mühendislik uygulamasında, pratikliklerinden dolayı kullanılmaktadırlar. Rijit dinamik analizler bazı yazılımlarda; Kinematic/Dynamic, Multibody Dynamics, Rigid Body Dynamics (RBD) veya motion simulation, hareket analizi, mekanizma analizi olarak da geçmektedir. Esnek dinamik analizler ise time-history analizi veya transient yapısal analiz olarak da adlandırılabilir. Bir CMG dinamiğini elde etmede, simülasyon kullanıldığı bazı çalışmaların olduğu görülmüştür (Ahmed ve ark., 2016; Arena ve ark., 2017; Bayram, 2020; Boyce, 2012; Han ve ark., 2015; Kacar ve ark., 2021;

Kostyuchenko ve Indygasheva, 2018; Osman ve ark., 1982; Sucuoğlu ve ark., 2018; Ye ve ark., 2021). Simülasyon aracılığıyla CMG'lerin dinamik analizinde uygun bağlantı türlerinin kullanılması, sonuçların doğruluğunu etkileyen önemli bir faktördür.

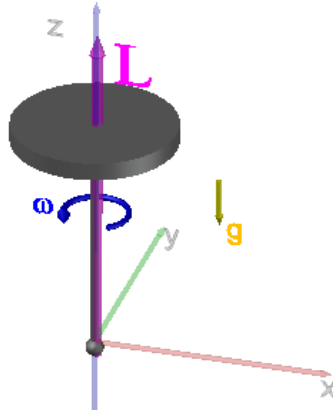
Aubrun ve Margulies (1978), titreşimleri azaltmak için jiroskop veya "çayro sönümleyici" kullanma fikrini 1960'lı yıllarda ilk ortaya atanlardandır (Margulies ve Aubrun, 1978). Vardıkları sonuçlardan biri, istenen sönümleme özelliklerini elde etmek için tek bir büyük CMG kullanmaktan çok sayıda küçük CMG kullanmanın daha iyi olduğuydu. Ayrıca, "jiroelastik" sürekli yaklaşım kullanan diğer bazı teorik gelişmeler ve sayısal örnekler de, jiroskopik müdahalenin, esnek yapıların hareketini kontrol etmek için çekici bir yaklaşım olduğu sonucuna götürmektedir. Bunun gibi keşifler dengeleme konusunun önem kazandığı uzay aracı, bicopter, bisiklet gibi araçlara montaj edilebilen daha sade ve daha hafif CMG'lerin tasarlanmasına yol açmıştır.

CMG'ler uzay araçlarında, aracın durum ve titreşimini kontrol etmek veya bir konum hatasının etkisini ortadan kaldıracak bir kuvvet sağlamak için kullanılmaktadır (Hu ve ark., 2017; Leve ve ark., 2015; Somov, 2000; Sun ve ark., 2023; P.-F. Zhang ve ark., 2020). CMG'lerin bisikletlerin dengelenmesi amaçlı olarak kullanımı ise otonom sürüş ile birlikte gündeme gelmiştir. Bir bisiklet için kontrol momentum jiroskopu (CMG), kütle dengeleme, direksiyon kontrolünün ve reaksiyon volanı kullanılması gibi dört tür kendi kendini dengeleme yönteminin olduğu görülmektedir (Ahmed ve ark., 2016; Kacar ve ark., 2021; Y. Zhang ve ark., 2021).

Bütün bu çalışmalar, mekanik jiroskopun, yapısal bir ürün olarak kullanımının yaygın olduğunu göstermektedir. Yazarların bildiği kadarıyla; açık literatürde bir CMG'nin mekanik cevabını elde etmek için rijit dinamik simülasyon kullanan bazı çalışmalar olmasına rağmen tasarım için bu simülasyon ve optimizasyon yönteminin kullanıldığı bir çalışma yoktur. Bu çalışmada ağırlık torkunu dengeleme esaslı olan mekanik bir jiroskobun dikey olarak yerleştirilmiş bir volanın dönüşü sayesinde elde edilebilmesine ilişkin optimum tasarım parametreleri rijit cisim simülasyonu ile elde edilmiştir. Bu çalışmanın ikinci bölümünde rijit dinamik analiz, optimizasyon işlemlerinin tekniği izah edilmiştir. Üçüncü bölümde elde edilen bulgular ve tartışma sunulmuş sonuçlar bölümünde ise bu çalışmanın en önemli çıkarımları maddeler halinde verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Şekil 1'de kendi ekseni etrafında dönen bir volana sahip, bir mekanik jiroskop verilmiştir. Bu jiroskopun volanının, sadece z doğrultusunda, kendi ekseni etrafında $\vec{\omega}$ açısal hızıyla dönüyor olması halinde, Şekil 1'den görüleceği üzere, dengelenmemiş herhangi bir kuvvet, moment mevcut değildir. Zira ağırlık, mesnet noktasınca dengelenmektedir. Diskin dönme ekseni etrafında $\vec{L} = I * \vec{\omega}$ ile hesaplanan bir açısal momentum oluşmaktadır. Yönü $\vec{\omega}$ ile aynıdır. Bu durumda $\vec{\omega}$ değişmediği sürece, açısal momentum $\vec{L} = \text{sabit}$ olup, herhangi bir jiroskopik tork elde edilmesi bu durumda mümkün değildir.



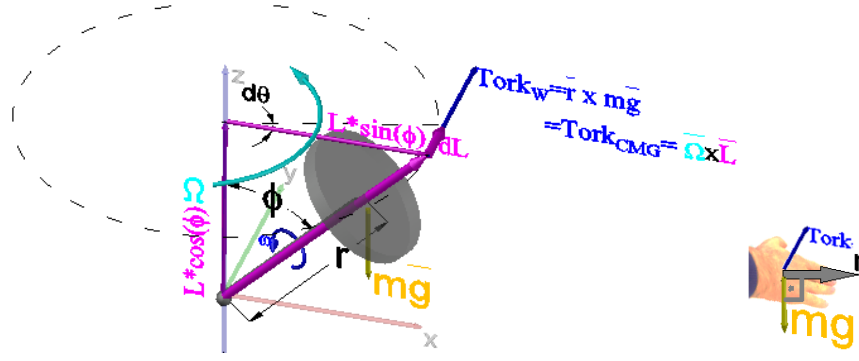
Şekil 1. Kendi ana eksenini etrafında dönen bir volana sahip, bir mekanik jiroskop

Açısal momentumun olduğu bir sistemde, jiroskopik torkun oluşabilmesinin şartı, açısal momentumun değişiyor olmasıdır. Jiroskop torkunu, üzerine gelen başka bir tork sayesinde üreten CMG'leri, klasik (Newtonian) mekanikle incelerken, cisme sabitlenmiş bir eksen takımına göre açısal momentumdaki değişimin genel denklemi, Denklem (1)'de verilmiştir.

$$\sum \vec{M} = \frac{d(\vec{L})_{xyz}}{dt} + \vec{\Omega} \times \vec{L} \quad (1)$$

Burada $\sum \vec{M}$ ifadesi net tork olup, yönü ise, bağıntıya göre, $d\vec{L}$ yönünde (veya $\vec{\Omega} \times \vec{L}$ yönünde) olmalıdır. $\vec{\Omega}$, yalpalama olarak adlandırılan bir açısal hızdır. Bu bağıntı; sistemin momentumunun değişmesi halinde, bir tork oluşturacağı anlamına geldiği gibi, dışarıdan herhangi bir tork uygulandığında da ($|Tork|_{uygulanan}$), bu torkun, sistemin açısal momentumu değiştiren tork hükmünde olması gerektiği anlamına da gelmektedir. Yani, $\sum \vec{M} = \overline{Tork}_{uygulanan}$ olmalıdır. $d\vec{L}$ biliniyorken, torkun yönünün, $d\vec{L}$ yönünde oluşması gerektiği gibi, tork biliniyorken de, momentum değişimi $d\vec{L}$ ise tork ile aynı yönde oluşmalıdır. Yani, açısal momentumu sabit olan bir jiroskopa, dışarıdan tork uygulandığında, jiroskopun momentumu, uygulanan dış tork kadarlık, değişime uğrayacaktır.

Volanın dönme ekseninin, z doğrultusu ile herhangi bir ϕ açısı yapmaya başladığı durumu inceleyelim. Şekil 2'de verilmiştir. Volanın ϕ açısı yapması halinde, sahip olduğu \vec{L} açısal momentumu; $|L|. \sin\phi$ ve $|L|. \cos\phi$ bileşenlerine sahip olacaktır. $|L|. \cos\phi$ bileşeni, tam z eksenini üzerinde olup, kararlı durum kabulü halinde bir değişime uğramadığı için, yalpalamaya bir etkisi olmamaktadır. Bu durumda $|L|. \sin\phi$ bileşeni, $|Tork|_{uygulanan}$ 'dan etkilenecek ve $d\vec{L}$ kadar değişecektir. Bu değişim; volanın, kütlelerini yukarı kaldırarak, $\phi = 0^\circ$ olduğu stabil konuma ulaşma çabasını da göstermektedir.



Şekil 2. Volan ekseninin, z doğrultusu ile bir ϕ açısı yapması hali ve sağ el kuralına göre torkun yönü

Volanın dönme eksenini, z doğrultusu ile ϕ açısı yapmaya başladığında, mesnet noktası etrafında, $\overrightarrow{Tork}_{uygulanan} = \vec{r} \times m\vec{g}$ ile hesaplanan ve volan kütlesi m , yerçekimi \vec{g} , ağırlık merkezinin mesnete olan \vec{r} mesafesinden dolayı, bir ağırlık torku ortaya çıkacaktır. Ağırlıktan kaynaklanan bu tork, volanı, aşağı düşürmeye çalışmaktadır. Ancak volan dönmekte olduğu için, aşağı düşmek yerine, sahip olduğu $|L| \cdot \sin\phi$ açısal momentumunu nedeni ile bu momentumunun yönünü, tork yönünde $d\vec{L}$ kadar değiştirmek mecburiyetinde kaldığı için, z eksenini etrafında $d\theta$ kadar, ufak bir dönme gerçekleştirecektir. Bu değişim, dt süresi içerisinde gerçekleşmektedir. Bu $d\theta$ dönme hareketi, z eksenini etrafında, adına “yalpalama veya devinim” denen bir $\vec{\Omega}$ açısal hızının meydana gelmesine vesile olmaktadır ve $\vec{\Omega} = \frac{d\theta}{dt} * \cos\phi$ ile hesaplanmaktadır. Bu yalpalama da, Denklem (1) kadarlık CMG torku üretimine yol açacaktır. Bütün bu işlemler aynı anda gerçekleşmektedir. Böylece jiroskop, yalpa hareketi yaparak, aşağı düşmesine engel olmaktadır.

CMG torku, volanın ana eksenini etrafındaki dönmesinden kaynaklanan açısal momentum ve ayrıca yalpalama hızıyla orantılıdır. Yani, sabit bir dönme devrinde, açısal momentum sabittir. Bu durumda jirasyon torku, yalpalama hızıyla doğru orantılıdır. Teknik olarak, volan çok hızlı, hatta sonsuz hızla hareket ederse, o zaman bir CMG sonsuz tork üretebilir sonucu çıkmaktadır. Bu nedenle; üretilen CMG tork miktarını sınırlamak ve kontrol altına almak için yalpalama hızı kontrol edilmeli veya sınırlandırılmalıdır. Yalpalamanın açısal frekansı (yani dönme hızı) sabit veya salınımlı olabilmektedir. Dışarıdan uygulanabileceği gibi, volanın dönüş hızı nedeni ile müdahale olmadan da oluşabilmektedir. Eğer volan dönme hızı yanı sıra nütasyon da varsa, ikisinin birleşmesi neticesinde, salınımlı yalpalama meydana gelmektedir. Neticede de; salınımlı yalpalama (Anonimouse, 2023); volan açısal momentumu ile CMG'nin monte edildiği cismin yalpalamaya olan katkısından kaynaklanan momentumu birleştirerek, daha güçlü tork üretilmesini sağlamaktadır.

“Kararlı durum (sabit) yalpalaması” olarak adlandırılan özel bir halde $\vec{\Omega}$ sabit, $\vec{\omega}$ sabit ve ϕ sabittir.

Örneğin, $|\omega_y| = 0$ iken $\vec{\Omega}_z$ sabit olacaktır. Bu durumda, Denklem(1)'de verilen ilk terim, $\frac{d(\vec{L})_{xyz}}{dt} = 0$ olacak ve açısal momentumdaki değişim denklemini, Denklem (2)'deki gibi ifade edilebilecektir.

$$\sum M = \vec{\Omega} \times \vec{L} \quad (2)$$

Bu denklem, “jiroskop torku” olarak da bilinmektedir. Yönü ise \vec{L} ve $\vec{\Omega}$ vektörleri dikkate alınarak, sağ el kuralı ile bulunmaktadır. Şimdiye kadar jiroskopik hareketin en yaygın mühendislik örnekleri, rotor eksenine normal olan tek eksen etrafında yalpalama gerçekleşmesi hali olup, bu hal için, genel denklem açık olarak yazıldığında Denklem (3)’ün elde edileceği literatürde verilmiştir (Kacar ve ark., 2021).

$$\begin{aligned} \sum |M|_y &= \Omega \sin \phi [I(\Omega \cos \phi + \omega) - I_0 \Omega \cos \phi] \\ \sum |M|_x &= 0 \\ \sum |M|_z &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

$\sum |M|_y$ ile hesaplanacak jiroskop momentini, rotorun ağırlığından kaynaklanan $|Tork|_{uygutanana}$ momentine eşit olmalıdır. Zira yapıya etkiyen başka moment yoktur. Bu şekle göre, moment hesabında kullanılacak dik mesafe $|\vec{r}| = r * \sin \phi$ olmaktadır. Ağırlık momentinin yönü, \vec{r} konum vektörü ve \vec{g} yerçekimi vektörlerinin yönleri dikkate alınarak, sağ el kuralına göre bulunmaktadır ve Şekil 2’de gösterilmiştir. Denklem (3), eşitleme neticesinde Denklem (4)’e indirgenebilecektir.

$$\begin{aligned} \sum |M|_y &= \Omega \sin \phi [I(\Omega \cos \phi + \omega) - I_x \Omega \cos \phi] \\ r * \sin \phi * m * g &= \Omega \sin \phi [I(\Omega \cos \phi + \omega) - I_x \Omega \cos \phi] \\ r * m * g &= I \Omega^2 \cos \phi + I \Omega \omega - I_x \Omega^2 \cos \phi \\ r * m * g &= I \Omega \omega + (I - I_x) \Omega^2 \cos \phi \end{aligned} \quad (4)$$

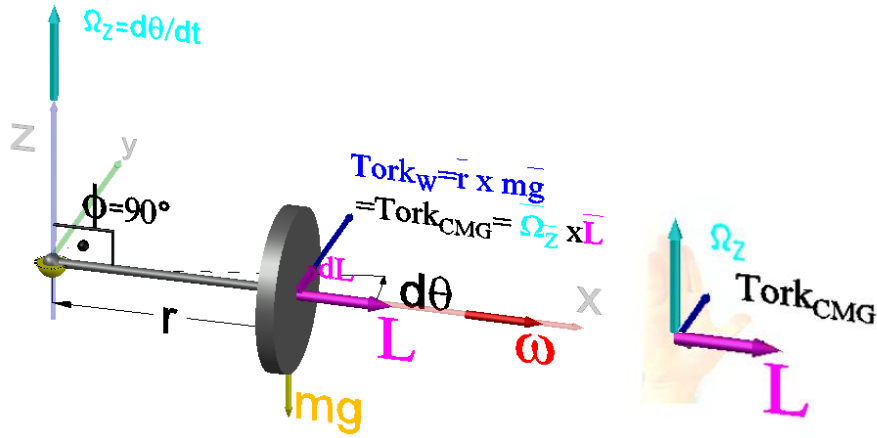
Bu denklem yalpalama $\vec{\Omega}$ ’ya bağlı, ikinci dereceden bir denklemdir ve $\cos \phi$ teriminden dolayı harmonik harekete yol açmaktadır. Dönme ekseninin yaptığı ϕ açısındaki yükseliş ve düşüşe, “nütasyon” denmektedir.

ϕ açısının 90° olduğu özel bir durum olan, rotor eksenine normal olan bir eksen etrafındaki yalpalama durumunu inceleyelim. Tek eksenli ve kararlı yalpalama hali geçerli olsun. Bu durumda $\sin 90^\circ = 1$ olacağı için, $|L| \cdot \sin \phi \rightarrow |L|$ dir. İlave olarak, $\cos 90^\circ = 0$ olacağından dolayı Denklem (4)’teki $(I - I_0) |\Omega|^2 \cos \phi$ terimi sifira gidecektir. Bu durumda jiroskopik tork, Denklem (5)’teki gibi olacaktır.

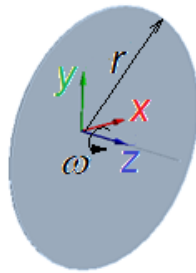
$$r * m * g = \Omega I \omega \quad (5)$$

Yönü ise Şekil 3’ten görüleceği üzere $\vec{\Omega}$ ve \vec{L} vektörleri dikkate alınarak, sağ el kuralı ile bulunmaktadır. Bu denklemden, yalpalama çekildiğinde, $|\Omega| = \frac{|r| * m * |g|}{I |\omega|}$ olacaktır. Formüle göre; $\vec{\omega}$ arttıkça, $\vec{\Omega}$ azalmaktadır. Denklemlerdeki I , volanın kütleli atalet momenti olup, Şekil 4’te disk şekilli bir cisim için, farklı eksenlere göre kütleli atalet momenti hesaplama formülleri, verilmiştir. Burada m, r

terimleri, sırası ile diskin kütlesi ve yarıçapıdır. I_z rotorun dönme eksenindeki kütle atalet momenti olup, kullanım kolaylığı olması için I ile de gösterilmektedir. T ise kinetik enerjidir.



Şekil 3. $\phi = 90^\circ$ iken CMG'nin serbest cisim diyagramı ve sağ el kuralına göre jiroskopik torkun yönü



$$I_z = I = \frac{1}{2} * m * r^2$$

$$I_x = I_y = \frac{1}{4} * m * r^2$$

$$T_{gyroscope} = \frac{1}{2} I \omega^2$$

Şekil 4. Disk şeklindeki cisimlerde kütle atalet momentleri ve kinetik enerji formülü

Analizimize dayanarak, volan sadece Denklem (5)'i karşılayan bir değerle harekete geçirilirse, sabit ϕ açısında, sabit bir yalpalamaya sahip olacaktır. Bu koşullar karşılanmadığında, yani nütasyon varken, yalpalama kararsız hale gelir ve $|\omega|$ dönüş hızı azaldıkça, ϕ açısı artan bir genlikle salınabilir.

Bunun yanı sıra, yerçekimi olmadığında, $\sum |M|_x = 0$ sıfır moment ile sabit yalpalama elde edilmesi de mümkündür. Yerçekimsiz ortamda asılı duran ve simetrik bir şekle sahip olan uzay araçlarında, kütle merkezi etrafında hiçbir dış moment mevcut değildir. Ayrıca mermilerde de görülmektedir. Ancak bu durumlar, bu çalışmanın kapsamı içerisinde değildir.

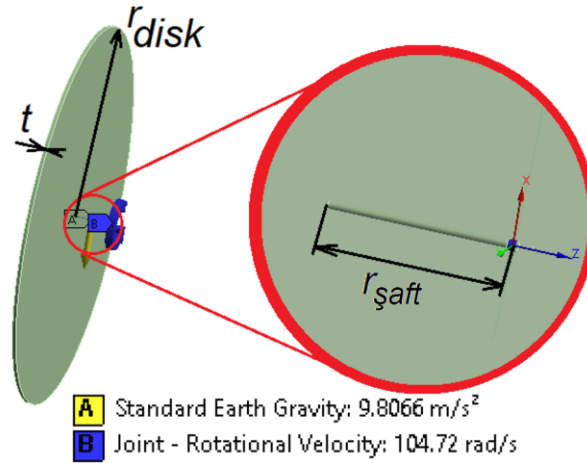
2.1. Rijit Dinamik Simülasyonu

Ansys© yazılımı (Ansys®, 2023) kullanılarak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir (Ansys®, 2023). Analiz, toplam süresi 2 saniye olan iki adımda gerçekleştirilmiştir. İterasyonlarda minimum zaman adımı $1, e^{-7}$ s ve maksimum zaman adımı $5, e^{-2}$ s ile sınırlıdır. Malzeme yapısal çelik olup özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir. 3.40 GHz dört çekirdekli CPU, 8 GB RAM'e sahip bir bilgisayarda her bir simülasyon 13.26 saniye sürmektedir.

Tablo 1. Malzeme özellikleri

Özellik	Değer
Yoğunluk (kg/m^3)	7850
Çekme akma dayanımı (MPa)	250
Basınç akma dayanımı (MPa)	250
Çekme nihai dayanımı (MPa)	460
Basınç nihai dayanımı (MPa)	460

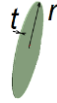
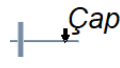

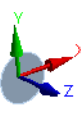

CMG'yi temsil etmek üzere, geometri olarak, bir volan ve milden oluşan bütünleşik sistem katı modeli çizilmiştir. Volan havadadır ve milin serbest ucu mekanik olarak zemine şöyle bağlanmıştır: Sadece zemine bağlı desteğin yukarı ve aşağı (Şekil 5'e göre x doğrultusunda) hareketi kısıtlanmıştır. Diğer iki öteleme hareketleri serbest bırakılmıştır. Üç doğrultu etrafındaki tüm dönüşler serbesttir ve gerekirse her eksen etrafında serbestçe dönmesine izin verilmiştir. Bu bağlantı türü, programda evrensel bağlantı adı verilen bir bağlantı türü aracılığıyla elde edilmiştir.



Şekil 5. Dinamik simülasyonda kullanılan CMG modeli ve yere bağlamayı sağlayan mesnetin referans eksen takımının detay görünümü

Yerçekimi ivmesi, Şekil 5'te gösterilen yönde uygulanmıştır. Dinamik analizlerde, bağlantının z eksenini, dönme eksenini temsil ettiğinden dolayı, ω açısal dönme hızı, volana, Şekil 5'te z ile gösterilen ana eksen etrafında uygulanmıştır. Milin çapı, volan ağırlık merkezinin koordinatlarını mümkün oldukça az etkilemesi için, mümkün olduğunca ufak seçilmiştir. Bütün parçalar, rijit cisimdir. Bu nedenle esneme, kopma mümkün değildir. Kontak kullanılmamıştır. Dolayısıyla eleman ağı oluşturulmamıştır. Bağlantının referans koordinat eksen takımının, tam mesnet noktası üzerinde olmasına dikkat edilmelidir. Zira moment için mesafe, bu noktaya göre hesaplanmaktadır. Volan ve milin tek parça olmasına dikkat edilmelidir. Volan, mil etrafında değil, milli volan, mesnet noktası etrafında dönmelidir. Volana ait geometrik özellikler Tablo 2'de verilmiştir. Değerler, volan ve milin toplamına aittir.

Tablo 2. Volana ait geometrik özellikler

Özellik		Değer
Hacim (m ³)		7,8554e-003
Disk kalınlığı (mm)		10
Disk yarıçapı (mm)		500
Mil çapı (mm)		4
Kütle (kg)		61,702
Ağırlık merkezi, X (m)		0
Ağırlık merkezi, Y (m)		0
Ağırlık merkezi, Z (m)		0,115
Atalet momenti, I _z (kgm ²)		7,6288
Atalet momenti, I _x , I _y (kgm ²)		3,8168
Dönme hızı, ω (rad/s)		104,7

Bütün sayısal yöntemlerde, doğrulama büyük önem taşımaktadır. Simülasyonda elaman ağı oluşturulmadığı için, elemandan bağımsızlık analizi yapılmasına gerek yoktur. Bununla birlikte, teorik formüller mevcut olduğu için simülasyon sonuçları, teori ile karşılaştırılarak doğrulanacaktır.

2.2. Optimizasyon

İncelenen bölgedeki değişkenlerin minimum, maksimum veya bir hedef değerini araştırma problemleri, optimizasyon ile çözülmektedir. Bir optimizasyon işleminde esas olarak; değişken(ler), kısıt(lar) ve amaç fonksiyonu(ları) tanımlanmaktadır. Bu çalışmada ω ve $|r|$ moment kolunun, CMG davranışı üzerine etkileri incelenmiştir. Optimize edilen girdi değişkenleri ve başlangıç değerleri ve alt-üst aralıkları Tablo 3'te verilmiştir. Çıkış değişkenleri ise, yapılan simülasyon neticesinde bulunacaktır. Deney tasarım noktası olarak, Latin Hypercube Sampling Design (Viana, 2016) yöntemi kullanılmıştır. Böylece yüz adet kombinasyon oluşturulmuştur. Hesaplamaların, bütün noktalarda gerçekleştirilmiş olduğu görülmüştür. Toplam hesaplama süresinin 132,3 dakika tuttuğu tespit edilmiştir.

Optimizasyonda amaç fonksiyonu olarak; nütasyon değeri ve enerji sarfıyatı en az olacak şekilde, en fazla CMG torku elde edebilmek uygulanmıştır. Kısıt olarak; nutasyonun $\pm 3^\circ$ içerisinde kalması istenmiştir. Non-parametrik regresyon metodu (Yildiz ve Topal, 2001) cevap fonksiyonunun elde edilmesinde kullanılmıştır. Optimizasyon için MOGA yöntemi kullanılmıştır (Şahin ve Önder, 2020).

Tablo 3. Optimizasyon değişkenleri

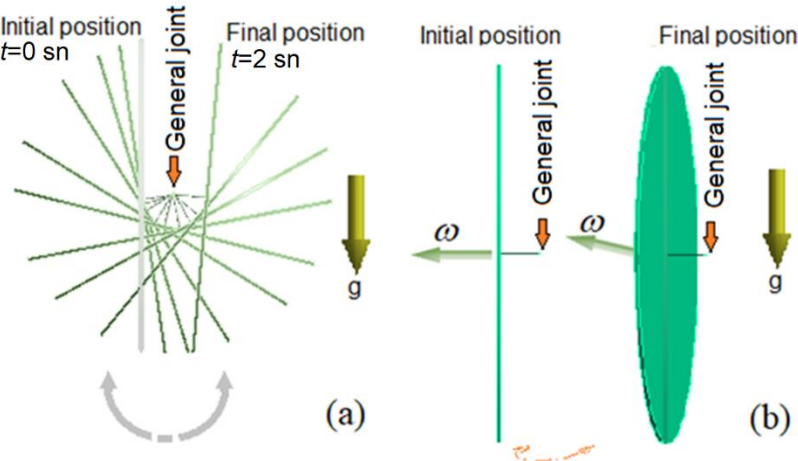
Giriş değişkenleri	Alt sınır	Üst sınır
Moment kolu, r (m)	0	0,5
Dönme hızı, ω (rad/s)	0	1000
Çıkış değişkenleri		
CMG torku, $\sum M _y$ (kgm ² /s ²)	--	--
Ağırlık torku, $ Torq _{weight}$ (kgm ² /s ²)	--	--
Momentum, $ L $ (kgm ² /s)	--	--
Nutation, ϕ (°)	--	--
Yalpalama hızı, Ω (rad/s)	--	--

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Doğrulama

Herhangi bir sayısal yöntemde olduğu gibi, doğrulama büyük önem taşımaktadır. CMG için analitik çözüm mevcuttur. Bu nedenle, teorik hesaplanan yalpalama, tork sonuçları ve yönleri, simülasyondan elde edilenlerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca simülasyondan yerçekiminin dönme varken ve yokken, hareketin rotası üzerine olan etkileri Şekil 6'daki gibi elde edilmiştir. Dönme yokken, umulduğu gibi, yerçekimi etkisi ile disk, sarkaç salınımı hareketi yapmaktadır.

Ayrıca simülasyondan dönme varken ve yokken, yerçekiminin hareketin rotası üzerine olan etkileri Şekil 6'daki gibi elde edilmiştir. Dönme yokken, volanın sarkaç salınımı hareketi yaptığı görülmüştür. Bu da yerçekiminin sebep olduğu bir etkidir.



Şekil 6. Yerçekimi varken hareketin rotası (a) ω açısal hız yok (b) ω açısal hız var

$\omega = 104,7 \text{ rad/s}$ iken, Denklem (4)'e, değişkenlerin sayısal değerleri yazılarak $\vec{\Omega}$ çekildiğinde aşığıdaki denklem elde edilmiştir. Denklem, yalpalama hızına ve nütasyon açısına bağlıdır.

$$7,6288 * \Omega * 104,7 + 3,8144 * \Omega^2 * \cos(\phi) = 69,58498582$$

Bu denklem çözüldüğünde kökleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir. Kökler, nütasyon açısına bağlıdır.

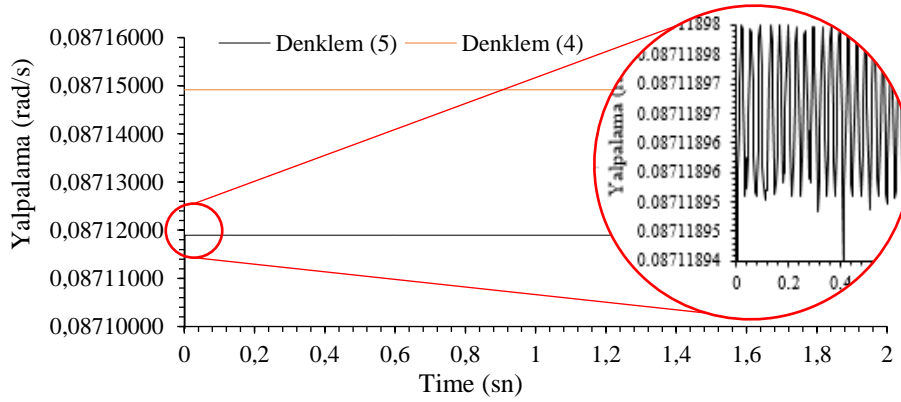
$$\Omega_{1,2} = \frac{\pm 0,00004195 * (3125 * \sqrt{(1061,7 * \cos(\phi) + 637978,2) \mp 2496048})}{\cos(\phi)}$$

Eğer nutasyon açısı çekilirse, aşağıdaki değerler elde edilecektir. Bu değerler sadece $\omega = 104,7 \text{ rad/s}$ iken geçerlidir.

$$\phi_{1,2} = \pi \pm \arccos\left(\frac{\frac{1047\Omega}{5} - 18,2427}{\Omega^2}\right)$$

Denklem (5)'teki değişkenlerin sayısal değerleri, Tablo 2 kullanılarak, yazıldığında, aşağıdaki değerler elde edilmiştir.

$$\bar{\Omega} = \frac{r * m * g}{L} = \frac{0,115 * 61,702 * 9,8066}{7,6288 * 104,72} = 0,08711895 \text{ rad/s}$$



Şekil 7. Denklem (4) ve (5) ile bulunan yalpalama değerleri ve nütasyonun sebep olduğu salınım

Şekil 7'den görüleceği üzere, her iki denklem sonuçları arasında yüzbinde üç'lük bir fark mevcut olup, ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Bununla birlikte, her ne kadar her iki eğri de sabit gibi gözükse de, Denklem (4) detayına bakıldığında salınımlar görülecektir. Salınımların nedeni, $3,8144 * \Omega^2 * \cos(\phi)$ terimi olup, etkisinin çok ufak olduğu görülmektedir.

Ayrıca, ağırlıktan kaynaklanan tork, jiroskopun ürettiği tork değerleri ve kinetik enerji değeri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$L = I * \omega = \left(\frac{1}{2} * 61,702 * (0,5)^2\right) * 104,7 = 7,6288 * 104,7 = 798,735 \text{ kgm}^2/\text{s}$$

$$\overrightarrow{Tork_{CMG}} = \vec{\Omega} \times \vec{L} = \Omega * L * \sin\phi = 798,73536 * 0,08711895 * \sin 90^\circ = 69,58 \text{ kgm}^2/\text{s}^2$$

$$Tork_W = \vec{r} \times m\vec{g} = 0,115 * 61,702 * 9,8066 * \sin 90^\circ = 69,58 \text{ kgm}^2/\text{s}^2$$

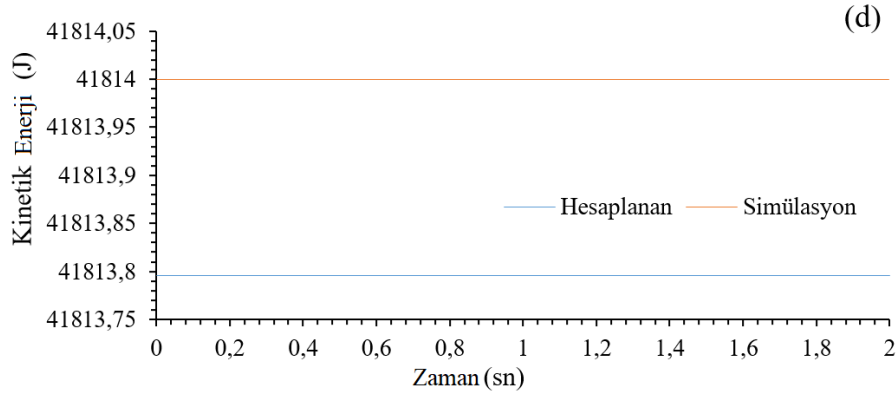
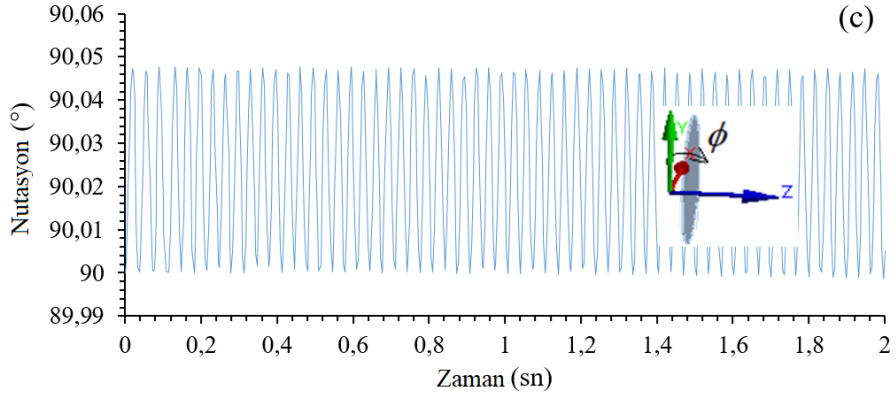
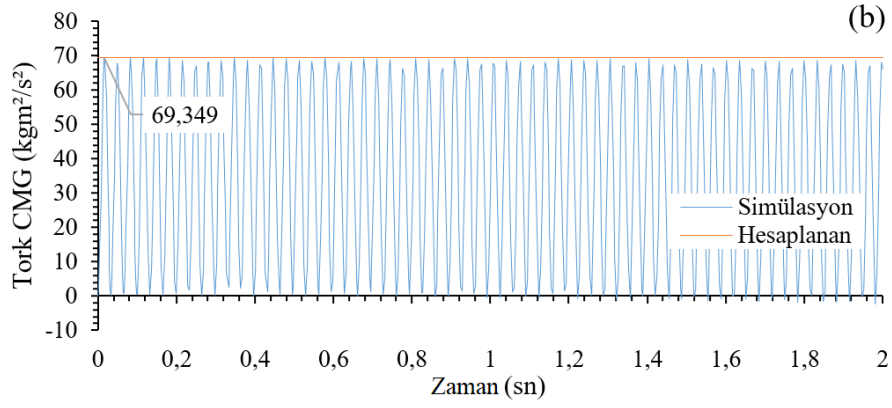
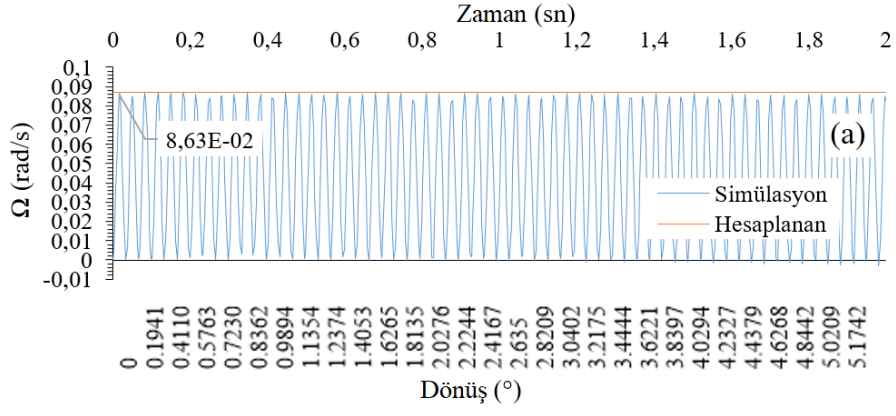
$$T_{gyroscope} = \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2} * 7,6288 * 104,7^2 = 41813,8 \text{ J}$$

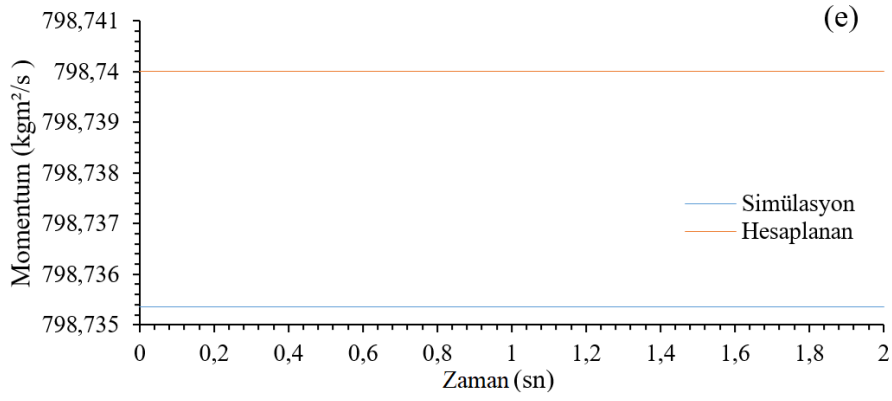
$$T_{\text{external}} = M * \phi = 69,58 * 18,58 = 1263,52 J$$

3.2. Simülasyon Sonuçları

Yalpalama, tork, nütasyon, kinetik enerji için simülasyondan elde edilen çözümler Şekil 8’de verilmiştir. Simülasyon, hareketin iki saniyelik süre içerisindeki durumunu 1,e-007 saniyelik aralıklarla hesaplamıştır. Bu nedenle simülasyon sonuçları, zamana bağlı pek çok değer içermektedir. $\omega = 104,7 \text{ rad/s}$ iken volan 2 saniyelik sürede, yalpalama yönünde 5° acı süpürmektedir. Yalpalama eğrisinin, periyodik bir desene sahip olduğu görülmektedir. Bu durumun, nedeninin nütasyon olabileceği ilk olarak akla gelse de, nütasyondan kaynaklanan salınımın genliğinin çok ufak olduğu Şekil 7 ile izah edilmişti. Bu nedenle, buradaki salınımın nedeni nütasyon olmayıp, simülasyonun ilk adımından itibaren ω ve g ’nin adım şeklinde uygulanması ve bunun neticede de kütleden kaynaklanan atalet nedeni ile yalpalamanın salınım yapmasıdır. Cisme veya bağlantıya sönüm verilmediği için de hareket zamanla sönümlenmemiştir. Eğer ω veya yerçekimi ivmesi, rampa şeklinde uygulansaydı, salınım gözlemlenmeyecekti. Ancak kullanılan yazılım; yerçekimi ivmesini, sabit ve tüm adımlarda kesintisiz uygulamayı gerektirdiğinden dolayı, bu işlem yapılamadı. ω ’nın rampa şeklinde uygulanması mümkün idi ancak bu durumda da, düşük frekanslarda aşırı nütasyona uğrayan volanın, stabilitesini yitirdiği ve ω hızı, istenen değerine ulaştığında bile, umulan dinamik davranışı sergileyemediği gözlemlenmiştir. Bu nedenlerle, bu açıklama ile birlikte, salınımlı grafikler verilmiştir. Zaten salınımların pik değerinin, hesapla elde edilen değerler ile kıyaslanabilir olduğu gözlemlenmiştir. Optimizasyon esnasında da pik değerler işleme alındığından dolayı ilave işlem yapmaya gerek kalmamıştır. Bununla birlikte, yalpalama hızının, kasıtlı olarak osilasyon yaptırılarak, elde edilecek CMG torkunun daha fazla olmasının sağlandığı tekniklerin varlığı da, Ünker (2015) ve pek çok çalışmadan görülmüştür (Ünker ve Çuvalcı, 2015). Tork formülünde, yalpalama değeri kullanıldığı için, yalpalamanın salınımlı olması, doğal olarak torkun da salınımlı olmasına yol açmaktadır. Ancak buradaki salınımın nedeni bu değildir. Nutasyon eğrisindeki salınımın da, yalpalama ile aynı desende olması, atalet etkisine işaret etmektedir. Genliğin çok ufak olması ve genlikte bir artışın söz konusu olmaması, CMG’nin kararlı bir yalpalama hareketine sahip olduğunu göstermektedir. Volanın ω dönüşü, denge noktası etrafında küçük bir titreşim genliği ile CMG’yi yatay konumda tutmayı başarmaktadır.

Bununla birlikte, kinetik enerji, yerçekimine bağlı olmadığından dolayı ve ω sabit olduğu için, simülasyondan elde edilen kinetik enerji değerlerinde bir salınım gözlemlenmemiştir. Simülasyonda volanın ω dönme hızından kaynaklanan kinetik enerji çözülmüştür. Hesaplanan ve çözüm ile bulunan değerlerin birbirleri ile iyi bir uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

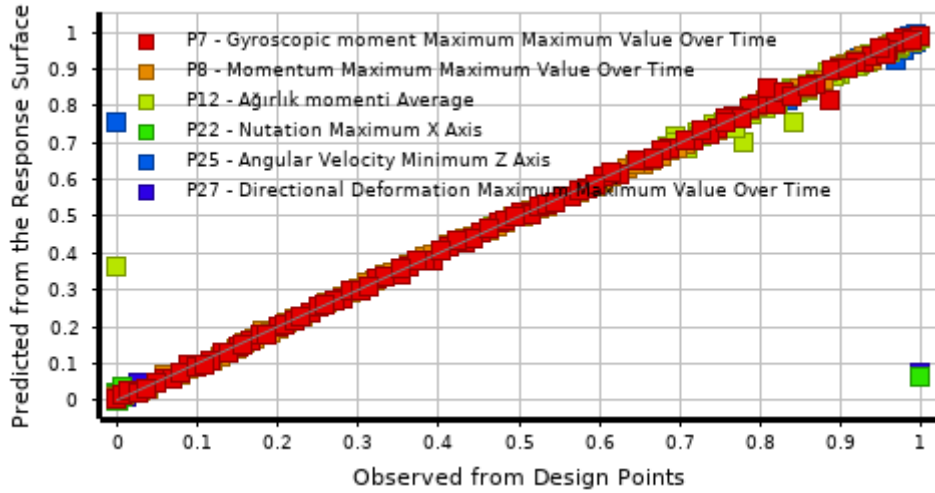




Şekil 8. Yerçekimi var, ω açısal hız varken, zamanla (a) yalpalama, (b) jiroskop torku, (c) nütasyon, (d) kinetik enerji, (e) momentum

3.3. Parametreler Arasındaki İlişkiler

Cevap eğrisi-yüzeyi; değişkenlere ait, yüz adet nokta için elde edilmiş olan değerlerin, üzerinden geçen matematiksel fonksiyonun interpolasyonla tespit edilerek çizdirilen ve değişkenlerin birbirleri ile olan ilişkilerini her noktada gösterebilen eğrilerdir (üç boyutlu halde yüzeylerdir). Şekil 9’da elde edilen cevap fonksiyonunun yaptığı tahminler ile hesaplanan noktalardan elde edilen değerlerin kıyaslanması verilmiştir. Açısal hız, yer değiştirme ve nütasyona ait değerlerin sıfır olduğu haller haricinde, birbirleri ile iyi bir uyuma sahip olduğu görülmektedir. Sıfır değeri, her ne kadar matematiksel olarak uygulanabilir olsa da, CMG dinamiği açısından öngörülenin dışında bir davranışa yol açabilmektedir. Bu da beklenmedik bir durum değildir.



Şekil 9. Oluşturulan cevap fonksiyonunun yaptığı tahminler ile hesaplanan noktalardan elde edilen değerlerin kıyaslanması

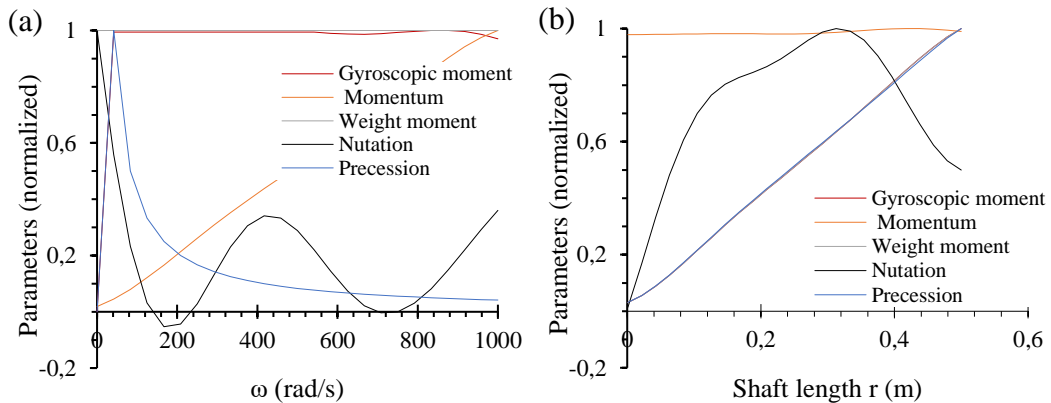
Cevap fonksiyonunun verimliliğini değerlendirmek için hata analizi ve regresyon analizi yapılmıştır. Hata analizi için RMSE, MAE olarak adlandırılan hata fonksiyonları kullanılmıştır. RMSE, MAE

değerlerinin sıfıra yakın olması istenmektedir. RMSE incelenen veri ile aynı birimdeyken MAE ise yüzde birimindedir. Değişkenlerin birbirleri ile ilişkisini tespit etmenin bir yolu da korelasyon katsayısı R ifadesini kullanmaktır. Korelasyon katsayısının 1'e (veya -1'e) yakın olması, iki değişken arasında çok yüksek lineer ilişkinin (çok yüksek ters ilişkinin) olduğunu göstermektedir. 0'a yakın değerler ilişki olmadığını göstermektedir. R 'nin birimi yoktur. Bu bilgiler ışığında Tablo 4'te verilen değerler incelendiğinde, cevap fonksiyonu ile hesaplanan CMG momenti, momentum, ağırlık momenti tahminleri ile simülasyondan elde edilenler arasında yüksek bir ilişki varken, nütasyon, yalpalama ve yer değiştirme tahminlerinde bu ilişkinin azaldığı görülmektedir. Cevap fonksiyonu, CMG momentini $3,2083 \text{ kgm}^2/s^2$ hata ile tahmin edebilirken, momentum tahmininde $52,622 \text{ kgm}^2/s$ kadarlık sapma yapmaktadır. Bu çalışmada non-parametrik regresyon yöntemine dayalı olarak cevap fonksiyonu oluşturulmuştur. Diğer yöntemlerin, performansları ise bu çalışma kapsamına dâhil edilmemiş olup müteakip çalışmalarda incelenme potansiyeline sahiptir.

Tablo 4. Cevap fonksiyonunun performans kriterleri

	CMG Moment	Momentum	Ağırlık momenti	Nütasyon	Yalpalama
R^2	0,99867	0,99943	0,91516	0,10855	0,4142
RMSE	3,2083 kgm^2/s^2	52,622 kgm^2/s	0,0017645 kgm^2/s^2	16,966 (°)	0,40491 (°)
MAE (%)	2,3833	2,0572	9,3355	18,73	16,507

Cevap fonksiyonunun, parametre tahminleri Şekil 10'da gösterilmiştir. Şekillerde parametrelerin ω ve r ile olan ilişkisi verilmiştir. Bu ilişkiler cevap fonksiyonu kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 10. Cevap fonksiyonunun parametre tahminleri (a) parametrelerin diskin dönme hızı ile ilişkisi (b) parametrelerin mil uzunluğu ile ilişkisi

Her bir parametrenin aralıkları ve değerleri farklı olduğu için tek grafik içerisinde birbirleri ile kıyaslamalı incelemek mümkün olamamaktadır. Bu nedenle bütün parametrelerin değerleri normalize edilerek hem aralıkları hem de hem de değerlerin aynı grafik üzerinde gösterilebilmesi sağlanmıştır. Parametrelerin maksimum değerleri Tablo 5'te verilmiştir. Şekil 9 (a)'da mil boyu değişmiyorken hem CMG torku hem de ağırlıktan kaynaklanan tork değişmemektedir. Zira CMG torku, ağırlık torkundan kaynaklandığı için eşit olması beklenen bir sonuçtur. Ağırlık torku ise, ağırlık ve yerçekimi değişmediği sürece sadece mil uzunluğuna bağlıdır. Uzunluk değişmediği sürece tork da değişmemiştir. CMG momenti, volanın ω dönme hızı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Bu da beklenen bir sonuçtur zira momentum; atalet momenti ve ω değerine bağlı olup, atalet momenti sabit kaldığı için sadece ω ile lineer ilişkili olmalıdır. Yalpalama, artan ω ile azalmaktadır. Nutasyon ise, artan ω ile azalmakta ancak daha sonra kararlılığını yitirmektedir. Nutasyondaki bu kararsızlığın sebebi; cevap fonksiyonunun nutasyon ve yalpalama tahminindeki düşük başarısı olabilmektedir.

Tablo 5. Parametrelerin normalizasyonda kullanılan maksimum değerleri

	CMG moment kgm^2/s^2	Momentum kgm^2/s	Ağırlık momenti kgm^2/s^2	Nutasyon (°)	Yalpalama (°)
Şekil 9 (a)	170,18	7372,23	69,61	10,65	1,17
Şekil 9 (b)	304,19	3880,41	69,61	3,32	0,14

Şekil 9 (b)'de $\omega = 500 \text{ rad/s}$ iken r değiştiğinde parametrelerdeki değişim verilmiştir. Hem CMG torku, hem yalpalama hızı hem de ağırlıktan kaynaklanan tork mil boyu ile lineer olarak değişmektedir. Yalpalama hızının artmasıyla CMG torku da artmıştır. Momentum sabit kalmıştır, Zira ω sabittir. Nutasyon ise, artan mil boyu ile artmakta ancak daha sonra kararlılığını yitirmektedir. Nutasyondaki bu kararsızlığın sebebi; cevap fonksiyonunun nutasyon ve yalpalama tahminindeki düşük başarısı olabilmektedir.

3.4 İşletme Parametreleri Aralarındaki Korelasyon

Parametreler arasındaki karşılıklı korelasyon, Tablo 6'da gösterildiği gibi Pearson korelasyon matrisi kullanılarak elde edilmiştir. Pozitif işaret, parametreler arasındaki pozitif doğrusal ilişkiyi temsil etmektedir. Daha yüksek değer daha fazla ilişki olduğunu gösterirken, daha düşük korelasyon daha az anlamlılık demektir. ω değeri momentum ve nutasyon ile pozitif doğrusal ama yalpalama ile ters ilişkiye sahiptir. Mil uzunluğu da CMG torku ve yalpalama hızı ile yüksek ilişkilidir. CMG değeri, mil uzunluğu ve yalpalama ile pozitif, ağırlık momenti ile ters ilişkiye sahiptir. Momentum değeri ω ve nutasyonla doğru, yalpalama ile ters ilişkiye sahiptir. Ağırlık torku değeri; CMG torku, yalpalama hızı ve mil uzunluğu ile ters nutasyonla doğru orantılıdır. Nutasyon değeri; ω , momentum ağırlık momenti ile

doğru, mil uzunluğu, CMG torku ve yalpalama ile ters orantılıdır. Yalpalama ise ω , momentum, ağırlık momenti, nutasyon ile ters mil uzunluğu, CMG torku ile doğru ilişkiye sahiptir.

Tablo 6. Pearson korelasyon matrisi

	ω (rad/s)	r (m)	$\sum M _y$ (kgm ² /s ²)	$ L $ (kgm ² /s)	$ Tork _{weig}$ (kgm ² /s ²)	ϕ (°)	Ω (rad/s)	
ω (rad/s)	1,00	-0,08	-0,07	1,00	0,13	0,78	-0,75	
r (m)	-0,08	1,00	1,00	-0,08	-0,99	-0,57	0,71	
$\sum M _y$ (kgm ² /s ²)	-0,07	1,00	1,00	-0,07	-0,99	-0,57	0,71	
$ L $ (kgm ² /s)	1,00	-0,08	-0,07	1,00	0,13	0,78	-0,75	1,00
$ Tork _{weig}$ (kgm ² /s ²)	0,13	-0,99	-0,99	0,13	1,00	0,60	-0,74	0,75
ϕ (°)	0,78	-0,57	-0,57	0,78	0,60	1,00	-0,93	0,50
Ω (rad/s)	-0,75	0,71	0,71	-0,75	-0,74	-0,93	1,00	0,25
								0,00
								-0,25
								-0,50
								-0,75
								-1,00

3.5 Tartışma

Optimizasyon sonucunda elde edilen optimum değerler Tablo 7'deki gibi elde edilmiştir. Bu değer optimizasyon işlemcisinin, cevap fonksiyonu kullanarak tahmin ettiği değerler arasından seçildiği için, giriş değişkenlerini, simülasyonda kullanarak elde edilecek sonuçlar da, doğrulama amaçlı olarak tabloda verilmiştir. Aradaki farkın ufaklığı, cevap fonksiyonunun iyi bir yaklaşımla tahminde bulunduğunu göstermektedir.

Tablo 7. Optimizasyon sonunda elde edilen parametreler

Giriş değişkenleri	En uygun		
r (m)	0,143839		
ω (rad/s)	164,3941		
Çıkış değişkenleri	Cevap fonk,'dan	Doğrulama	Fark (%)
$\sum M _y$ (kgm ² /s ²)	88,99097	89,93	1,04
$ Tork _{weight}$ (kgm ² /s ²)	88,07658	89,85	1,97
$ L $ (kgm ² /s)	1226,441	1254,13	2,21
ϕ (°)	0,024768	0,02503	1,05
Ω (rad/s)	0,06178	0,07171	13,85

4. Sonuçlar

Bir CMG tasarımında, dinamik davranış simülasyon ile elde edilmiş ve optimizasyon yöntemi kullanılarak tasarım yapılmıştır. Volan dikey yerleştirilmiş olup ağırlık torqu sayesinde çalışan, bir volanlı mekanik jiroskopun hareketine ilişkin dinamik cevaplar, klasik (Newtonian) mekanikle esaslı incelenmiştir. Parametrelerin birbirleri ile olan ilişkileri cevap fonksiyonu sayesinde elde edilmiştir. Elde edilen temel çıkarımlar aşağıda sıralanmıştır.

CMG içerisinde kullanılabilcek olan bir volanın dinamik davranış simülasyon ile elde edilmiştir. Optimizasyon yöntemi ile volanın mekanik tasarımı yapılmıştır. Dikey olarak yerleştirilmiş ve kütle momentiyle çalıştırılan volanın hareketi klasik (Newton) mekaniği esaslı olarak incelenmiştir. Parametrelerin birbirleri ile ilişkisi cevap fonksiyonu ile elde edilmiştir. Ulaşılan temel sonuçlar aşağıda listelenmiştir.

- CMG'lerde tork üretimi, yalpalama oluşturularak sağlanmaktadır. Yalpalama açısıl frekansı dışarıdan, sabit uygulanabileceği gibi, salınımlı olarak da uygulanabilmektedir. Ayrıca, nütasyon, volan dönme hızı ile birleştiğinde de, salınımlı yalpalama meydana gelmektedir.
- Dinamik simülasyonlarda mesnet noktası oluşturmak üzere kullanılacak mil ucunun yere bağlantısı oluşturulurken yukarı-aşağı öteleme hareketi kısıtlanmış ve geriye kalan tüm öteleme ve dönmeler serbest bırakılmıştır. Bağlantının referans koordinat eksen takımının, tam mesnet noktası üzerinde olmasına dikkat edilmelidir. Zira moment için mesafe, bu noktaya göre hesaplanmaktadır. Volan ve milin tek parça olmasına dikkat edilmelidir. Volan, mil etrafında değil, milli volan, mesnet noktası etrafında dönmelidir.
- Tasarım noktası oluşturmak üzere Latin Hypercube Sampling Design yöntemi kullanılmıştır. Yüz adet nokta oluşturulmuştur. Cevap fonksiyonunun elde edilmesinde non-parametrik regresyon metodu kullanılırken, optimum değerlerin tespitinde çok amaçlı genetik algoritma yöntemi kullanılmıştır. Neticede de; ϕ 'nin ve harcanan enerjinin en az olması, $\sum|M|_y$ 'nin en

fazla olması amaçlanarak ve ϕ 'nin hareketinin $\pm 3^\circ$ içerisinde kalması şart koşulduğunda; bu amaç ve kısıtlar $\omega = 164,3941 \text{ rad/s}$ ve $r=0,143839 \text{ m}$ iken sağlanabilmektedir, Bu durumda da $\sum |M|_y = 89,93 \text{ kgm}^2/\text{s}^2$, $L = 1254,13 \text{ kgm}^2/\text{s}$, en fazla $\phi = 0,02503^\circ$ ve $\Omega = 0,07171 \text{ rad/s}$ olmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışmanın inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları değerli katkılardan dolayı; editör, hakem ve emeği geçenlere içten teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynaklar

- Ahmed A., Adnaik I., Bhavsar D., Sargar TS. Design and analysis of gyro wheel for stabilization of a bicycle, International Journal for Scientific Research Development, 2016; 4(04): 349-351.
- Anonimouse. Nutation Wikipedia®, en.wikipedia.org: Wikimedia Foundation, Inc., 2023.
- Ansys®. Academic research mechanical products, 2021 R2, Help system, ANSYS Mechanical User's Guide: ANSYS, Inc., 2023.
- Arena L., Piergentili F., Santoni F. Design, manufacturing, and ground testing of a control-moment gyro for agile microsatellites, Journal of Aerospace Engineering, 2017; 30(5): 04017039. doi: 10.1061/(ASCE)AS.1943-5525.0000754
- Bayram H. Design and implementation of autonomous surface vehicle for inland water, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2020; 10(1): 101-111. doi: 10.21597/jist.642503
- Boyce MP. 5 - Rotor dynamics. In M. P. Boyce (Ed.), Gas Turbine Engineering Handbook (Fourth Edition), Oxford: Butterworth-Heinemann, 2012; 215-250.
- Han B., Zheng S., Wang Z., Le Y. Design, modeling, fabrication, and test of a large-scale single-gimbal magnetically suspended control moment gyro. IEEE Transactions on Industrial Electronics 2015; 62(12): 7424-7435. doi: 10.1109/TIE.2015.2459052
- Hu Q., Guo C., Zhang J. Singularity and steering logic for control moment gyros on flexible space structures, Acta Astronautica, 2012; 137, 261-273. doi: 10.1016/j.actaastro.2017.04.030
- Kacar İ., Eroğlu MA., Yalçın MK. Design and development of an autonomous bicycle, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2021; 10(1): 364-372. doi: 10.28948/ngumuh.628580

- Kostyuchenko T., Indygasheva N. Computer-aided design system for control moment gyroscope. MATEC Web Conf., 2018; 158, 01021.
- Leve FA., Hamilton, BJ., Peck, MA. Spacecraft momentum control systems (1st ed. 2015 edition ed. Vol. 1010), Springer-Verlag GmbH, Heidelberg: Springer, Cham, 2015.
- Margulies G., Aubrun J. Geometric theory of single-gimbal control moment gyro systems. Journal of the Astronautical Sciences, 1978; 26.
- Osman MOM., Sankar S., Dukkipati RV. Design synthesis of a gyrogrinder using direct search optimization. Mechanism and Machine Theory, 1982; 17(1): 33-45. doi: 10.1016/0094-114X(82)90022-2
- Şahin HA., Önder H. The use of genetic algorithm and particle swarm algorithm in determining egg freshness. Black Sea Journal of Engineering and Science, 2020; 3(3): 81-88. doi: 10.34248/bsengineering.684613
- Somov YI. Nonlinear synthesis, optimization and design of the spacecraft gyromoment attitude control systems, IFAC Proceedings Volumes 2020; 33(16): 337-342. doi: 10.1016/S1474-6670(17)39653-2
- Sucuoglu HS., Bogrekeci I., Gultekin A., Demircioglu P. Design, analysis and development of mobile robot with flip-flop motion ability. IFAC-PapersOnLine 2018; 51(30): 436-440. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.323>
- Sun J., Cai Z., Sun J., Jin D. Dynamic analysis of a rigid-flexible inflatable space structure coupled with control moment gyroscopes. Nonlinear Dynamics 2023; 111(9): 8061-8081. doi: 10.1007/s11071-023-08254-8.
- Ünker F., Çuvalcı O. Vibration control of a column using a gyroscope. Procedia - Social and Behavioral Sciences 2015; 195, 2306-2315. doi: 10.1016/j.sbspro.2015.06.182
- Viana FAC. A tutorial on Latin Hypercube design of experiments. Quality and Reliability Engineering International 2016, 32(5): 1975-1985. doi: <https://doi.org/10.1002/qre.1924>
- Ye X., Xu X., Wen T., Han B. Design and optimization of repeatable locking/unlocking device for magnetically suspended control moment gyro. Acta Astronautica 2021; 186, 24-32. doi: 10.1016/j.actaastro.2021.05.025
- Yildiz N., Topal M. Nonparametrik regresyon metodlarının incelenmesi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2021; 32(4): 429-435.
- Zhang PF., Hao JH., Chen Q. Gyro-less angular velocity estimation and intermittent attitude control of spacecraft using coarse-sensors based on geometric analysis. Aerospace Science and Technology, 2020; 103, 105900. doi: 10.1016/j.ast.2020.105900
- Zhang Y., Zhao G., Li H. Multibody dynamic modeling and controlling for unmanned bicycle system. Isa Transactions 2021; 118, 174-188. doi: 10.1016/j.isatra.2021.02.014

E-Atık Geri Dönüşümü: Bibliyometrik Analiz ve VOSviewer ile Haritalama

Hediye KIRLI AKIN^{1*}

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Bölümü, 80000, Osmaniye

¹<https://orcid.org/0000-0003-4862-9054>

*Sorumlu yazar: hediyeakin@osmaniye.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 23.01.2024

Kabul tarihi: 28.05.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

E-atık

Bibliyometrik analiz

VOSviewer

Geri dönüşüm

ÖZ

Kullanım ömrünü tamamlayan elektrikli ve elektronik eşyalar, teknolojinin de gelişimine bağlı olarak hızla artmakta ve çözülmesi oldukça zor bir e-atık problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Her geçen gün birikmeye devam ederek küresel bir kriz haline gelen e-atıkların geri kazanımları da diğer atıklardan oldukça farklıdır. Gerek bertaraf yöntemleri açısından gerekse içerisinde hem tehlikeli maddeleri hem de kıymetli metalleri barındırıyor olması açısından bir süredir araştırmacıların da dikkatini çekmiş ve konuya ilişkin pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışma ise e-atıkların geri dönüşümü ile ilgili yapılan çalışmaların bibliyometrik bir analizi üzerinedir. Çalışmada öncelikle Web of Science veri tabanından 20 yıllık süreci kapsayacak şekilde e-atıkların geri dönüşümü üzerine 2003-2022 yılları arasında yapılan çalışmalar belirlenmiştir. Sonrasında bu çalışmalar filtrelenerek ve detaylı incelemeye tabii tutularak ilgisiz olanlar elenmiştir. Kalan 3182 çalışma kaydedilerek, VOSviewer programı kullanılarak ortak yazar, atıf-kaynak, yazar-atıf, anahtar sözcük, kurum ve ülkeler açısından detaylı analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonraki çalışmalara yön verecek şekilde sınıflandırılmış ve haritaları çıkarılmıştır. Analiz çalışmalarında sonuç olarak bu konuya ilişkin en çok çalışmanın Çin'de yapıldığı, en verimli araştırmacının aynı zamanda en çok atıfı da alan Mai Bi-Xian olduğu belirlenmiştir. En sık kullanılan anahtar kelimeler recycling ve e-waste olup en çok atıf alan dergi ise Environmental Science & Technology dergisidir.

E-Waste Recycling: Bibliometric Analysis and Mapping with VOSviewer

Research Article

Article History:

Received: 23.01.2024

Accepted: 28.05.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

E-waste

Bibliometric analysis

VOSviewer

Recycling

ABSTRACT

Electrical and electronic goods that have completed their useful life are rapidly increasing due to the development of technology and are emerging as a very difficult e-waste problem to solve. The recovery of e-waste, which continues to accumulate day by day and becomes a global crisis, is quite different from other wastes. Both in terms of disposal methods and the fact that it contains both hazardous substances and precious metals, it has attracted the attention of researchers for a while and many studies have been conducted on the subject. This study is a bibliometric analysis of studies on e-waste recycling. In the study, firstly, studies on e-waste recycling between 2003-2022 were identified from the Web of Science database covering a 20-year period. Afterwards, these studies were filtered and subjected to detailed analysis and the irrelevant ones were eliminated. The remaining 3182 studies were saved and analyzed in detail in terms of co-author, citation-source, author-citation, keyword, institution and countries using the VOSviewer program. The studies were classified and mapped in a way to guide future studies. As a result of the analysis, it was determined that the most studies on this topic were conducted in China and the most productive researcher was Mai Bi-Xian, who also

received the most citations. The most frequently used keywords are recycling and e-waste and the most cited journal is Environmental Science & Technology.

To Cite: Kirli Akin H. E-Atık Geri Dönüşümü: Bibliyometrik Analiz ve VOSviewer ile Haritalama. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(5): 2114-2125.

1. Giriş

Elektronik atık (e-atık), kullanım ömrünü tamamlayarak atılan, kullanılmayan, kullanılmış ve başka herhangi bir şekilde istenmeyen her türlü elektrikli ve elektronik cihazlardan kaynaklanmaktadır. Bu kategoriye uygun birçok ürün bulunmaktadır (Hsu ve ark., 2024). İnsanların yaşam standartlarının ve bilgi teknolojilerinin hızla gelişiyor olması, elektronik eşyaların kullanım ömürlerinin sınırlı olması, çevre üzerinde çok fazla olumsuz etkiye sahip olan e-atık sorununu giderek daha ciddi boyutlara ulaştırmaktadır. Küresel olarak, e-atık üretimindeki artış hemen hemen yılda 2 metrik ton (Mt) civarındadır. 2030 yılında yaklaşık 74 Mt e-atık üretileceği tahmin edilmektedir. Günümüzde Dünya'da 62,5 milyar dolar değerinde 53,6 milyon ton e-atık üretilmekte ve bunun yalnızca %17'si uygun şekilde geri dönüştürülebilmektedir. Geri kalanı çöplüklere atılmakta veya uygunsuz yöntemlerle işlenmektedir (Xia ve Ghahreman, 2024). Bu nedenlerle, e-atık çevre için önemli bir tehdit olarak görülmektedir (Chakraborty ve ark., 2022). E-atık çöplüklerinin küresel bir problem haline gelmesi ile bertaraf edilme çalışmaları da hız kazanmıştır. Ancak e-atıkların çevre ve insan sağlığı açısından son derece zararlı yöntemler kullanılarak bertaraf edilmeye çalışılması, çok ciddi çevre kirliliği ve sağlık sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Örneğin, e-atığın yakılması havaya, toprağa ve suya büyük miktarda tehlikeli madde (yani ağır metaller, organik çözücüler ve sızıntı suyu vb.) salmakta iken içerisinde bulunan değerli metallerin kazanılmasını da mümkün kılmamaktadır. (Herat ve Agamuthu, 2012; Gao ve Chen, 2024). E-atıklar içeriğinde kurşun, kadmiyum, nikel, cıva, berilyum ve çinko gibi çevreye ve canlılara zarar verebilecek tehlikeli maddeler barındırırken aynı zamanda bakır, gümüş, altın gibi kıymetli metalleri de barındırmaktadır. Bu nedenle elektronik atıkların tanımlanması, kurtarılması ve doğru bir şekilde geri dönüştürülmesi, sürdürülebilir bir geleceğe ulaşma açısından önemli bir adımdır (Shreyas Madhav ve ark., 2022). E-atıkların uygun bir yönetimle geri dönüşümünün sağlanması hem çevre ve sağlık açısından hem de ekonomik açıdan kritik bir öneme sahiptir. E-atık geri dönüşümünün çevresel faydalarının yanı sıra, e-atığın kendisi de önemli bir pazar değerine sahiptir ve geri dönüştürülmesinin birincil hammadde ihtiyacını azaltacağı düşünülmektedir (Neves ve ark., 2024).

E-atıkları diğer atıklar içerisinden ayırmak ve değerli malzemeleri minimum insan ve çevresel zararlarla geri kazanmak oldukça zaman alıcı bir işlemdir. Bu nedenle e-atıkların çoğu düzenli depolama alanlarında bertaraf edilmekte ve Basel Sözleşmesi kapsamında yasa dışı olmasına rağmen bazı ülkeler tarafından bilinmeyen miktarda E-atık fakir ülkelere ihraç edilmektedir. Bu ülkelerde de maalesef bu atıklar insan sağlığı ve çevre dikkate alınmaksızın çok az önlemlerle yakma ve güçlü asitlerde çözme işlemleri uygulanarak bertaraf edilmektedir (Robinson Brett, 2009).

E-atık yıllık %3-%5 büyüme oranıyla nispeten hızlı büyüyen katı atık kollarından biridir (Liu ve ark., 2023). E-atık geri dönüşümü, elektronik cihazların çevresel etkilerini en aza indirmeyi ve kaynakların verimli kullanımını teşvik etmeyi amaçlayan sürdürülebilir atık yönetiminin kritik bir yönüdür. Bu sebeplerle e-atıkların geri kazanımı önemli bir konu olarak son yıllarda araştırmacıların da oldukça dikkatini çekmektedir.

E-atıkların geri dönüşümü konusunda yapılan çalışmalar genellikle çevreye ve canlılara olan zararları, nasıl yönetilmesi gerektiği, sınıflandırması, tahminlemesi, bertaraf yöntemleri ile kaynak geri kazanımı gibi konular üzerine yoğunlaşmaktadır.

E-atık geri dönüşümü, gerek değerli metallerin ve kullanılabilir durumda olan sağlam parçaların gerekse tehlikeli maddelerin elektronik atıklardan ayrıştırılması ve böylece çevresel zararların azaltılarak kaynakların korunması sürecidir. Bu çalışmada da e-atıkların geri dönüşümü ile ilgili olarak 2003-2022 yılları arasında yapılmış olan çalışmalar Web of Science veri tabanında taranmış, ilgisiz olanlar elenerek kalan çalışmalar incelenmiş ve detaylı olarak analiz edilmiştir. Çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde, Web of Science veri tabanından verilerin nasıl elde edildiğinin ve kullanılan program ile analiz yönteminin detaylı olarak anlatıldığı Materyal ve Metot bölümü, konu ile ilgili olarak yapılan analizlerin sonuçlarının yer aldığı, en önemli yazarların kimler olduğu, yazarlar arasında ortak çalışma bağlarının gösterildiği, en sık kullanılan anahtar kelimeler, yapılan yayınlar ve tematik yapı çıktılarının belirlendiği e-atık geri dönüşümünün çağdaş bir incelemesinin sunulduğu Bulgular ve Tartışma bölümü ile sonuçların ve daha sonra yapılacak çalışmalara yönelik önerilerin yer aldığı Sonuç bölümü sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri Kaynağı

Çalışmada incelenecek makaleleri belirlemek için kullanılabilir ortak kaynaklar arasında PubMed, Scopus veya Web of Science gibi akademik veri tabanları bulunmaktadır. Bu çalışmada akademik çalışmalarda yaygın olarak kullanılan, fen bilimleri, sosyal bilimler, sanat ve beşerî bilimler gibi pek çok disiplini kapsayan ve güncel veriler sunan Web of Science veri tabanı kullanılmıştır. Web of Science, araştırma analizi yapmak ve bu analizi görselleştirmek için en şeffaf ve en güvenilir bibliyometrik araçlardan birisidir. Ayrıca bilim dünyasında en kapsamlı bilimsel veri tabanlarından birisi olarak kabul edilmektedir (Rinanda ve ark., 2023). Web of Science veri tabanında “e waste” “e-waste”, “electronic waste” ve “WEEE” olarak tarama yapılmıştır. Bu tarama neticesinde toplam 9.456 çalışma elde edilmiştir. Sonrasında bu taramadan elde edilen sonuçlar içerisinde “recycling” ile ilgili olan çalışmalar taranmıştır. İnceleme ile ilgili diğer filtreler uygulanırken 2023 yılı henüz tamamlanmadığı için 2003 ve 2022 yılları arasını kapsayacak şekilde 20 yıl ile kısıtlandırma yapılmıştır. Ayrıca İngilizce dilinde hazırlanmış makaleler filtrelenerek 3.332 çalışma incelemeye alınmıştır. Sonrasında bu makaleler tek tek manuel olarak değerlendirilmeye alınarak konu ilgili olmayan 150 makale elenmiş ve 3182 adet makale üzerinden analizler gerçekleştirilmiştir.

2.2. Metot: Bibliyometrik Analiz

Bibliyometrik analiz herhangi bir konu ile ilgili olarak yapılan bilimsel çalışmalar üzerine, bireysel araştırmacıları, araştırma gruplarını, ülkeleri, kurumları veya dergileri ve bunların etkilerini değerlendirmek için kullanılan analiz yöntemlerinden biridir (Öztürk ve Kurutkan, 2020). Bibliyometrik analiz, en kısa yoldan en çok atıf alan çalışma ve konu ile en verimli olan yazarı veya yazarları, en çok hangi dergileri takip etmesi gerektiği veya çalıştığı konuda bariz olarak takip etmesi gereken dergileri, en çok hangi kurum veya ülke ile iş birliği yapması gerektiği konusunda görsel bir harita sunan analiz yöntemidir (Kurutkan ve Orhan, 2018). Bibliyometrik analiz çalışmaları makaleler, kitaplar, bildiriler gibi yayınlar hakkındaki bilgileri içeren bibliyografik verilerin istatistiksel ve matematiksel olarak incelenmesini gerçekleştirmektedir. Araştırmacılar bibliyometrik analizi bilimsel, akademik veya teknolojik literatürün yapısı ve etkisi hakkında fikir edinmek için kullanmaktadır (Aker ve ark., 2023) Bibliyometrik analiz bilim, teknoloji, tıp ve sosyal bilimler de dahil olmak üzere çeşitli alanlarda araştırmacıları, politika yapıcılarını ve kurumlarını belirli bir alandaki bilgi durumu ve araştırma eğilimleri hakkında bilgilendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Araştırmanın etkisini değerlendirmek, araştırma boşluklarını belirlemek ve gelecekteki araştırma yönlerine rehberlik etmek için değerli bir araçtır.

Bibliyometrik Analiz yapmak için bazı teknikler geliştirilmiştir. Bu çalışmada VOSviewer programı yardımı ile analiz çalışmasına yer verilmiştir.

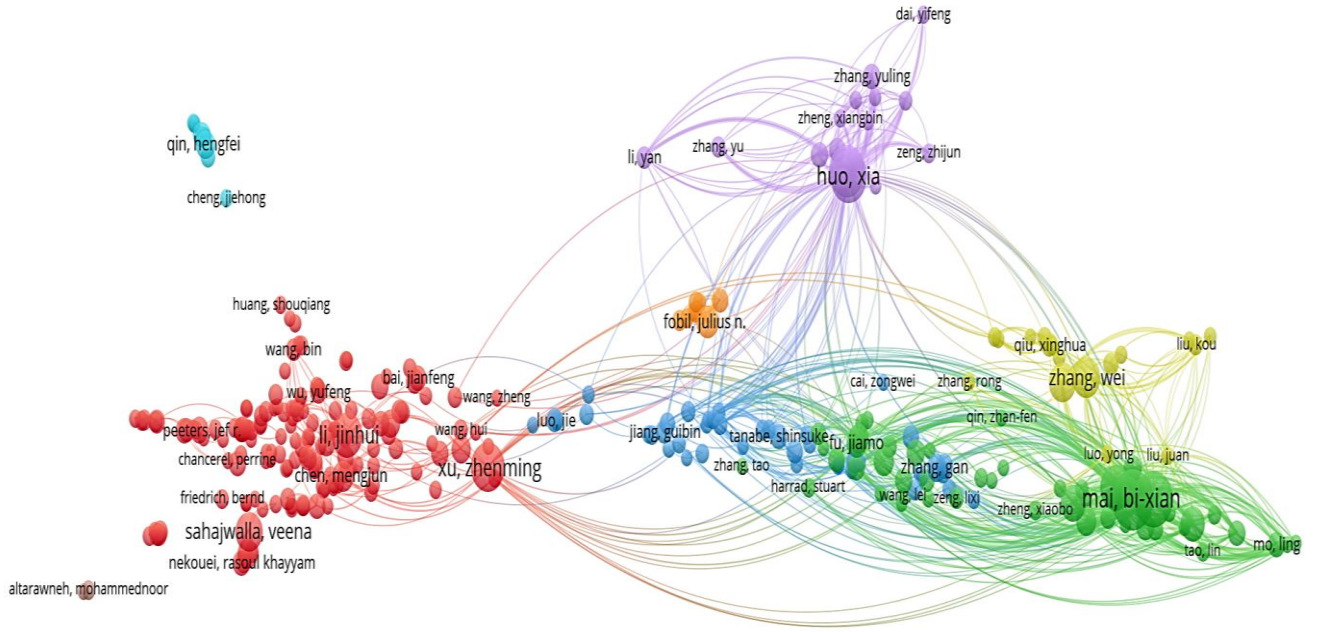
VOSviewer programı kümeleme yöntemi ile her bir kümenin farklı bir renkle işaretlenmesi ve sınıflandırılması ile oluşturulan haritalama yöntemine dayalı olarak çalışmaktadır (Van Eck ve ark., 2010; Kurutkan ve Orhan, 2018). VOSviewer programı bilimsel yayınlar, dergiler, araştırmacılar, araştırma kuruluşları, ülkeler, anahtar kelimeler ve terimlerden meydana gelen ağlardaki öğelerden yararlanarak; ortak yazar (co-authorship), birlikte bulunma (co-occurrence), atıf (citation), bibliyografik eşleşme (bibliographic coupling) ve ortak atıf (cocitation) analizlerini gerçekleştirmektedir (Arslan, 2022).

3. Bulgular ve Tartışma

Elde edilen verilerin VOSviewer programı yardımı ile bibliyometrik haritalaması yapılmıştır. Bu bağlamda çalışmalar, atıf-kaynak analizi, yazar-atıf analizi, yazarların ortak atıf analizi, anahtar sözcük analizi, ortak yazar analizi, yazar-ülke analizi açısından detaylı olarak ele alınmıştır. Elde edilen haritalarda yer alan düğümlerin boyutu e-atıkların geri kazanımı konusu ile ilgili yapılan makale sayısını göstermektedir. En büyük düğüm en çok çalışmayı temsil etmektedir. Düğümler arasındaki bağlantı çizgilerinin kalınlığı düğümlerin bağlantılarının yakınlığını, düğümlerin ve çizgilerin rengi ise konularının benzerliğini temsil etmektedir (Cao ve ark., 2023).

Tablo 1. E-Atıkların geri dönüşümü konusunda en çok atıf alan yazarlar

Sıra	Yazar	Atıf sayısı	Makale Sayısı	Diğer yazarlar ile bağlantı gücü
1	Mai, Bi-Xian	3436	64	2789
2	Luo, Xiao-Jun	3249	56	2603
3	Huo, Xia	2680	51	2131
4	Xu, Xijin	2637	48	2094
5	Chen, She-Jun	2582	35	1852
6	Wong, Ming	1465	8	660
7	Wu, Jiang-Ping	1359	22	1284
8	Yang, Zhong-Yi	1258	13	1078
9	Li, Jinhui	1220	36	597
10	Fu, Jiamo	1142	16	716



Şekil 2. VOSviewer programı ile yapılan yazar-atıf ilişkisi bilimsel haritası

Tablo1’de ve Şekil 2’de görüldüğü üzere e-atık geri dönüşümü konusunda yapmış olduğu çalışmalara en çok atıf alan araştırmacı en büyük düğüme sahip olan Mai Bi-Xian’dır. Yazar yapmış olduğu 64 çalışmaya 3436 atıf almıştır. 2. Sırada 56 makale, 3249 atıf ile Luo Xiao-Jun, 3. Sırada 51 çalışma, 2680 atıf ile Huo Xia yer almaktadır. Atıf sıralamasında en çok dikkati çeken yazar 6. sırada yer alan Wong, Ming olup yazarın yapmış olduğu çalışma sayısı sadece 8’dir. Yazarın az sayıdaki makalesi olmasına rağmen yüksek oranda atıf alarak 298 yazar arasında üst sıralarda yer aldığı görülmektedir. Birbirine yakın konumlanan, aynı düğüm ve çizgi rengine sahip yazarlar benzer konularda çalışma yapmaktadır.

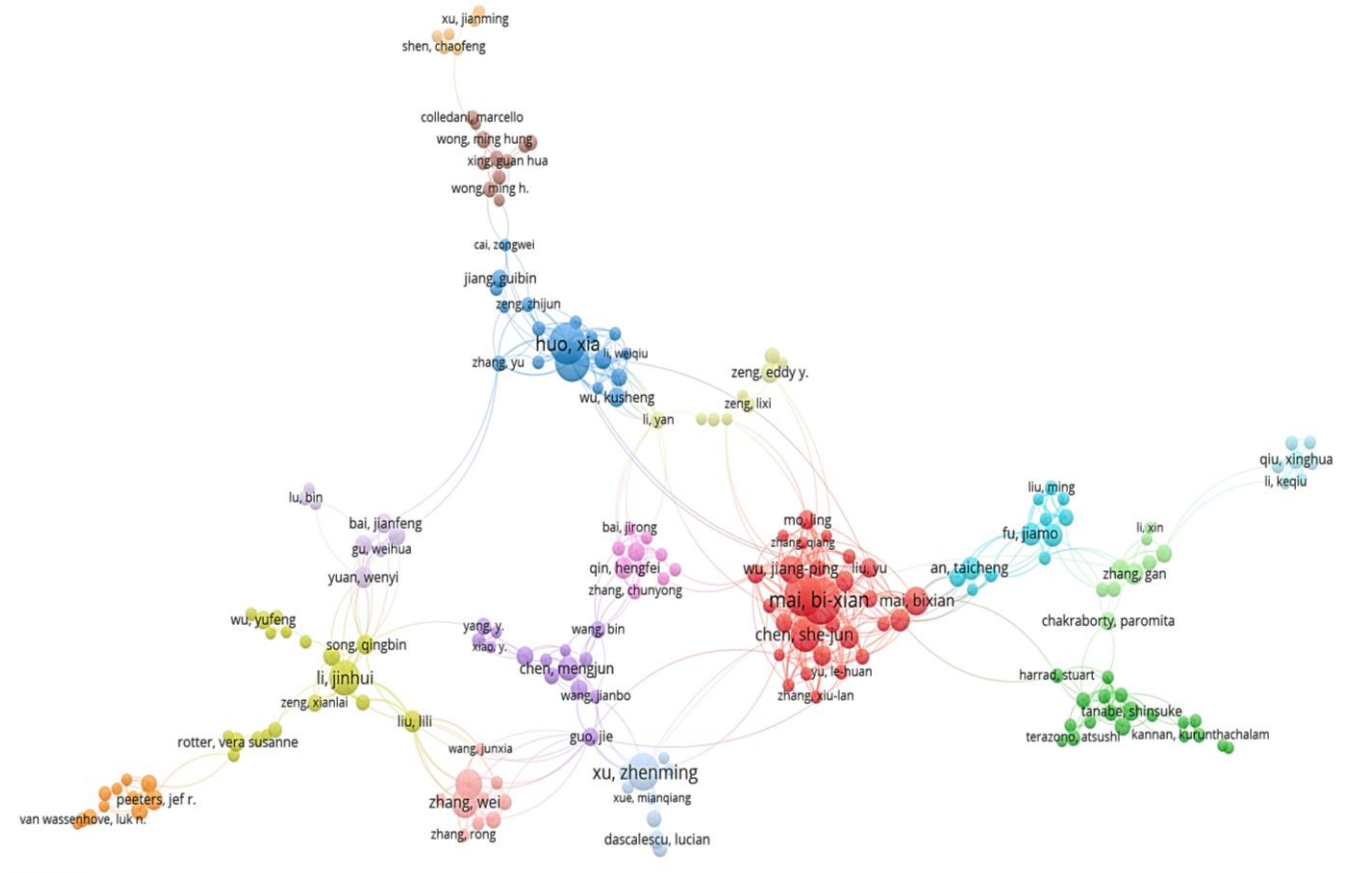
3.3. Anahtar Sözcük Analizi

VOSviewer programı aracılığı ile anahtar kelime analizi yapmak için 3182 makale için program çalıştırılmıştır. Sonuç olarak toplamda 5962 anahtar kelime kullanıldığı belirlenmiş ve en az 5 çalışmada geçmesi koşulu ile bu kelimeler sınırlandırılmıştır. Sınırlandırma neticesinde 305 adet anahtar kelime

En az 5 çalışmada geçen 305 anahtar kelimenin kullanım sıklıklarının ve bağlantı güçlerinin yer aldığı haritalama ise Şekil 3'te görülmektedir.

3.4. Ortak Yazar Analizi

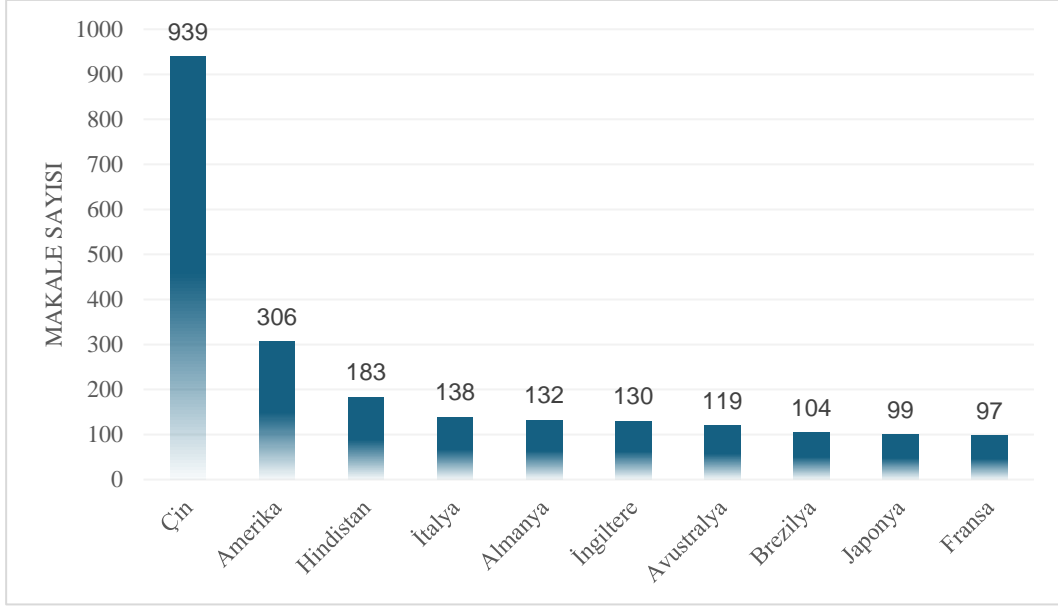
E-atıkların geri kazanımı konusunu araştıran araştırmacıların bilimsel iş birliği yapısını belirlemek üzere VOSviewer programında ortak yazar analizi yapılmıştır. Çalışmaların tamamında toplam 8029 yazar yer almaktadır. Analizi gerçekleştirirken haritanın daha anlaşılır olması için bu alanda en az 5 makalesi olan araştırmacılar filtelenmiştir. Kalan 298 yazar üzerinden haritalama yapılarak Şekil 4 elde edilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere bu konunun öncüleri olan Mai, Bi-Xian ve iş birliği içerisinde olduğu yazarlar aynı renkte ve birbirine yakın olarak kümelenmiştir. Huo, Xia ve ortak çalışmalar yaptığı araştırmacılar aynı renk ve yakın konumda bulunmaktadır. Ayrıca ayrı ayrı kümelenen yazarların birbirleri ile de bağlantıları haritada görülmektedir.



Şekil 4. VOSviewer programından elde edilen ortak yazar analizi bilimsel haritası

3.5. Yazar-Ülke Analizi

Çalışma sayısı 1, atıf sayısı 0 alınmıştır. 92 ülkenin her biri için, diğer ülkelerle olan bibliyografik eşleştirme bağlantılarının toplam gücü hesaplanmıştır. Daha sonra toplam bağlantı gücü en yüksek olan 92 ülke seçilerek harita oluşturulmuştur. Harita üzerindeki ülkeler arasındaki ilişki bağları oldukça



Şekil 6. 2003-2022 yılları arasında e-atık geri dönüşümü üzerine yapılan çalışmaların ülkelere dağılımı

E-atık geri dönüşümü üzerine 2003-2022 yılları arasında yapılan 3182 çalışmanın 939'unun Çin'de olduğu ve bu alanın öncü ülkesinin Çin olduğu Şekil 6' da görülmektedir. 2. Sırada ise çok daha düşük sayıda çalışma ile 306 makalenin yapıldığı Amerika bulunmaktadır. Sonrasında sırasıyla, birbirine daha yakın sayıda makalenin yapıldığı Hindistan, İtalya, Almanya ve İngiltere gelmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada Web Of Science veri tabanı kullanılarak e-atıkların geri kazanımı konusunda yapılan makalelerin 20 yıllık bir süreci kapsayacak şekilde bibliyometrik haritalaması yapılmıştır. Analiz çalışması için tarama neticesinde elde edilen makaleler detaylı incelenerek alakasız olanları elenmiş ve sonuç olarak toplam 3182 çalışmaya ilişkin veriler VOSviewer programında incelenmiştir. Analizde dergiler, yazarlar, ülkeler, kurumlar ve aralarındaki ilişkiler ele alınmıştır. Aynı zamanda çalışmalar aldıkları atıflar açısından ve kullanılan anahtar kelimeler açısından da analiz edilmiştir. Sonuç olarak ilgili konuda en çok çalışma yapan ve diğer araştırmacılardan en çok atıf alan araştırmacının Mai, Bi-Xian olduğu, en çok çalışma yapılan ülkenin ise diğer ülkelere göre yüksek bir oranla Çin olduğu tespit edilmiştir. Çin'in hızlı gelişen teknolojisi, elektrikli ve elektronik eşyaların üretimindeki rolü ve yüksek nüfus potansiyeli dikkate alındığında e-atıklar ile ilgili en çok problem yaşayan ülke olduğu düşünülmektedir. Bu açıdan bakıldığında diğer ülkelere göre daha fazla araştırmacının yapıyor olması ve böyle büyük bir problem karşısında kalıcı çözümler araması kaçınılmaz olmaktadır. Çalışmaların geneline bakıldığında en çok kullanılan anahtar sözcükler "recycling" ve "e-waste" olmuştur. Programdan elde edilen sonuçlarda "recycling" kelimesi en çok kullanılan kelime gibi görünse de gerçekte, "e-waste", "electronic waste" ve "WEEE" aynı anlamlara geldiği için e-atık kavramının en çok kullanılan anahtar sözcük olduğu söylenebilmektedir. Yapılan bu çalışmayla e-atıkların geri dönüşümü konusunda yapılan makaleler, bundan sonra yapılacak makalelere yön verecek şekilde

sınıflandırılmış ve görselleştirilmiştir. İlerleyen süreçte farklı veritabanlarından yapılan taramalardan elde edilen makaleler de eklenerek analiz kapsamının genişletilmesi, ayrıca VOSviewer programı yanında bibliyometrik haritalama yapılan “CiteSpace”, “Bibexcel”, “Scimat”, Vivo, Histcite, Ucinet, Pajek gibi programların da kullanılması düşünülmektedir.

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

- Aker H., Ateş C., Gencer M. Radyo, televizyon ve sinema anabilim dalının göstergibilim ile imtihanı: Bibliyometrik bir analiz. *Medya ve Kültürel Çalışmalar Dergisi* 2023; 5(2): 23-43.
- Arslan E. Sosyal bilim araştırmalarında VOSviewer ile bibliyometrik haritalama ve örnek bir uygulama. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2022; 22(Özel Sayı 2): 33-56.
- Cao Y., Wang X., Yang Z., Wang J., Wang H., Liu Z. Research in marine accidents: A bibliometric analysis, systematic review and future directions, *Ocean Engineering*, 2023; 284: 115048.
- Chakraborty SC., Qamruzzaman M., Zaman MWU., Alam M, Hossain D., Pramanik BK., Nguyen LN., Nghiem LD., Ahmed MF., Zhou JL., Mondal IH, Hossain MA., Johir MAH., Ahmed MB., Sithi JA., Zargar M., Moni MA. Metals in e-waste: Occurrence, fate, impacts and remediation technologies, *Process Safety and Environmental Protection*, 2022; 162: 230-252.
- Gao M., Chen Y. Multi-agent collaborative model of e-waste recycling, *Journal of Environmental Management* 2024; 349, 119457.
- Herat S., Agamuthu P. E-Waste: A problem or an opportunity? Review of issues, challenges and solutions in Asian Countries, *Waste Management & Research*, 2012; 30: 1113-1129.
- Hsu J., Wang, J., Stern, M. E-Waste: A global problem, its impacts, and solutions. *Journal of Global Information Management* 2024; 32(1): 1-28.
- Kurutkan MN., Orhan F. Sağlık politikası konusunun bilim haritalama teknikleri ile analizi. *İksad Yayınevi*, 2018.
- Liu K., Tan Q., Yu J., Wang M. A global perspective on e-waste recycling. *Circular Economy* 2023; 2(1): 100028.
- Neves SA., Marques AC., Silva IP. Promoting the circular economy in the EU: How can the recycling of e-waste be increased?. *Structural Change and Economic Dynamics* 2024; 70: 192-201.
- Öztürk N., Kurutkan MN. Kalite yönetiminin bibliyometrik analiz yöntemi ile incelenmesi. *Journal of Innovative Healthcare Practices* 2020; 1(1): 1-13.

- Rinanda R., Sun Y., Chang K., Sulastri R., Cui X., Cheng Z., Yan B., Chen G. Plastic waste management: A bibliometric analysis (1992–2022). *Sustainability* 2023; 15: 16840.
- Robinson Brett H. E-waste: an assessment of global production and environmental impacts. *Science of the Total Environment* 2009; 408(2): 183-191.
- Shreyas Madhav AV., Rajaraman R, Harini S., Kiliroor CC. Application of artificial intelligence to enhance collection of E-waste: A potential solution for household WEEE collection and segregation in India. *Waste Manag Res.* 2022 Jul; 40(7): 1047-1053.
- Van Eck NJ., Waltman L., Noyons ECM., Buter RK. Automatic term identification for bibliometric mapping. *Scientometrics* 2010, 82, 581–596.
- Xia J., Ghahreman A. Sustainable technologies for the recycling and upcycling of precious metals from e-waste. *Science of The Total Environment* 2024; 916: 1-19.
- Yuhao Cao., Xinjian Wang., Zaili Yang., Jin Wang., Huanxin Wang., Zhengjiang Liu. Research in marine accidents: A bibliometric analysis, systematic review and future directions. *Ocean Engineering*, 284, 2023, 115048.



Kamu İçin Teknoloji Tahmin ve Öngörüsü Hakkında Yeni Bir Model Tasarımı: Kamu Politikaları İçin Savunma Sanayii Teknoloji Öngörüsü Modeli

Turgut Muhammet ÇALIŞKANLAR^{1*}, Serhat ÇAKIR²

¹Milli Savunma Üniversitesi Alparslan Savunma Bilimleri ve Milli Güvenlik Enstitüsü Savunma Yönetimi ABD Dok. Öğrencisi, Ankara

²Başkent Üniversitesi, Etimesgut-Ankara

¹<https://orcid.org/0000-0002-7241-2827>

²<https://orcid.org/0000-0002-1588-1360>

*Sorumlu yazar: mtcaliskanlar@gmail.com

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 28.11.2023

Kabul tarihi: 28.05.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

İnsansız kara araçları sistemleri

İKAS

İKA

Teknoloji öngörüsü

Teknoloji tahmini

Kamu politikaları

Çalışmada Savunma Sanayii özelinde kamuda kullanılmak üzere Teknoloji Tahmin ve Öngörü Metotlarının birlikte kullanılmasına imkân sağlayan “Kamu Politikaları İçin Savunma Sanayii Teknoloji Öngörüsü Modeli” açıklanmıştır. Çalışmada İnsansız Kara Araçları Sistemleri (İKAS) Teknoloji Öngörüsü konulu “Delphi Sorgulaması” sonuçları ile yapılan bibliyografik araştırmanın verilerinden istifade edilmiştir. Amaç modelin anlatılması olduğu için veriler anonimleştirilerek sadece bir tutamak ve hedef kitlenin anlamasını kolaylaştırıcı bir ortam sunmak amacıyla kullanılmıştır. Sunulan verilerden istifade edilerek kısa, orta ve uzun vadede iyimser, öngörülen ve kötümser senaryolar üretilmiş ve Savunma Sanayii Politikalarına nasıl yansıtılabileceğine dair örnek bir politika tavsiyesi sunulmuştur. Tasarlanan çalışmada hangi teknolojilere kısa, orta ve uzun vadede yatırım yapılırsa daha etkin sonuçlar elde edilebileceğine dair örnek tavsiyeler sunulmuş ve modelin geliştirilmeye ihtiyaç duyulabilecek yanları tartışılmıştır.

Design of a New Model on Technology Forecast and Foresight for the Public: Defense Industry Technology Foresight Model for the Public Policies

Research Article

Article History:

Received: 28.11.2023

Accepted: 28.05.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

Unmanned ground vehicle systems

UGVS

UGV

Technology foresight

Technology forecast

Public policies

ABSTRACT

The article explains the "Defense Industry Technology Foresight Model for Public Policies" that allows the use of Technology Forecast and Foresight Methods together for both the Defense Industry and the public sector. The study benefitted the data of the bibliographic research and the results of the "Delphi Query" on Unmanned Ground Vehicle Systems (İKAS) Technology Foresight. Since the purpose is to explain the model, the data was anonymized to facilitate the understanding of the target audience. With the help of data, optimistic, predicted and pessimistic scenarios in the short, medium and long term were produced, and an exemplary policy recommendation with reflections on which technologies could be invested in in the short and medium term for more effective results are presented. By the way, the article also discussed the parts of the model that may need improvement.

1. Giriş

Savaşın değişen karakterini meydana getiren teknolojik yenilikler, farklı doktrinler, yeni silah sistemleri ve bunların geçmişten farklı kullanımları savaşın diğer bilinmeyenlerine ilave olduğunda bulanık öngörülmesi çok güç bir ortam yaratmaktadır. Ünlü stratejist Carl Von Clausewitz tarafından bu durum savaşın sisi (Clausewitz, 2008) diye adlandırılmıştır. Günümüzde yaygın olarak karşılaşılan ve birçok farklı imkân kabiliyeti, farklı amaçlara ulaşmak için farklı yollarla (Heffington ve ark., 2019) kullanmayı içeren hibrit savaş (Hoffman, 2007) savaşın sisini daha da koyulaştırarak, karar vericilerinin işini daha da zorlaştırmaktadır. Savaşa hazırlığın taktik hazırlıkları bir yana, teknolojik olarak orduların teçhiz ve donatılması da aynı problemle karşılaşmaktadır. Hasım ülkenin ya da devlet dışı muhasımın bugün sahip olduğu tüm hazırlıklar ve teknolojiler bilinse bile gelecekte ulaşacağı kapasite ve yeteneklerin tam olarak bilinmesi mümkün olmamaktadır. Bugünün imkânlarıyla tedarik edilen yeteneklerin ve savunma kapasitesinin, gelecekteki düşmana karşı ne kadar yeterli olabileceği ucu açık ve savaşın sisi kadar belirsiz bir konudur. Bu cevaba yönelik çözümler genellikle ya teknoloji tahmini ya da teknoloji öngörüsü ile verilmeye çalışılmakta, bir veya daha fazla üretilen senaryolar ile geleceğin savunma teknolojilerine ışık tutulmaya çalışılmaktadır.

Yapılan literatür taramasında Türkiye Savunma Sanayi devlet kurumları tarafından kullanılmak üzere geleceğin savunma teknolojilerinin tahmin veya öngörüsüne ait bir akademik çalışmanın olmadığı tespit edilmiştir. Bu makalede yapılan tasarım; kısa vadede gerçekleşmesi mümkün teknolojik yenilik ve gelişmelerin zaten başlatılmış olduğu, bu nedenle tamamlanma tarihinin tahmin edilebileceği, ancak orta ve uzun vadede benzer şekilde yapılacak tahminlerin yeterli olmayabileceği, ayrıca bir yenilik veya geliştirmeyi gerçekleştirmenin olumlu etkileri olduğu gibi olumsuz etkileri de olabileceği savından yola çıkılarak geliştirilmiştir. Bu yaklaşıma göre kısa dönemi takip eden orta ve uzun vadede gerçekleşmesi muhtemel teknolojik yenilik veya gelişmelerin yaratacağı etki nedeniyle farklı senaryolarla karşılaşılması kaçınılmazdır. Kamuda politika belirleme konusunda edinilen tecrübeler ışığında tasarlanan teoriye göre; kısa, orta ve uzun vadede gerçekleşmesi olası teknolojik yenilik ve gelişmelerin “Delphi metoduyla” (Khodyakov ve ark., 2023) yapılan tahmininden yola çıkılarak kısa, orta ve uzun döneme ait senaryolar oluşturulması, uygun ve uygulanabilir bir yaklaşım olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada veri toplamak maksadıyla Delphi metodu tercih edilmiştir. Delphi metodu uzman grubun bilgi ve görgüsünün diğer üyelerle paylaşılması ve ortak bir fikre ulaşılması için odak grup çalışmasıyla beraber kullanılan iki yaygın metottan biridir. Odak gruba göre daha fazla katılımcının fikirlerine ulaşılmasına imkân sağlaması Delphi metodunun tercih edilmesinde etkili olmuştur. Makale ile Kamu için teknoloji tahmin ve öngörüsü yapılabilmesine imkân sağlayan model açıklanmaya çalışılmıştır. Makalenin “Giriş” bölümünde, neden böyle bir tasarıma ihtiyaç duyulduğu ve makale hakkında kısa

bilgi sunulmuştur. Makalenin ikinci bölümü olan “Materyal ve Metot” bölümünde tasarlanan model ve dayandırılan yaklaşımlar aşama aşama açıklanmıştır. Makalenin üçüncü bölümü olan “Bulgular” bölümünde elde edilen veriler istihbarata karşı koyma nedenleriyle isim belirtilmeden ve modelin açıklanmasını etkilemeyecek şekilde azaltılarak paylaşılmış ve veriler ışığında hazırlanan örnek senaryolar paylaşılmıştır. Makalenin dördüncü bölümü olan “Tartışma” bölümünde modele yönelik gelecekte geliştirilmesine ihtiyaç duyulan konular paylaşılmıştır. Makalenin son bölümü olan “Sonuç” bölümünde makalenin amacı yinelenmiş ve özet olarak ulaşılan sonuç ifade edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

“Kamu Politikaları İçin Savunma Sanayii Teknoloji Öngörüsü Modeli” bu alandaki benzer çalışmalardan esinlenerek geliştirilmiştir. Örnek olarak; Andrew Flostrand, Leyland Pitt ve Shannon Bridson’nın 1975 ve 2017 yılları arasında Delphi tekniği kullanılarak yapılan çalışmaları inceleyen bibliyografik çalışmasına göre sadece 2015 yılında 300’e yakın geleceği tahmin maksadıyla Delphi metodu kullanıldığı tespit edilmiştir (Flostrand ve ark., 2020). Martin Raymond 1993 yılında Birleşik Krallık’ta yapılan çalışmada “ön-öngörü”, “öngörü” ve “Öngörü-sonrası” olmak üzere üç aşamalı bir çalışma yapmıştır (Martin, 1995). Modele en yakın çalışma ise Nurdan Yüksel ve Hasan Çifci’nin geliştirdiği bir dizi sistematik aşama sonucunda öngörü geliştirmeye dayanan “Öngörü Periskop” modelidir (Yüksel ve Çifci, 2017). Makalede sunulan model, bahsedilen birçok çalışmadan esintiler içermekle birlikte Kamu personeli tarafından kullanılması maksadıyla basitleştirilmiş ve özgün senaryo geliştirme usulüyle diğerlerinden ayrılmaktadır.

Modelin ilk aşamasında, politika üretilmesi planlanan konuya ilişkin bibliyografik araştırma yapılmakta, paydaşlar tespit edilmekte, bilgi paylaşımının nasıl yapılacağına ilişkin kurallar tespit edilmektedir.

Modelin ikinci aşamasında, yapılan bibliyografik çalışmadan elde edilen veriler ışığında tespit edilen konuya yönelik vizyon belgesi, stratejik faaliyet alanları ve stratejik faaliyet alan hedefleri ve alt hedefleri hazırlanmaktadır. Yapılan çalışmalar aşama aşama uzman grupla paylaşılmakta ve onlardan geri beslemeler alınmaktadır. Bu süreç dinamik bir süreç olmakla birlikte ağırlıklı olarak süreci yöneten kişinin liderliğinde gelişmektedir.

Modelin üçüncü aşamasında, elde edilen verilerin ışığında taslak teknoloji tahmini yapılmakta ve sürece etki eden faktörlerden “Delphi Cümlecikleri” elde edilmektedir. Delphi Cümleciklerinin üretilmesinde kılavuz olması maksadıyla tecrübi olarak derlenmiş aşağıdaki jenerik sorulara cevap aranmaktadır;

- Pazar büyüklüğü nedir, teknolojik yeniliklere ve geliştirmelere etkisi (impact) nedir?
- Konuya ilişkin gerçekleşmiş veya projelendirilmiş yenilikler nelerdir, etkisi nedir?
- Konuya ilişkin yapılan yüksek lisans ve doktora tezleri nelerdir, etkisi nedir?

- Konuya ilişkin alınan patentler nelerdir, etkisi nedir?
- Bu konuda Türkiye'deki araştırmacılar kimlerdir, etkisi nedir?
- Bu konuda Türkiye'de hâlihazırda ne araştırılmakta ve etkisi nedir?
- Konuya ilişkin Savunma Sanayi Bütçe gelişimi nasıldır?

Modelin dördüncü aşamasında, Delphi Sorgulaması yapılmakta, sorgulamaya katılan kişinin uzmanlık seviyesinin tespiti sonrasında Delphi Cümlecığının gerçekleşme zamanı, gelecekteki durumun olumlu ve olumsuz etkileri konusunda ortak bir fikre varılmaya çalışılmaktadır. Delphi Sorgusu en az iki defa yapılmakta, ortak bir fikre varıldığına kanaat edilene kadar devam edilebilmektedir.

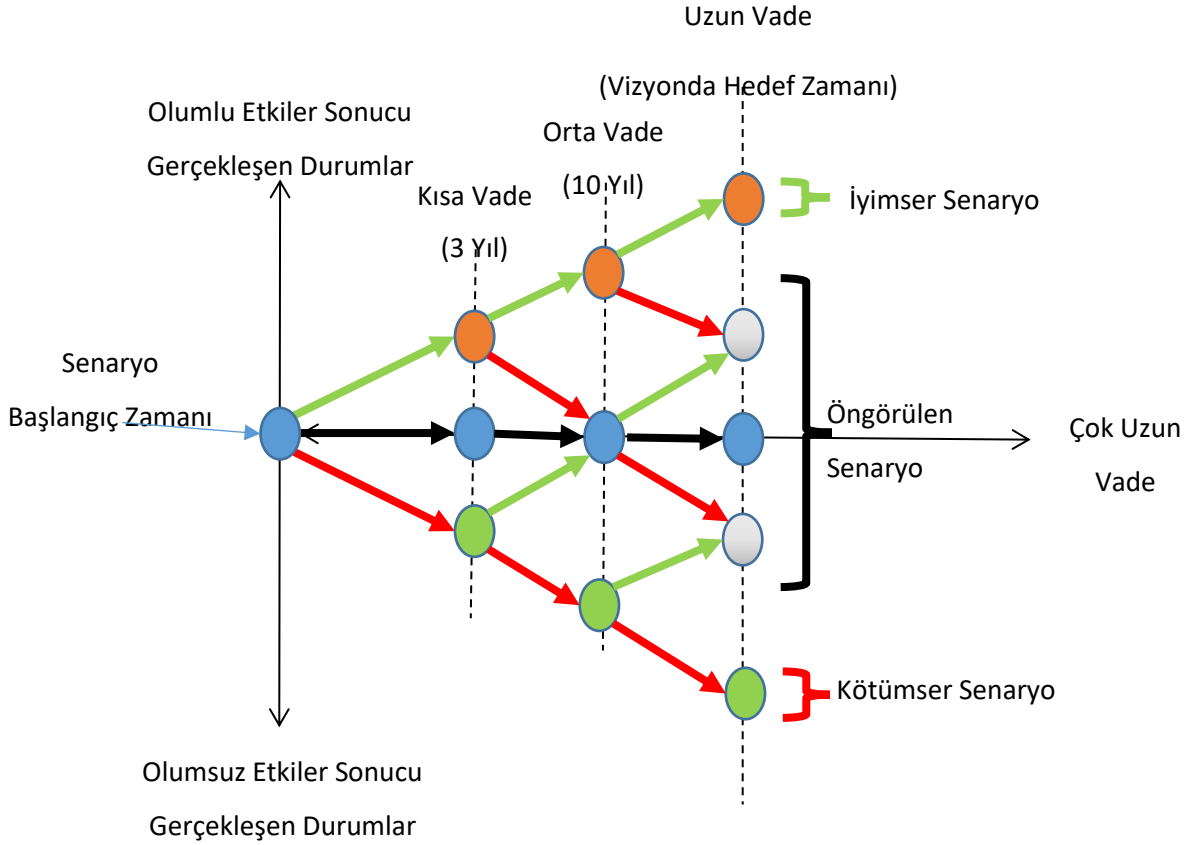
Modelin beşinci aşamasında, elde edilen sonuçlar ışığında stratejik faaliyet alanlarına ilişkin iyimser, öngörülen ve kötümser senaryolar üretilmektedir.

Modelin altıncı ve son aşamasında elde edilen senaryolar bütüncül bir politika tavsiyesi haline dönüştürülmektedir. Tavsiye belgesi genel olarak öngörülen senaryonun gerçekleştiği, senaryolardaki olumlu gelişmelerin fırsat, olumsuz gelişmelerin ise risk ve tehdit kabul edilerek tedbir getirildiği bir belge olarak tanzim edilmektedir. Politika tavsiye belgesi tamamlandığında aşağıdaki jenerik sorulara tatminkâr cevaplar verilmek suretiyle, geçerlilik testinden (Heffington ve ark., 2019) geçirilmekte akabinde yayınlanmaktadır. Politika Tavsiye Belgesinin son kısmında konuya ilişkin uzmanlarca sunulan şerhlere de yer verilerek politika belgesinin eleştirisi yapılmakta böylece karar vericilerin gerçekler konusunda azami seviyede bilgilendirilmesi sağlanarak bilgi asimetrisinden kaynaklanacak vekalet problemlerinin (Eisenhardt, 1989) de önüne geçilmesi hedeflenmektedir.,

- **Uygunluk:** Tespit edilen tavsiyeler hedeflere ulaşılmasını sağlıyor mu?
- **Uygulanabilirlik:** Tespit edilen tavsiyeler mevcut imkânlarla yerine getirilebilir mi?
- **Kabul Edilebilirlik:** Maliyet-etkin mi, karar vericiler tarafından kabul edilip teklif edilir mi?
- **Onaylanabilirlik:** Hukuk ve mevzuata uygun mu, onay makamlarınca uygun görülür mü?
- **Sürdürülebilirlik:** Gelecekteki liderler tarafından kabul görüp sürdürülür mü?

Model de tahmin ve öngörü yaklaşımları beraber kullanılmıştır. Tahmin geçmiş verilere bakılarak gelecek hakkında yargıya varmaktır (Strischek, 2016). Modelde tahmin yapılırken hem stokastik hem de deterministik yaklaşımlar beraber kullanılarak eğilimler ve geleceğe yönelik zayıf sinyaller tespit edilmeye çalışılmıştır (Nikolopoulos ve Thomakos, 2019). Model için tahmini yapılan konu belirli bir olgunun belirli bir tarihteki durumundan ziyade, hangi teknolojilerin tespit edilen vizyona ulaşılmasında etkili olacağı tahmin edilmesidir. Bu maksatla bibliyografik araştırmanın yanı sıra, tez çalışması kapsamında veri toplanmaya başlanan Ağustos 2022 tarihinden günümüze kadar anahtar kelimelerle araştırma yapılmış ve öngörülebilir temel alınacak teknolojilerle ilgili tahmin yapılmıştır. Ayrıca tez çalışması web sayfasında Delphi cümlecikleri ve konuya ilişkin elde edilenler paylaşılarak yapılan tahminle ilgili uzmanların görüşü alınmış, tespit edilen teknolojilerin tutarlılığı sorgulanmıştır.

Modelde kullanılan ikinci temel yaklaşım ise öngörüdür. Tahmin geçmiş verilerin sağladığı verileri kullandığı için nispeten tutarlı sonuçlar verdiği düşünülebilir ancak hiçbir veri ya da zayıf sinyal barındırmayan o anda tasarlanan veya bir ihtiyacı gidermek üzere yakın gelecekte tasarlanacak teknolojiler de İKAS konusunda belirleyici olabilir. Bu nedenle modelin üçüncü aşamasında yapılan teknoloji tahmini uzmanların konuya ilişkin görüşleri de alınarak öngörü ile desteklenmekte ve bu konudaki açık giderilmeye çalışılmaktadır. Çalışmayı diğer çalışmalardan ayıran en büyük farklılıkta yapılan bu özgün tasarımda göstermektedir. Çalışmada, tahmin ile gelecek hakkında geçmiş veriler temelli yargılara varılırken, öngörü ile ağırlıklı olarak gelecek hakkında düşünmeye odaklanılmaktadır. Öngörü yapılırken belirli bir hedef doğrultusunda ufuk ötesini hayal ederek teknolojik eğilimlerden sonuçlar çıkarılmasının ve gelecekle ilgili senaryolar hazırlanmasının daha uygun olabileceği değerlendirilmiştir (OECD, 2023). Bu nedenle de modelde öngörü oluştururken ağırlıklı olarak senaryo geliştirme üzerine odaklanılmıştır. Düşünceye göre her senaryo tespit edilen faktörlerin etki değerleri ışığında ya öngörüldüğü şekilde gerçekleşir ya da öngörülenden olumlu veya olumsuz şekilde sapar. Öngörü modelleri genelde zaman ifadeleri kullanmaktan imtina ederler (Makarova ve Sokolova, 2014) çünkü asıl amaç gelecek hakkında düşünmek onu planlamaktır. Ancak kamu politikası oluşturan yetkililerin zamandan bahsetmemesi mümkün değildir. Çünkü onların belirlediği vizyon ve hedeflerin kamu politikalarına yansımaları genellikle belirli bir zaman diliminde gerçekleştirilmek üzere planlanan projeler şeklinde olmaktadır (PMI, 2017). Tasarlanan modelde kamu bütçe planlamalarında mevcut planlamaların revize edildiği üç yıl kısa vade, takip eden 10 yıl orta vade, vizyon belgesinde bahsi geçen belirli yıl uzun vade ve bu süreden ötede belirsiz bir geleceği ifade eden süre ise çok uzun vade olarak belirtilmiştir. Çok uzun vade; bir planlama verisi olarak tasarlanmış olup onun üzerine doğrudan bir senaryo tasarlanmamıştır. Şekil-1’de tasarlanan öngörü modeli gösterilmektedir. Modelde tahmin ve öngörüler neredeyse her aşamada beraber kullanılmıştır. Modelden, “Türkiye Savunma Sanayiinde 2040 yılını hedef alarak, (İnsansız Kara Araçları Sistemleri) İKAS konusunda teknoloji öngörüsünde bulunulması ve İKAS alanında yapılması gerekenlerin sistematik olarak belirlenmesi” konulu Doktora Tezinde istifade edilmiştir. Modeli açıklamak için gizlilik göz önünde bulundurularak elde edilen verilerden de istifade edilmiştir. Çalışma kapsamında Delphi cümlecikleri tahmin edilirken ortak bir terminoloji kullanılmasını temin maksadıyla, Savunma Sanayii Teknoloji Taksonomisi 2.0’dan (SSB, 2020) istifade edilmiş, uzman grubunun katkıları ile Delphi cümleciklerinin son hali verilmiştir. Uzman grubun görüşleri doğrultusunda geleceğe yönelik olası eğilimler ve bunların etkileri konusunda grup tahminleri alınmış (Strischek, 2016), akabinde alınan tahminler doğrultusunda fırsat ve riskleri de içerecek şekilde kısa, orta ve uzun vadeler için senaryolar geliştirilmiş ve öngörü çalışması yapılmıştır. Senaryo geliştirilirken temel düşünce olası olumlu ve olumsuz etkilerin senaryo uzayına etkilerinin farklı olacağı yönündedir. Örneğin Delphi cümlecisi olarak ifade edilen A ifadesinin olumlu etkisinin çok büyük olacağı tahmin edilirken, gerçekleşmediği takdirde beklenen olası olumsuz etkisinin daha küçük olabileceği kabul edilmektedir. Senaryo geliştirilirken kullanılan başka bir yaklaşımda olumlu ve



Şekil 1. Senaryo geliştirme modeli

olumsuz olasılıkların beraber değerlendirilmesi olmuştur. Örneğin, tahmin edilen bir zaman ifadesinin %70 olasılıkla gerçekleşmesi bekleniyorsa, aynı şekilde %30 olasılıkla da gerçekleşmeyebileceği kabul edilmektedir.

3. Bulgular

Modelin kullanıldığı tez çalışmasına ilişkin veri toplama çalışmalarına 13 Haziran 2022 tarihinde sunulan tez önerisinin kabulü ile başlanmıştır. Bibliyografik araştırma kapsamında 80 makale, yazı, doküman ve araştırma incelenmiş, 15 Ağustos 2022 ve 10 Kasım 2023 tarihleri arasında Google yapay zekâ alt yapısından istifade edilerek “İnsansız” ve “Kara” anahtar kelimeleri her gün aratılmak suretiyle Savunma Sanayiinde üretilen İKAS hakkında aynı tarihteki haberler birleştirilerek 125 grup kayıt altına alınmıştır. Elde edilen verilerin nitel ve nicel usullerin beraber kullanımıyla yapılan değerlendirme sonucunda konuya ilişkin diğer modellerden de esinlenerek (Martin, 1995; Hussain ve ark., 2017; Yüksel ve Çifci, 2017; Flostrand ve ark., 2020) mevcut model geliştirilmiştir. Ancak mevcut model aşamalar sonucu öngörüye ulaşılması ile diğer metotlara benzerlik içerse de senaryo geliştirme yaklaşımı ve politika tavsiyesi ile diğer çalışmalardan ayrılmaktadır. Modelde kullanılan sayısal verinin elde edilmesi maksadıyla stokastik ve deterministik trendlerin toplamının veri üretiminde kullanılmasını açıklayan aşağıdaki (1) nolu formülden (Nikolopoulos ve Thomakos, 2019) istifade edilmiştir. Y

üretmiş tahmin verisini, T tespit edilen eğilimi (Trend) ve S ise zayıf veya güçlü gürültü, hata veya arta kalan farkı (signal) ifade etmektedir.

$$Y = T + S \quad (1)$$

Formülize edilen kavrama göre hesaplanarak ve sonuçların Savunma Sanayii Teknoloji Taksonomisinde (SSB, 2020) belirtilen ortak terminolojiyle ifadesiyle Tablo 1’de belirtilen stratejik faaliyet alanı hedefleri, gerçekleşme zamanları, olumlu ve olumsuz etkileri tespit edilmiştir. Savunma Sanayii alanında olası bir bilgi kaçağına ve istihbarat zafiyetine izin vermemek adına bu makaledeki veriler anlatıma hanel getirmeyecek şekilde değiştirilmiş ve gerçeği ile uyumlu olmayan isimler kullanılmıştır. Verilerin değiştirilmesi bahse konu modelin sunumuna etki etmemektedir.

Tablo 1. Hedeflerin gerçekleşme durumlarının senaryolara etki değerleri

Stratejik Faaliyet Alanı Hedefi	Gerçekleşme Zamanı	Gerçekleşme İhtimali	İyimser Etkisi	Kötümser Etkisi
(D1)	Orta Vadede	%71	2,04	-0,35
(D2)	Orta Vadede	%70	1,98	-0,40
(D3)	Orta Vadede	%71	1,80	-0,18
(D4)	Kısa Vadede	%71	1,94	-0,40

Bu değerlerin her bir Stratejik Faaliyet Alanı Hedefi (SFAH) üzerinden değerlendirmesi yapıldığında iyimser ve kötümser senaryolarda tahmin grubundan elde edilen sonuçlar tek bir sonuca işaret ederken öngörülen tahminin belli bir salınım ile hareket ettiği görülmektedir. Aşağıdaki tablolarda her biri 1’den n’e kadar (D1...Dn) numaralandırılmış Delphi cümlelerine ait ve makaledeki tasarımı açıklamak için temsilen üretilmiş etki değerleri görülmektedir. Buradaki veriler doktora çalışmasındaki gerçek verileri ve değerlendirmeleri yansıtmamaktadır.

Tablo 2. D1 teknolojisi senaryo etki değerleri

Senaryolar	Kısa Vade	Orta Vade	Salınma	Uzun Vade	Salınma
İyimser	-0,31	1,70	0,00	3,74	0,00
Öngörülen	-0,31	1,25	0,00	2,51	1,26
Kötümser	-0,31	-0,81	0,00	-1,21	0,00

Tablo 3. D2 teknolojisi senaryo etki değerleri

Senaryolar	Kısa Vade	Orta Vade	Salınma	Uzun Vade	Salınma
İyimser	1,65	3,89	0,00	5,83	0,00
Öngörülen	0,42	1,04	0,62	3,06	2,028
Kötümser	-0,70	-0,81	0,00	-1,21	0,00

Tablo 4. D3 teknolojisi senaryo etki değerleri

Senaryolar	Kısa Vade	Orta Vade	Salınma	Uzun Vade	Salınma
İyimser	0,57	3,84	0,00	5,76	0,00
Öngörülen	-0,63	-0,16	0,471	1,76	1,921
Kötümser	-1,61	-0,73	0,00	-1,10	0,00

Tablo 5. D4 teknolojisi senaryo etki değerleri

Senaryolar	Kısa Vade	Orta Vade	Salınma	Uzun Vade	Salınma
İyimser	-0,29	1,80	0,00	3,88	0,00
Öngörülen	-0,29	0,47	0,00	1,13	0,66
Kötümser	-0,29	-0,57	0,00	-0,86	0,00

Tablo 6. Vizyonun teknoloji hedefi senaryo etki değerleri

Senaryolar	Kısa Vade	Orta Vade	Salınma	Uzun Vade	Salınma
İyimser	1,62	11,23	0,00	19,21	0,00
Öngörülen	-0,81	2,60	0,67	8,49	1,65
Kötümser	-2,91	-1,78	0,00	-4,86	0,00

Elde edilen veriler ışığında hesaplanan senaryoların temsili olarak verilmiş özeti aşağıda sunulmuştur;

Kısa Vadede;

- Vizyon teknoloji hedefine ulaşılması öngörülmemekle birlikte D2 stratejik teknoloji hedefi öncelikli olmak üzere D2 ve D3 stratejik teknoloji hedeflerine ulaşılması fırsat olarak değerlendirilerek vizyon teknoloji hedefine ulaşılması mümkün olabilir. D3 stratejik teknoloji hedefinin olumsuz etkilerinin D2 stratejik teknoloji hedefindeki olası fırsatları da etkisiz hale getirmesi riski bulunduğundan bu teknoloji hedefinde en azından öngörülen hedeflere ulaşılması önem arz etmektedir. Kaynak tahsislerinde D2 teknoloji hedefinin gerçekleştirilmesine öncelik verilirken, D3 teknoloji hedefinde olası kötümser senaryoların gerçekleşmesini engellemek amacıyla, tedbir getirilmelidir.
- D1 stratejik hedefinin başarılması beklenmemektedir. Halihazırda başlatılmış çalışmalarla D2 hedeflerine ulaşamazsa vizyon hedefinin sekteye uğramayacağı ancak olumsuz etkileneceği değerlendirilmektedir. Bu nedenle; D1 teknoloji hedeflerine ulaşılması ile ilgili planlı faaliyetlere devam edilmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir.
- D2 stratejik hedefinin başarılması yönünde halihazırda gelişmelerin bulunduğu ve kısa vadede hedeflenen teknolojilere ulaşılacağı beklenmektedir. Bu teknolojilerin vizyon hedefine

ulaşılmasında ciddi olumlu etkileri olacağı, ancak gerçekleşmediği takdirde büyük bir engelleyici vasfı bulunmayacağı değerlendirilmektedir. Bütçe ve kaynak ayrılmasında öncelikli olarak kaynak tahsis edildiği takdirde hızlandıran etkisi yapabileceği ve diğer SSB projelerinde de istifade edilebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

- D3 stratejik hedefinin başarılması yönünde ilave kaynak aktarımı ve yatırım yapılmadığı takdirde gelişme beklenmemektedir. Bu teknoloji hedefindeki başarısızlık diğer hedeflerden farklı olarak vizyon hedefinin elde edilmesini engelleyici yönde risk oluşturmaktadır. Bu nedenle D3 teknoloji hedefi yakından takip edilmeli ve beklenen senaryodan kötümser senaryoya dönmesini engelleyici tedbirler alınmalıdır.
- D4 stratejik teknoloji hedefinde kısa vadede olumlu gelişme beklenmemektedir ancak kaynak ayrıldığına sonuçları orta vadede görülebilecek en büyük geri dönüşler beklenen ikinci alandır.

Orta Vadede;

- Planlanan tedbirler ve yatırımlar gerçekleştiği takdirde alındığı vizyon hedefine ulaşılması beklenmektedir. Ancak beklenen senaryonun salınımının büyük olması nedeniyle olumsuz etkileri bulunan başta D3 stratejik teknoloji hedefi yakından takip edilmeli ve gerektiğinde tedbir getirilmelidir.
- D1, D2 ve D4 teknoloji alanlarında orta vadede hedefe ulaşılması beklenmektedir. Kötümser senaryo olasılığı gerçekleşmediği takdirde ilave bir tedbir alınmasına gerek olmayacağı değerlendirilmektedir.

Uzun Vadede;

- Tüm alanlarda iyimser ve öngörülen hedeflere ulaşılması beklenmektedir.
- Orta vadede alınan tedbirler yeterli gelmediği takdirde kötümser beklentileri işaret eden alanlara özel tedbir getirilmelidir.

Politika Tavsiyesi;

Vizyon hedefine ulaşılmak amacıyla; kısa vadede öncelik D3 teknolojisinde olmak üzere D2 ve D3 teknoloji hedeflerine yatırım teşvikleri ve vergi indirimleri uygulanmasının, orta vadede D3 teknoloji hedefine yapılması planlanan yatırım teşvikleri ve vergi indirimlerine devam edilmesinin, olası hedeften sapmalara karşı teknoloji edinimine ayrılan bütçeye ilave ek bütçenin 2024 ve 2026 yılları için gerektiğinde tasarruf edilmek üzere D1 ve D4 teknoloji hedefleri için yatırım teşvikleri ve vergi indirimleri şeklinde planlanmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Yapılan politika tavsiyesinin;

- Kısa ve orta vadede kısmen, uzun vadede tamamen vizyon hedefine ulaşılmasını mümkün kılabilen öngörülüşünden **uygun olduğu**,

- 2024 ve 2026 bütçelerinde D1 ve D4 teknoloji hedefleri için yeterli kaynak bulunduğu, tasarruf edilmek üzere D1 ve D4 teknolojilerine ilave kaynak ayrılmasının bütçe hedeflerinde aksamaya yol açmayacağı kıymetlendirildiğinden **uygulanabilir olduğu**,
- Orta vadede başta D2 teknolojisi olmak üzere yapılan yatırımların hızlandırıcı etkisiyle geri dönüşünün mümkün olabileceği, bu nedenle politika tavsiyesinin maliyet etkin olduğu ve karar vericiler tarafından kabul edilebilir olduğu,
- Mevcut kanun, yönetmelik ve genelgelere aykırı bir durum içermediğinden onay makamlarınca **onaylanabilir olduğu**,
- Olası üst düzey yönetici değişikliği durumunda dahi D1, D2, D3 ve D4 teknolojilerinin edinilmesi ilgili Bakanlık ve Başkanlık strateji dokümanlarında yer aldığı, iklim ve çevreye olumsuz bir etkisinin bulunmayacağı öngörüldüğünden **sürdürülebilir olduğu** kıymetlendirilmektedir.

4. Tartışma

Makalenin konusu “Kamu Politikaları İçin Savunma Sanayii Teknoloji Öngörüsü Modeli” olduğu için doktora tezi içinde yer alan gerçek politika tavsiyesine değinilmemiş, fikir vermesi amacıyla özel ifadeler içermeyecek şekilde temsili bir örnek verilmiştir. Etki değerlerinin hesaplanmalarında aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

(2) nolu formüldeki (E_b) beklenen etkiyi temsil etmektedir, (n) etkinin gerçekleşeceğini iddia eden kişi sayısı, (E_t) tahmin edilen ortalama etki değeri, (N) toplam tahmin eden kişi sayısını temsil etmektedir.

$$E_b = \sum(n * E_t) / N \quad (2)$$

(3) nolu formüldeki (B) salınım değerini temsil etmektedir, (E_y) en yüksek etki değeri ve (E_a) en alçak etki değerlerinin farkının mutlak değerinin yarısıdır. Bu sayede geniş bir aralık içinde değişim gösteren etki değeri ortalama bir değerle belirtilebilir.

$$B = |E_y - E_a| / 2 \quad (3)$$

(4) nolu formüldeki (E) hesaplanan etki değerini gösterir, (P) senaryo başlangıcındaki olasılıksal gerçekleşme değeridir, salınım ve beklenen etkiyle toplanarak belirli bir zaman dilimi sonundaki etki değerini belirtir.

$$E = P + B + E_b \quad (4)$$

Modelde kullanılan formüller mümkün olduğunca basit tutulmuş ve kullanıcı personel tarafından kolaylıkla uygulanabilir olanlar tercih edilmiştir. Farklı metotlarla ilerleyen zamanlarda başka

hesaplama metotları kullanılabilir. Modelde formül kullanılarak hesaplama ile arzu edilen mutlak doğrulara ulaşmak değil, gelecek hakkında düşünürken yol gösterecek kılavuzlara ulaşmaktır. Her ne kadar nicel ve nitel usuller beraber kullanılsa da tahminin ayrılmaz bir parçası olan ön seziden istifade etmek ve mümkün olduğunca en doğruya yaklaşmak için “Delphi” metodundan istifade edilmiştir. Aynı amaca hizmet eden farklı metotların da kullanılabilmesi değerlendirilmektedir.

Modelin diğer modellerden ayrılan en temel özelliği olasılık ve etkinin senaryo geliştirilmesindeki kullanım şeklidir. Model, bir olasılığın gerçekleşme değerinin tam zıddı olan gerçekleşmeme değerini de hesaplamaya katarak mümkün olduğunca doğal hayatın akışını muhafaza etmeye çalışmaktadır. Etki değerinin hesaplanmasında olumsuz etkinin, olumlu etkinin simetriği olmak zorunda olmadığı yaklaşımını baskın olarak kullanarak yine gerçek hayatı mümkün olduğunca simüle etmeye çalışmaktadır.

Makalede sunulan model, henüz tasarım aşamasındayken tasarımcısı tarafından gerçek problemlere yönelik üç defa daha kullanılmış ve kamu politikalarına yönelik geliştirilen senaryolardan olumlu geri beslemeler alınmıştır. Denemelerden edinilen en belirgin iki tecrübe, yapılan çalışmanın belirli aralıklarla tekrarlanmasının daha doğru sonuçlar verdiği ve tespit edilen zaman eşiklerine yaklaşıldıkça tahminlerin doğruluk değerlerinin gerçek sonuçlara daha fazla yaklaştığıdır.

Model gelişime açıktır, ilerleyen zamanda yapılan geliştirmelerle özellikle “Delphi” cümleciklerinin tespitinde çalışma yapılmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.

5. Sonuçlar

Öngörü çalışmaları istatistiki olarak ispatlanması mümkün olmayan çalışmalardır. Çok yüksek olasılıkla gerçekleşmesi beklenen bir senaryoya kesin olacak şekilde yaklaşmak ve beklenmeyen bir durumun gelişeceğini beklemek geleceğe yönelik risklere hazırlıksız yakalanmayla sonuçlanabileceği gibi alınabilecek önemsiz risklerden kaçınılması nedeniyle büyük fırsat maliyetleri ile karşılaşılmasıyla da sonuçlanabilir. Öngörü çalışmalarından esas beklenen gelecek hakkında düşünce üretmek ve karar vericilere aldıkları kararların olası sonuçları hakkında bir fikir vermektir. Tasarlanan model ile kamu politikalarının geliştirilmesinde yeni ve nispeten sade bir yaklaşım geliştirilerek, akademik seviyedeki bilginin, kullanıcı seviyesine indirgenmesine çalışılmıştır. Tasarım yapılırken, genel geçer sonuçlardan ziyade gelecek hakkında düşünmeye yönelik bir yol haritası geliştirmek hedeflenmiştir. Senaryoların gereksiz detaylar içermesinin karar vericiler üzerinde mutlak doğrularmış gibi algılanabileceği değerlendirilerek kısa ve öz bir anlatım dili tercih edilmiştir. Yapılan model ile Türkiye Savunma Sanayinin karşılaştığı temel problemlerin başında gelen geleceğin bilinmeyenlerini anlama sorusuna farklı bir bakış açısı getirilmeye çalışılmıştır. Bir planlayıcı için seçenekler neredeyse sınırsızken karar vericiler için aynı konu sadece kabul ve ret gibi kısa ve nettir. Kararlar bu denli basit ve anlaşılırken kararların neden olabileceği sonuçlar bir o kadar belirsiz ve anlaşılması zordur. Sunulan model ile karar vericilerin başta araştırma ve geliştirme kaynaklarını tahsis etmek üzere yaşadıkları güçlüklerin

azaltılması hedeflenmiş, ancak belirsizliğe de atıf yapılarak onların iyimser ve kötümser senaryoları göz önünde bulundurarak dengeli bir karar vermelerine yardımcı olmak hedeflenmiştir.

Kaynakça

- Clausewitz C. On war. (ME. Howard, Çev. P. Paret, Çev.) New Jersey: Princeton University Press; 2008.
- Eisenhardt KM. Agency theory: An assessment and review. *Academy of Management Review* 1989; 14(1): 57-74. <https://doi.org/10.5465/AMR.1989.4279003>
- Flostrand A., Pitt L., Bridson S. The delphi technique in forecasting—A 42-year bibliographic analysis (1975–2017). *Technological Forecasting and Social Change* 2020; 150: 119773. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119773>
- Heffington S., Oler A., Tretler D. A national security strategy primer. Washington D.C.: National Defense University Press: 2019.
- Hoffman Frank G. Conflict in the 21st Century: The rise of hybrid wars. Potomac Institute for Policy Studies: 2007. https://potomacinstitute.org/images/stories/publications/potomac_hybridwar_0108.pdf
- Hussain M., Tapinos E., Knight L. Scenario-driven roadmapping for technology foresight. *Technological Forecasting and Social Change* 2017; 124: 160-177.
- Khodyakov D., Grant S., Kroger J., Gadwah-Meaden C., Motala A., Larkin J. Disciplinary trends in the use of the delphi method: A bibliometric analysis. *Plos One Academic Search Complete* 2023; 18 (8): 1-11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289009>
- Makarova EA., Sokolova A. Foresight evaluation: Lessons from project management. *Foresight Article* 1. Complementary Index 2014; 16(1).
- Martin, B. R. Foresight in science and technology. *Technology Analysis and Strategic Management* 1995; 7(2): 139–168.
- Nikolopoulos KI., Thomakos DD. Forecasting with the theta method: Theory and applications. John Wiley ve Sons:2019. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/nationaldefense-books/detail.action?docID=5630247>.
- OECD (Ekonomik Kalınma ve İşbirliği Örgütü). 2023. What is foresight? - Organisation for economic Co-operation and development. 12 Ağustos 2023, <https://www.oecd.org/strategic-foresight/whatisforesight/>
- PMI (Project Management Institute). 2017. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)—Sixth Edition (Sixth edition). Project Management Institute: eBook Academic Collection (EBSCOhost).

SSB (Savunma Sanayi Başkanlığı). 2020. Savunma Sanayii Teknoloji Taksonomisi 2.0 (SSB-KDY-KRY-4.15-K0020-001/2.0). T.C. Cumhurbaşkanlığı Savunma Sanayii Başkanlığı Sanayileşme Daire Başkanlığı.

Strischek D. Superforecasting the art and science of prediction. *Gale Business: Insights. The RMA Journal* 2016; 98(5).

Yüksel H., Çifci H. A new model for technology foresight: Foresight periscope model (FPM). *International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, 2017, 807-817: Madeira, Portugal, doi: 10.1109/ICE.2017.8279967.



Asimetrik Dişlilerde Diş Dibi Gerilmelerinin Hesaplanması için Yeni Bir Yöntem

Oğuz DOĞAN^{1*}, Celalettin YÜCE², Fatih KARPAT³

¹Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı, Kahramanmaraş

^{2,3}Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı, Bursa

¹<https://orcid.org/0000-0003-4203-8237>

²<https://orcid.org/0000-0001-5894-8986>

³<https://orcid.org/0000-0001-8474-7328>

*Sorumlu yazar: oguzdogan@ksu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 25.03.2024

Kabul tarihi: 13.06.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Diş dibi gerilmesi

Asimetrik düz dişli çarklar

DIN3990

Sonlu elemanlar yöntemi

ÖZ

Günümüzde asimetrik diş profillerine sahip dişli tasarımları, dişlilerin diş kökü gerilmelerinin azaltılmasında önemli çözümler sunmaktadır. Asimetrik diş profiline sahip dişlilerde diş dibi gerilmelerini hesaplamak için sayısal, analitik ve deneysel çalışmalar yapılmasına rağmen literatürde standart veya basitleştirilmiş bir denklem veya ampirik ifadeye rastlanmamıştır. Bu çalışmada hem DIN3990 standardı hem de sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak asimetrik diş profillerine sahip dişliler için yeni bir diş dibi gerilmesi hesaplama prosedürü geliştirilmiştir. Simetrik profilli dişlilerin diş dibi gerilmeleri geliştirilen sonlu elemanlar modeli ile belirlenmiş ve sonuçlar DIN 3990 standardı ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Doğrulanmış sonlu elemanlar modeli kullanılarak, süren taraf basınç açısı 20° ile 30° arasında ve diş sayısı 18 ile 100 arasında değiştirilerek 66 farklı durum incelenmiş ve asimetrik profile sahip dişlilerdeki diş dibi gerilmeleri belirlenmiştir. Analizler sonucunda yeni bir asimetriklik faktör elde edilmiştir. Elde edilen faktörün DIN 3990 formülüne eklenmesiyle asimetrik profilli dişlilerin diş dibi gerilmelerinde kullanılmak üzere yeni bir denklem türetilmiştir. Bu denklem sayesinde tasarımcıların, asimetrik diş profiline sahip dişlilerde sonlu elemanlar analizine ihtiyaç duymadan diş dibi gerilmelerini yüksek hassasiyetle hesaplayabilmeleri ön görülmektedir.

A Novel Method for Tooth Bending Stress Calculation of Gears with Asymmetric Teeth

Research Article

Article History:

Received: 25.03.2024

Accepted: 13.06.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

Gear bending stress

Asymmetric spur gears

DIN3990

Finite element method

ABSTRACT

Today, gear designs with asymmetric tooth profiles offer essential solutions in reducing tooth root stresses of gears. Although numerical, analytical, and experimental studies are carried out to calculate the bending stresses in gears with asymmetric tooth profiles a standard or a simplified equation or empirical statement has not been encountered in the literature. In this study, a novel bending stress calculation procedure for gears with asymmetric tooth profiles is developed using both the DIN3990 standard and the finite element method. The bending stresses of gears with symmetrical profile were determined by the developed finite element model and was verified by comparing the results with the DIN 3990 standard. Using the verified finite element model, by changing the drive side pressure angle between 20° and 30° and the number of teeth between 18 and 100, 66 different cases were examined and the bending stresses in gears with asymmetric profile were determined. As a result of the analysis, a new asymmetric factor was derived. By adding the obtained asymmetric factor to the DIN 3990 formula, a new equation has been derived to be used in tooth bending stresses of gears with asymmetric profile. Thanks to this equation, it is

anticipated that designers will be able to calculate tooth root stresses with high precision in gears with asymmetric tooth profiles, without the need for finite element analysis.

To Cite: Doğan O., Yüce C., Karpat F. A Novel Method for Tooth Bending Stress Calculation of Gears with Asymmetric Teeth. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(5): 2139-2157.

1. Introduction

Today, increasing sustainability concerns have made gears that provide high-efficiency power transmission a priority target in many industries, especially in the automobile, aviation, and machinery sectors. Research and development on the gear systems focused on meeting the demands of higher load-carrying capacity, weight reduction, and more torque transmission with low-cost gears (He et al., 2021). New gear designs are needed to meet these performance expectations.

Most gears used today have teeth with a symmetric profile. In these gears, since the pressure angle of both surfaces is equal, the contact and bending stresses on both surfaces of the tooth are equal. During transmitting motion or power, gears generally operate in one direction. For this reason, while one side of the tooth, which is called the drive side, is exposed to high loads during its lifetime, there is no loading on the other side of the tooth, which is called the coast side. This situation has led to the design of gears with asymmetric profiles (Kapelevich, 2000). The most important advantage of the asymmetrical profile teeth is that they allow higher torque transmission by reducing the contact stress on the drive side (Karpat et al., 2008). Another significant advantage is that the tooth stiffness can be controlled by designing the drive side pressure angle (DSPA) different from the coast side. In this way, the vibration and noise of the gear pair working together are reduced (Litvin et al., 2000). Due to these advantages, the use of involute spur gears with an asymmetric profile is rapidly increasing, especially in areas with high-performance expectations.

During the torque transfer, high stresses, especially at the local contact line and root regions of the involute gears, cause fracture damage. These stresses in the root area, called bending stresses, are critical performance indicators for gear designers as they cause damage and loss of performance (Wen et al., 2018). Bending stresses can be calculated analytically using standard parameters for gears with symmetric profiles with the help of norms such as ISO 6336-1:2019 (ISO 6336, 2002), ANSI/AGMA 2001- D04 (Drago, 1982) and DIN 3990 (DIN 3990, 1987). However, the previously mentioned standard calculation methods are not valid, as maximum stress does not occur at the 30° tangent of the root fillet in teeth with asymmetrical profiles. These methods differ somewhat in the techniques used to establish the gear geometry required for this calculation and their stress concentration factors (Lisle et al., 2017). Today, experimental methods have been used to determine the bending stresses (Costopoulos et al., 2016; Dharashivkar et al., 2016; Karpat et al., 2020) impact stress (Kalay et al., 2020) and fatigue properties (Demet et al., 2018) of gears with asymmetrical profiles. However, these methods find limited application areas due to their long duration and high costs. The most important problem experienced in measuring root stress with experimental methods is the error in the positional accuracy of the gauge, especially in small modulus gears (Lisle et al., 2017). Therefore, many researchers have carried out

analytical studies on the stress analysis of gears with asymmetrical profiles in recent years. Although some results can be obtained with analytical methods, it is not possible to obtain exact results due to the complex geometries of the gears and the coefficients used in the calculations. For this reason, the finite element method (FEM) has started to be used by many researchers in the calculation of tooth bending stress. Cavdar et al., (2005) examined the bending stresses and contact ratio depending on the DSPA by adapting the DIN 3990 and ISO 6336-1:2019 norms to the asymmetric tooth profile. They stated that with the increase of the DSPA, the bending load capacity increased while the bending stress decreased. Spitas et al., (2007) optimized the tooth geometry to achieve minimum tooth root stress in non-standard involute gears. The optimized tooth design achieved an 8.5% reduction in root stress and confirmed this result experimentally.

Karpat et al., (2005) and Di Francesco and Marini (2007) have developed several computer programs to optimize the tooth design to achieve maximum performance from asymmetric gear. Costopoulos et al., (2009) have achieved a 28% increase in load-carrying capacity with their asymmetric gear designs than teeth with a symmetric profile. Karpat et al., (2014) performed finite element analysis (FEA) using a 2D tooth model to calculate tooth stiffness for dynamic analysis depending on the DSPA and the number of teeth. Pedersen, (2010) showed that the bending stress was reduced with the optimized asymmetric gear design obtained by changing the tool geometry. Pramono and Rizal (2021) developed FE model to investigate the effects of the asymmetric factor on dynamic bending stress variation of the spur gears. The DSPA was altered 22.77° to 26.31° in the FE analysis. The bending stress was decreased considerably when the asymmetric factor was increased 1 to 1.08. Senthil Kumar et al. (2008) investigated the influence of pressure angle, asymmetric factors, and profile shift on the maximum fillet stress to propose the optimum parameter levels that improve the fillet bending capacity. They also compared the FEA model results they used in their studies with ISO 6336-1:2019 and ANSI/AGMA 2001- D04 standards for symmetric gears. Keçici et al., (2021) investigated the effect of DSPA on gear performances. It was observed that the load bearing capacity, performance, life, efficiency and reliability increased by using the asymmetric profile. Yılmaz et al., (2022) performed numerical analyzes to determine bending stress and dynamic behavior of the hybrid spur gears with asymmetric teeth. The bending stress values were decreased approximately 9% when the DSPA was increased 20° to 30° . However, the dynamic factor of the hybrid spur gears was increased 1.45 to 1.8. Sekar et al., (2015) determined the tooth form factor for asymmetric gears with different DSPA and Coast side pressure angles (CSPA) with the ISO 6336-1:2019 standard. They adapted using FEM. Marimuthu et al., (2016) also adopted a FEM to compare directly designed symmetrical and asymmetrical high contact ratio (HCR) spur gears and traditional symmetrical HCR spur gears for their load-carrying capacity. Lisle et al., (2006) compared the root bending stress of spur gear calculated by ISO, AGMA and FEA methods with the experimental results and stated that more accurate results can be obtained with FEA. Thomas et al., (2018) applied a search method to calculate the bending stress of asymmetric spur gear, and they compared the results with ISO 6336-1:2019 and FEA methods. They propose a new method and

coordinate system for the calculation of the bending stress of spur gears with asymmetric teeth analytically.

In the literature review, it was seen that, although there are standards based on analytical methods to determine the bending stresses of gears with symmetric profiles, a standard is not available for gears with asymmetric teeth profiles. Experimental and numerical studies have been carried out to determine the bending stresses of gears with asymmetric teeth. However, the lack of a simplified equation or empirical statement that will allow gear designers to get to the conclusion faster is a significant drawback. As well as, although FEA can be incredibly accurate, it requires no gear expertise and can produce wrong and misleading results often as a consequence of over simplified gear models, incorrect boundary conditions and poor mesh quality.

This study proposes a novel bending stress calculation method based on DIN 3990 / Method C and FEA analysis for gear with asymmetric teeth. The effects of DSPA and tooth number on the bending stress are evaluated numerically. A novel bending stress calculation factor called the asymmetry factor is proposed using the maximum bending root stress results from the FEA. The maximum root bending stress can be easily calculated using the proposed asymmetry factor and DIN 3990 / Method C standard for gears with asymmetric teeth. The asymmetry factor has simplified the calculation of the gear root bending stress. The stress values can be analytically calculated by using this factor, without any numerical or experimental study.

2. Material and Method

2.1. Creation of the Gear Geometry

In this study, gear geometries were created by mathematical modeling based on Litvin's vector method. In this method, firstly, the equations and limits of the rack cutter tool, which manufactured the gears, are determined. Then the spur gear geometry is created using the coordinate transformation, differential geometry, and gear theory. The geometry of the rack type cutting tool is seen in Figure 1. In this geometry, the $ac - bd$ zones shape the bottom region of the gear; the $ce - df$ zones shape the trochoid zone of the gear, and the $eg - fh$ zones shape the involute zone of the gear wheel. $O (X, Y)$ is positioned in the middle of the space width. More detail about the creation of the gear geometries is given in (Dogan et al., 2018).

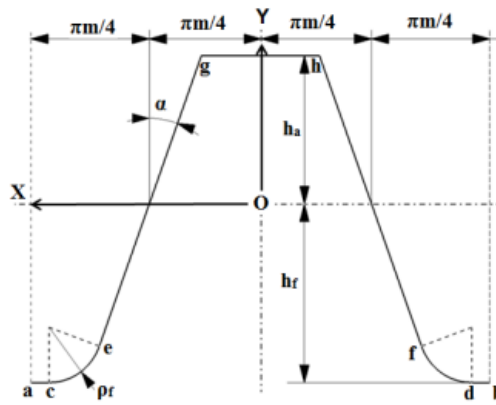


Figure 1. The geometry of the rack type cutter tool

2.2. Calculation of Tooth Bending Stress via DIN3990

In the literature, different standards have been developed so far to calculate bending stress in involute spur gears with symmetric teeth. Among them, ISO 6336-1:2019 (ISO 6336, 2002) and DIN 3990 (DIN 3990, 1987) standards are the most widely used. Although they are similar to each other, there are some minor differences. With these standards, the following assumptions are used in the calculation of tooth bending stress;

- The critical section of the tooth is the thickness of the point tangent to the tooth root at an angle of 30° , starting from the axis of tooth symmetry, as shown in Figure 2.
- The compressive stress caused by the radial component of the normal force on the gear is negligible.
- In DIN 3990 / Method C and ISO 6336-1:2019, the tooth load is assumed to effect on the tip of the teeth.

In this study, the calculations were done according to the DIN 3990 / Method C. So, the force was applied to the addendum circle of the teeth.

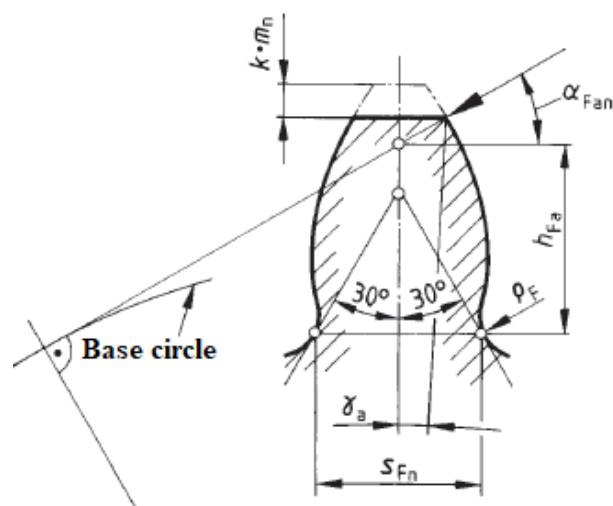


Figure 2. Tooth model for bending stress DIN 3990 / Method C (DIN 3990, 1987)

According to the DIN 3990 / Method C, the maximum tooth root stress can be calculated by using the following equations.

$$\sigma_{F0-C} = \frac{F_t}{b m_n} Y_{Fa} Y_{Sa} Y_\varepsilon Y_\beta \quad (1)$$

$$F_t = F \cos \alpha \quad (2)$$

Where; F_t tangential gear force, b tooth width, m_n is defined as a normal module.

Y_{Fa} tooth form factor can be defined as,

$$Y_{Fa} = \frac{6 (h_{Fa}/m_n) \cos \alpha_{Fan}}{(S_{Fn}/m_n)^2 \cos \alpha_n} \quad (3)$$

Y_{Sa} stress concentration factor can be defined as,

$$Y_{Sa} = \left(1.2 + 0.13 \frac{S_{Fn}}{h_{Fa}} \right) \left(\frac{S_{Fn}}{2\rho_F} \right)^{1/[1.21+2.3 (h_{Fa}/S_{Fn})]} \quad (4)$$

Y_ε load sharing factor (Contact factor) can be calculated via the following equation.

$$Y_\varepsilon = 0.25 + 0.75/\varepsilon_\alpha \quad (5)$$

Where, ε_α is the contact ratio of the spur gear pair and can be calculated as:

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\sqrt{r_{a1}^2 - r_{b1}^2} + \sqrt{r_{a2}^2 - r_{b2}^2} - a_d \sin \alpha_d}{p \cos \alpha_d} \quad (6)$$

Where, r_{a1} , r_{b1} , r_{a2} , r_{b2} addendum and base circles of the pinion and gear, a_d is the distance between axes, α_d is the drive side pressure angle, p is pitch.

In this study, bending stress was calculated on a single tooth using the finite element method. Therefore, some assumptions have been made. The load sharing factor (Y_ε) was not considered in the calculations. The single tooth load was applied to the tip of the tooth and since the helix angle is zero on spur gears the helix factor Y_β is determined as 1. Form factor (Y_{Fa}) and stress concentration factor (Y_{Sa}) values are changed depending on the several parameters such as tool geometry, addendum, dedendum, tooth number, profile shifting factor, rack cutter tip radius, etc. In the well-known standards such as DIN 3990 and ISO 6336-1:2019, many graphics or tables are required to get these factors. According to the DIN 3990 standard, for the rack cutter tip radius (ρ_F) of 0.3m, the variation of the Y_{Fa} and Y_{Sa} is given in Figure 3. Moreover, these coefficients can be calculated by using the above equations. The equations are more suitable for computer programming than the tables. However, to calculate Y_{Fa} and Y_{Sa} by using the equations, the moment arm length (h_{Fa}), rack cutter tip radius (ρ_F) critical tooth thickness (S_{Fn}) should be determined for each tooth number and pressure angle.

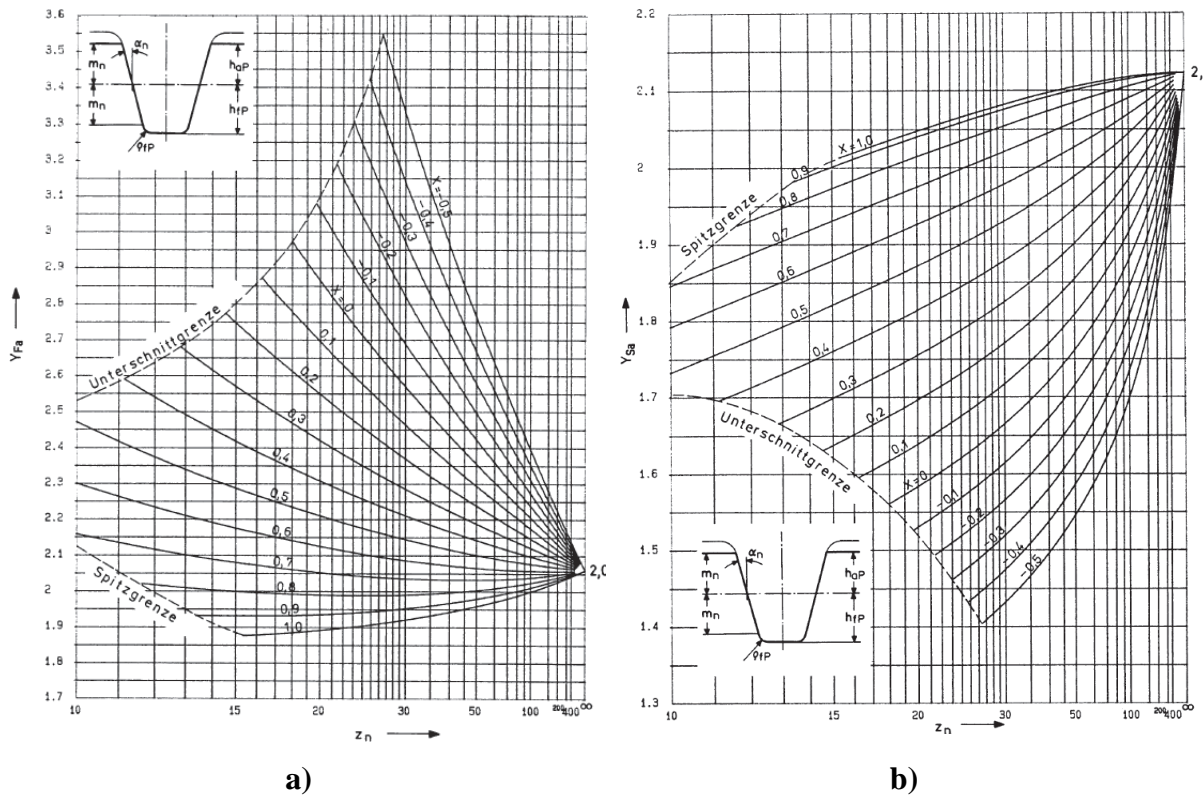


Figure 3. a) The variation of Y_{Fa} (Form factor) **b)** The variation of Y_{Sa} (Stress concentration factor) according to DIN3990 for $\rho_F=0.3m$ (DIN3990, 1987)

2.3. Finite Element Analysis Procedure

Finite element stress analyses were conducted for the determination of the stress distribution of the gears. Moreover, the effects of DSPA and tooth number on the maximum bending stress were investigated numerically. The general finite element stress analysis procedure is divided into five steps as designing the gear geometry, creating the mesh structure, defining the boundary conditions of the analysis, running the analysis, and evaluating the results.

The gear geometries were created according to Litvin's vector method described in Section 2.1. The CAD model was imported to the ANSYS Workbench static structural module for the stress analysis. The mesh structure of the finite element model consisted of approximately 45000 hexahedral (Solid186 and Solid187) elements and 180000 nodes. The general view of the mesh structure of the finite element model is seen in Figure 4.a. A mesh convergence study with different mesh sizes for $20^\circ - 20^\circ$ pressure angle and 20 tooth number were performed. As a result of the convergence, it was observed that there was no significant change in the results after approximately 45000 elements (Figure 4.b).

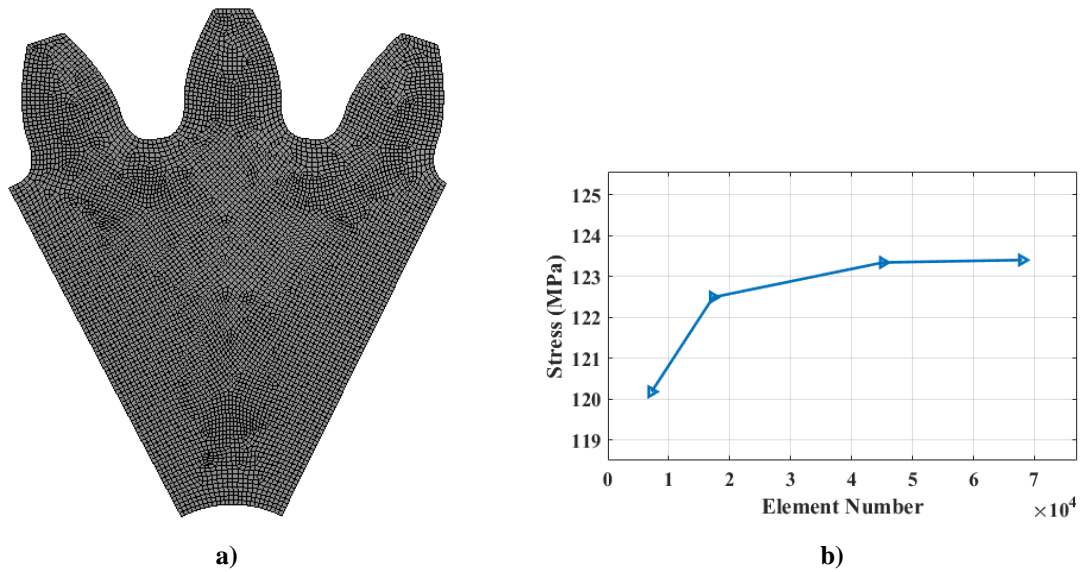


Figure 4. a) Mesh structure of finite element model b) Mesh convergence results

After creating the mesh structure of the finite element model, the boundary conditions were defined according to the DIN 3990 / Method C (Figure 5). In this method, a single tooth load applies on the tip of the tooth at the tangent direction of the base circle, as seen in Figure 2. The pressure angle on the addendum circle is calculated by Eq. 7 and the tangential component of the force is calculated by Eq. 8. In the FEA, 100 N static force was applied on the tip of the tooth, and according to the DIN 3990 /Method C standard, the gear geometry was entirely fixed on the side and bottom surfaces.

$$r_0 \cos \alpha = r_a \cos \alpha_a \quad (7)$$

$$F_t = F \cos \alpha_a \quad (8)$$

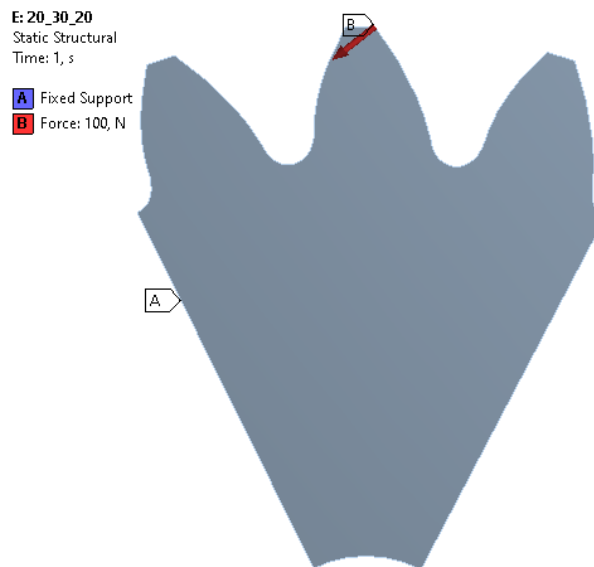


Figure 5. The boundary conditions of the FEA

The main properties of the gear used in this study are given in Table 1. To investigate the effect of DSPA, six different values, 20°, 22°, 24°, 26°, 28° and 30° were determined. For the number of teeth, eleven different values between 18 and 100 were determined. This value was determined as the minimum, since undercut was observed on the spur gears in values below 18 teeth. Moreover, the number of teeth was not increased to avoid the number of analyses since there were not many real samples above 100 teeth.

Table 1. Gear properties of the study

Gear Property	Value
Material	S235 (Steel)
Modulus of elasticity (E) (MPa)	205000
Poisson ratio (ν)	0.3
Density (ρ) (kg/m ³)	7850
Module (m) (mm)	3.18
Coast side pressure angle (α_c) (deg)	20
Drive side pressure angle (α_d) (deg)	20-22-24-26-28-30
Tooth number (z)	18-20-23-28-30-35-40-50-70-80-100
Addendum (h_a)	1m
Dedendum (h_f)	1.25m
Face width (b) (mm)	1
Rack cutter tip radius (ρ_F)	0.3m

After the finite element model was created, static structural analysis was performed. The basic finite element equation to be solved for static loads can be expressed as:

$$\{F\} = [K]\{u\} \quad (9)$$

Where F is the applied load vector, K is the stiffness matrix, and u is the displacement vector. Hooke's law was used to calculate the stress distribution of the finite element model. The Hooke's law is written in the following equation.

$$[\sigma] = [E][\epsilon] \quad (10)$$

3. Results and Discussion

Within the scope of this study, a total of 66 finite element analyzes were carried out for eleven different tooth numbers and six different DSPAs, and maximum bending stresses were examined. Then, the obtained FEA results were compared with the bending stress results calculated by the DIN 3990 method. As an example of the analysis the FEA results for symmetric profile ($\alpha_c=20^\circ$, $\alpha_d=20^\circ$) and different tooth numbers (18, 23, 30, 40, 70, and 100) were seen in Figure 6. As can be seen in Table 2, where FEA and analytical method are compared, the results obtained are quite consistent with each other. The maximum

relative error between DIN 3990 and FEA was under 2%. When the bending stresses were investigated for the symmetric case, the stress decreased with the increase in the tooth number. The maximum bending stress values slightly increased when the tooth number increased above 40 and stayed stable according to FEA and DIN 3990.

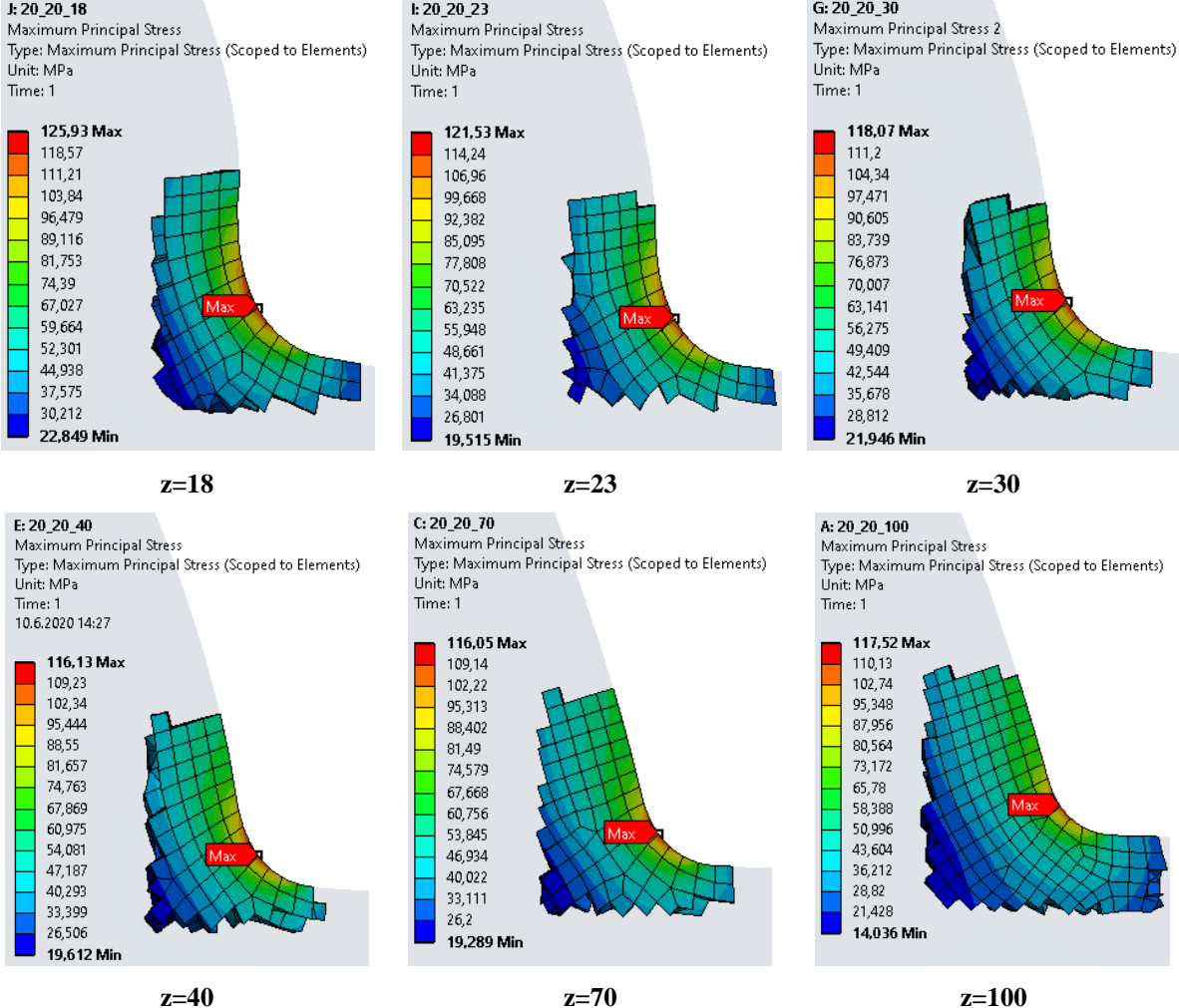


Figure 6. Finite element analysis results for $\alpha_c=20^\circ$, $\alpha_c=20^\circ$, and different tooth numbers

To obtain $Y_{Fa} \cdot Y_{Sa}$ values for a tooth with symmetric profile, maximum bending stresses obtained both from FEA and DIN 3990 norm are normalized using the following equation.

$$Y_{Fa} Y_{Sa} = \sigma_{F0-C} \frac{b m_n}{F_t} \tag{11}$$

Table 2. Comparison of DIN3990 and FEA results of maximum fillet stress for symmetric case (20°-20°)

Z (Teeth Number)	DIN3990 (σ_{F0-C})	FEA (σ_{F0-C})	% Error
18	124.03	125.93	-1.53
20	121.81	123.34	-1.25
23	120.89	121.53	-0.52
28	119.59	118.84	0.62
30	118.89	118.07	0.69
35	116.80	116.84	-0.02
40	117.14	116.13	0.86
50	118.35	116.87	1.25
70	118.11	116.06	1.79
80	118.81	117.17	1.38
100	119.18	117.52	1.39

The variation of $Y_{Fa} * Y_{Sa}$ values depending on the number of teeth was given in Figure 7. The results indicated that both FEA and DIN3990 results were compatible with each other. The value of $Y_{Fa} * Y_{Sa}$ was nearly 4.8 for 18 tooth numbers. The $Y_{Fa} * Y_{Sa}$ value decreased until the tooth number was 40. A small fluctuation was observed in the values obtained with FEA results in the range of 80 to 100 teeth.

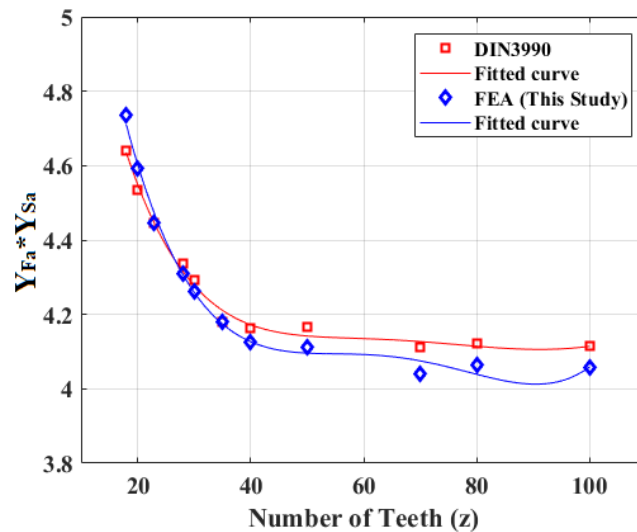


Figure 7. Comparison of $Y_{Fa} * Y_{Sa}$ variation of DIN3990 with finite element analysis

After the maximum bending stresses obtained with the finite element model created for the symmetric tooth profile were verified with the analytical values calculated according to the DIN 3990 standards, this finite element model was started to be used in gears with asymmetric profiles. The FEA results for eleven different tooth numbers and six different DSPA values are given in Table 3. The results showed that DSPA and tooth number have a significant effect on maximum bending stress. When the DSPA

increased, the bending stress was decreased considerably. Approximately the bending stresses were reduced between 20 – 25% depending on the tooth number. The DSPA effect was increased with the increase in the tooth number. The bending stress decreased with the increase in the tooth number nearly until 40.

The main goal of this study was to develop a simplified empirical equation by the DIN 3990 norm using the FEA results to calculate the bending stress of teeth with an asymmetric profile. Accordingly, the normalization process was carried out to obtain a factor called asymmetric factor (K_{α_d}). The maximum bending stress values obtained with FEA shown in Table 3 were normalized using the following equation.

$$K_{\alpha_d} = \frac{\sigma_{F0-C(20^\circ-\alpha_d^\circ)}}{\sigma_{F0-C(20^\circ-20^\circ)}} \quad (12)$$

where K_{α_d} is a new coefficient for calculating asymmetric gear bending stress, $\sigma_{F0-C(20^\circ-20^\circ)}$ is the results for symmetric cases and $\sigma_{F0-C(20^\circ-\alpha_d^\circ)}$ is the result for asymmetric cases in Table 3.

Table 3. Maximum fillet stress results obtained with FEA (MPa)

		Drive Side Pressure Angle - α_d (°)					
		20	22	24	26	28	30
Tooth Number (z)	18	125.93	120.69	115.81	110.84	106.01	100.88
	20	123.34	118.38	113.62	108.59	103.29	98.04
	23	121.53	116.15	110.91	105.76	101.03	95.99
	28	118.84	113.38	108.28	103.13	98.59	93.53
	30	118.07	112.57	107.27	102.57	97.29	92.27
	35	116.84	111.96	106.90	101.88	95.96	91.40
	40	116.13	111.62	106.06	101.43	94.99	90.83
	50	116.87	111.29	105.73	99.37	94.80	89.74
	70	116.05	111.21	104.31	98.56	93.13	88.56
	80	117.17	110.96	104.40	98.05	93.09	88.06
100	117.52	110.59	104.06	98.47	93.28	88.44	

As a result of normalization depending on different tooth numbers and DSPA are given in Table 4. The results show that both the number of teeth and the DSPA are very important in the asymmetric factor. With increasing DSPA, the asymmetric factor decreased. Furthermore, as a result of the increase in the number of teeth in constant DSPA, there was a decrease in the asymmetric factor again. These results showed that in teeth with asymmetric profiles, root stresses decrease due to the increase in the pressure

angle. The reason can be explained as the thickness in the critical section of the tooth increases, and the stress values decrease with the pressure angle increase.

Table 4. Asymmetric factors (K_{ad}) depending on the DSPA and tooth number

		Drive Side Pressure Angle - α_d (°)					
		20	22	24	26	28	30
Tooth Number (z)	18	1	0.958	0.919	0.880	0.841	0.801
	20	1	0.959	0.921	0.880	0.837	0.794
	23	1	0.955	0.912	0.870	0.831	0.789
	28	1	0.954	0.911	0.867	0.829	0.787
	30	1	0.953	0.908	0.868	0.824	0.781
	35	1	0.958	0.914	0.871	0.821	0.782
	40	1	0.961	0.913	0.873	0.817	0.782
	50	1	0.952	0.904	0.850	0.811	0.767
	70	1	0.958	0.898	0.849	0.802	0.763
	80	1	0.947	0.891	0.836	0.794	0.751
100	1	0.941	0.885	0.837	0.793	0.752	

In addition, the variation of the asymmetric factor (K_{ad}) depending on the DSPA and the number of teeth is graphically shown in Figure 8. As can be seen from the graph, the increase in DSPA decreased the asymmetric factor, that is, the maximum bending stress in the tooth decreased. The asymmetric factor decreased with the increase in the DSPA value until the number of teeth was 40. According to the obtained results, it is seen that DSPA was more effective than tooth number on the asymmetric factor.

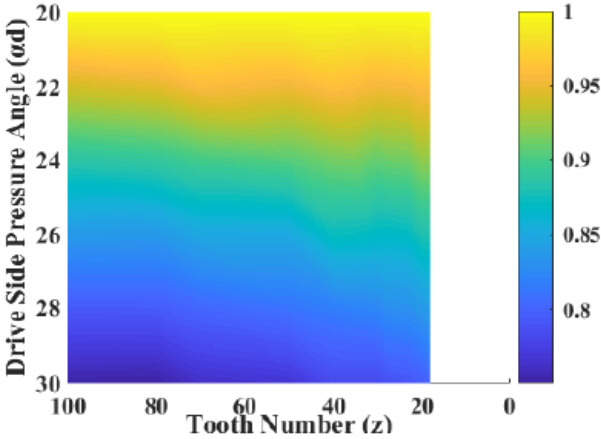


Figure 8. Variation of K_{ad} according to DSPA and tooth number

Since one of the most important purposes of this study is to calculate the bending stress of gears with an asymmetric profile with a simplified equation, the variations in the asymmetric factor (K_{ad}) were

investigated. As can be seen from Table 4 and Figure 8, the variation of the asymmetric factor is linear. For this reason, the following equation was used by considering the model to be created in the calculations to be linear.

$$\text{Model} = A\alpha + Bz + C \quad (13)$$

Where α is the DSPA, z is the number of teeth. In this model, the coefficients of A, B and C were calculated by surface fitting and linear regression methods. The determined coefficients of the model were; A= -0.02235, B= -0.0003825 and C= 1.4626. The above equation, in which the asymmetric factor can be calculated depending on the number of teeth and the drive side pressure angle is given below, together with these coefficients.

$$K_{\alpha d} = -0.02235\alpha - 0.0003825z + 1.4626 \quad (14)$$

Including the asymmetric factor ($K_{\alpha d}$) derived in this study into the equation that calculates the bending stress in gears with a symmetric profile according to the DIN 3990 / Method C. With the obtained modified equation, tooth bending stresses can be calculated analytically in asymmetric gears.

$$\sigma_{F0-C} = \frac{F_t}{b \cdot m_n} Y_{Fa} \cdot Y_{Sa} \cdot K_{\alpha d} \quad (15)$$

In this study, tooth bending stresses of asymmetric gears were calculated with the obtained new empirical equation. Firstly, asymmetric factors ($K_{\alpha d}$) were calculated for six different DSPAs and eleven different tooth numbers. Then, the obtained ($K_{\alpha d}$) was used in the above equation. The maximum bending stresses calculated with the modified empirical equation depending on the different pressure angles and the number of teeth are given in Table 5. As well as, to determine the accuracy of the empirical model developed in this study, the stress values obtained with the empirical equation were compared with the results of the finite element analysis in Figure 9. It was observed that there is a great agreement between the maximum bending stress values obtained using the modified empirical formula and the stresses obtained as a result of FEA. The maximum relative error was detected as 2.4% and the average relative error was around 1%. These results show that the new empirical equation obtained with the method followed in the study gives very sensitive results. By using this new equation, bending stresses of asymmetric gears can be calculated analytically without the need for finite element analysis.

Table 5. Maximum fillet stress results obtained with novel equation

		Drive Side Pressure Angle - α_d (°)					
		20	22	24	26	28	30
Tooth Number (z)	18	124.03	118.82	113.98	109.15	104.31	99.35
	20	121.81	116.82	112.19	107.19	101.95	96.72
	23	120.89	115.45	110.25	105.17	100.46	95.38
	28	119.59	114.09	108.95	103.68	99.14	94.12
	30	118.89	113.30	107.95	103.20	97.97	92.85
	35	116.80	111.89	106.76	101.73	95.89	91.34
	40	117.14	112.57	106.95	102.26	95.70	91.60
	50	118.35	112.67	106.99	100.60	95.98	90.77
	70	118.11	113.15	106.06	100.28	94.72	90.12
	80	118.81	112.51	105.86	99.33	94.34	89.23
	100	119.18	112.15	105.47	99.75	94.51	89.62

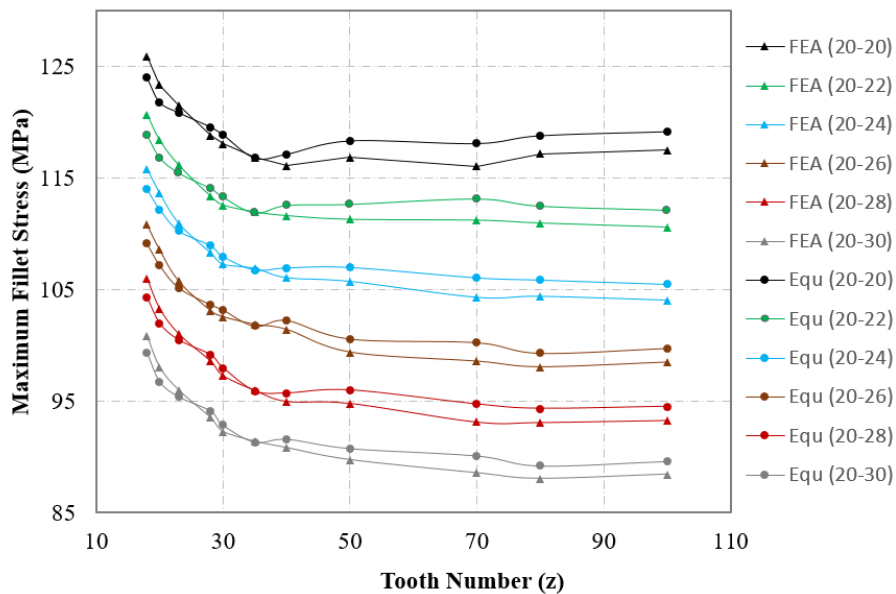


Figure 9. Comparison of maximum fillet stress results obtained with FEA and empirical equation

4. Conclusions

In this study, a simplified empirical equation has been developed to analytically calculate the maximum bending stress for gears with asymmetrical tooth profile, which is widely used in many critical sectors such as defense, energy and aerospace. While there are analytical methods determined by ISO 6336-1:2019, ANSI/AGMA 2001-D04 and DIN 3990 norms in the literature to calculate the maximum bending stresses of gears with symmetrical profile, there is no standard for asymmetric gears. In this

study, maximum bending stresses of asymmetric teeth were calculated for six different drive side pressure angles and eleven different tooth numbers using the FE model validated on the symmetrical tooth. With the normalization of the stress results obtained from the FEA, the factor called asymmetric factor ($K_{\alpha d}$) was obtained. After the linear model was created, asymmetric factors were calculated depending on the DSPA and the number of teeth. The empirical equation used to calculate the stresses in the symmetrical gears in the DIN 3990 / Method C was modified by adding an asymmetric factor. In order to determine the accuracy of the empirical model developed in this study, the stress values obtained with the empirical equation were compared with the results of the FEA. It was observed that there is a great agreement between the maximum bending stress values obtained using the modified empirical formula and the stresses obtained as a result of FEA. The maximum relative error was detected as 2.4% and the average relative error was around 1%. Thanks to the empirical equation obtained, it has been seen that the bending stresses of asymmetric gears can be calculated with high accuracy without the need for finite element analysis.

4. Future Work

The gears used in this study have the standard design specified in Table 1. Therefore, the equation obtained as a result of the study is valid only for this design set. The effect of different rack cutters on the equation will be investigated after this study.

NOMENCLATURE

α	: Pressure angle
α_d	: Standard pressure angle – 20°
a_d	: Distance between axis
b	: Face width
ϵ_α	: Contact ratio
F	: Applied single force
F_T	: Tangential gear force
$K_{\alpha d}$: Asymmetry factor
h_a	: Addendum
h_f	: Dedendum
h_{Fa}	: Moment arm length
m/m_n	: Module
r_{a1}	: Addendum circle of the pinion
r_{a2}	: Addendum circle of the gear
r_{b1}	: Base circle of the pinion
r_{b2}	: Base circle of the gear
σ_{F0-C}	: Maximum tooth root stress

p	: Pitch
ρ_F	: Rack cutter tip radius
s_{Fn}	: Critical tooth thickness
x	: Profile shifting
Y_{Fa}	: Form factor
Y_{Sa}	: Stress correction factor
Y_ϵ	: Load sharing factor
Y_β	: Helix factor
r_0	: Pitch circle
z	: Tooth number

Conflict of Interests

We confirm that there are no conflicts of interest related to this publication, and no significant financial support has been received for this work that could have impacted its outcomes.

Authors' contributions

OD (35%), and CY (35%) generated the finite element model. OD, CY and FK (30%) compared and interpreted analysis results with analytical solutions. All authors read and approved the final manuscript.

References

- Cavdar K., Karpat F., Babalik FC. Computer aided analysis of bending strength of involute spur gears with asymmetric profile. *Journal of Mechanical Design* 2005; 127: 477-484.
- Costopoulos TN., Spitas CA. Optimum gear tooth geometry for minimum fillet stress using BEM and experimental verification with photoelasticity. *Journal of Mechanical Design* 2016; 128(5): 1159-1164.
- Costopoulos TN., Spitas V. Reduction of gear fillet stresses by using one-sided involute asymmetric teeth, *Mechanism and Machine Theory* 2009; 44: 1524-1534.
- Demet SM., Ersoyoğlu AS. Fatigue fracture behaviour of asymmetric spur gear tooth under cyclic loading. *Procedia Structural Integrity* 2018; 13: 2030-2035.
- Dharashivkar NS., Sondur VB., Joshi KD. 3D photoelastic and finite element analysis of asymmetric involute spur gear. *International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques ICEEOT* 2016; 1838-1842.
- DIN3990. Calculation of load capacity of cylindrical gears: Calculation of tooth strength. 1987.
- Dogan O., Yılmaz TG, Karpat F. Stress analysis of involute spur gears with different parameters by finite element and graphical method. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 2018; 33:1493-1504.

- Drago RJ. An Improvement in the conventional analysis of gear tooth bending fatigue strength. American Gear Manufacturers Association 1982; 229-224.
- Francesco GD., Marini S. Asymmetric teeth: Bending stress calculation, Gear Technology 2007; 24: 52-55.
- He R., Tenberge P., Xu X., Li H., Uelpenich R., Dong P., Wang S. Study on the optimum standard parameters of hob optimization for reducing gear tooth root stress. Mechanism and Machine Theory 2021; 104128.
- ISO 6336 – Calculation of load capacity of spur and helical gears - Application for industrial gears, 2002.
- Kalay OC., Dogan O., Yılmaz TG. Yuce C., Karpat F. A comparative experimental study on the impact strength of standard and asymmetric involute spur gears. Measurement 2020; 172: 108950.
- Kapelevich A. Geometry and design of involute spur gears with asymmetric teeth. Mechanism and Machine Theory 2000; 35: 117-130.
- Karpat F., Cavdar K., Babalik FC. Computer aided analysis of involute spur gears with asymmetric teeth. VDI Berichte 2005; 145-163.
- Karpat F., Dogan O., Ekwaro-Osire S., Yuce C. A novel method for calculation gear tooth stiffness for dynamic analysis of spur gears with asymmetric teeth. ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition 2014; 1-8.
- Karpat F., Ekwaro-Osire S., Cavdar K., Babalik FC. Dynamic analysis of involute spur gears with asymmetric teeth. International Journal of Mechanical Sciences 2008; 50: 1598-1610.
- Karpat F., Yuce C., Dogan O. Experimental measurement and numerical validation of single tooth stiffness for involute spur gears. Measurement 2020; 150: 107043.
- Keçici A., Ünüvar A. Investigation of the effect of pressure angle on gear performance in asymmetric gears. Meccanica 2021; 56: 2919-2933.
- Kumar VS., Muni V., Muthuveerappan G. Optimization of asymmetric spur gear drives to improve the bending load capacity. Mechanism and Machine Theory 2008; 43: 829-858.
- Lisle TJ., Shaw BA. Frazer, RC. Frazer. External spur gear root bending stress: A comparison of ISO 6336: 2006, AGMA 2101-D04, ANSYS finite element analysis and strain gauge techniques. Mechanism and Machine Theory 2017; 111: 1-9.
- Litvin FL., Lian Q., Kapelevich A. Asymmetric modified spur gear drives: Reduction of noise, localization of contact, simulation of meshing and stress analysis. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 2000; 188: 363-390.
- Marimuthu P., Muthuveerappan G. Investigation of load carrying capacity of asymmetric high contact ratio spur gear based on load sharing using direct gear design approach. Mechanism and Machine Theory 2016; 96: 52-74.
- Pedersen NL. Improving bending stress in spur gears using asymmetric gears and shape optimization. Mechanism and Machine Theory 2010; 45: 1707-1720.

- Pramono AS., Rizal MZ. Influence of asymmetric factor on spur gears to dynamic bending stress. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 2021; 1034: 012010.
- Sekar RP., Muthuveerappan G. Estimation of tooth form factor for normal contact ratio asymmetric spur gear tooth. Mechanism and Machine Theory 2015; 90: 187-218.
- Spitas V., Spitas C. Optimizing involute gear design for maximum bending strength and equivalent pitting resistance. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science 2007; 221: 479-488.
- Thomas B., Sankaranarayanan K., Ramachandra S., Kumar SPS. Search method applied for gear tooth bending stress prediction in normal contact ratio asymmetric spur gears. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science 2018; 232: 4647-4663.
- Yılmaz TG., Karadere G., Karpat F. A numerical analysis of hybrid spur gears with asymmetric teeth: stress and dynamic behavior. Machines 2022; 10(11): 1056.
- Wen Q., Du Q., Zhai X. A new analytical model to calculate the maximum tooth root stress and critical section location of spur gear. Mechanism and Machine Theory 2018; 128: 275-286.



OKU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
7(5): 2158-2172, 2024

OKU Journal of The Institute of Science and
Technology, 7(5): 2158-2172, 2024

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Dergisi

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



Elit Basketbolcularda Akdeniz Diyeti Uyum Ölçeği ile Uyku Kalitesi Arasındaki İlişkinin İncelenmesi

Eda PARLAK^{1*}, Helin KIRŞAN²

^{1,2}Toros Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, 33140, Mersin

¹<https://orcid.org/0000-0003-1452-1547>

²<https://orcid.org/0009-0004-7282-257X>

*Sorumlu yazar: eda.parlak@toros.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 11.02.2024

Kabul tarihi: 31.05.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Basketbol

Sporcu

Akdeniz diyeti

Uyku kalitesi

Performans

ÖZ

Çalışma; Türkiye’de birinci ve ikinci ligde profesyonel basketbol sporu ile uğraşan 18 yaş ve üzeri basketbolcunun beslenme alışkanlıklarını belirlemek, beslenme kalitesi ve uyku kalitesi arasındaki ilişkiyi cinsiyetlere göre değerlendirmek amacıyla planlanmıştır. Türkiye genelinde 174 gönüllü basketbolcu (97 kadın, 77 erkek)’nin katıldığı çalışma çevrimiçi ve yüz yüze görüşme tekniği ile uygulanmıştır. Anket formu; demografik veriler, antropometrik ölçümler, beslenme durumu ve alışkanlıkları ile ilgili veriler, 14 Maddeli Akdeniz Diyeti Uyum Ölçeği (MEDAS) ve Sporcu Uyku Davranış Ölçeği (SUDA)’ni kapsamaktadır. Çalışmada veriler SPSS 25 paket programı ile analiz edilmiştir. Basketbolcularda MEDAS ortalama puanları erkeklerde $8,45 \pm 2,27$; kadınlarda ise $7,52 \pm 2,88$ olarak saptanmıştır. Bu diyet modeline göre basketbolcular diyetle orta düzeyde uyum sağlamışlardır. SUDA ortalama puanları erkeklerde $38,48 \pm 7,61$; kadınlarda ise $40,76 \pm 8,28$ olarak saptanmıştır. Basketbolcularda MEDAS ile SUDA ortalama değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir ($r=0,02$; $p>0,05$). Çalışmada MEDAS ve SUDA ortalama değerlerine göre; kadın basketbolcuların erkek basketbolculara kıyasla Akdeniz diyetine uyumlarının ve uyku kalitelerinin daha kötü düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Akdeniz diyet modeli sonucunda elde edilen toplam puanlara göre; basketbolcularda her iki cinsiyette de besin alımlarının düzeltilmesi gerektiği kanısına varılmıştır. Sporcularda Akdeniz diyeti ile uyku durumları arasında ilişkiyi değerlendirecek daha fazla çalışmaya ihtiyaç bulunmaktadır.

Investigation of the Relationship Between Mediterranean Diet Adherence Screener and Sleep Quality Status in Elite Basketball Players

Research Article

Article History:

Received: 11.02.2024

Accepted: 31.05.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

Basketball

Athlete

Mediterranean diet

Sleep quality

Performance

ABSTRACT

This study was conducted in Turkey aged 18 years and over who were engaged in basketball sports to determine dietary habits; the relationship between nutritional quality and sleep quality to evaluate the results according to gender. 174 basketball players (97 women, 77 men) volunteered throughout Turkey participated in the study. The study was conducted using online and face-to-face interviews. The questionnaire included demographic data, anthropometric measurements (body weight, height, body mass index (BMI)), data on nutritional status and habits, 14-point Mediterranean Diet Adherence Screener (MEDAS) and Athlete Sleep Behavior Questionnaire (SUDA). The data were analyzed with SPSS 25 package program. The mean MEDAS scores were found to be 8.45 ± 2.27 in men, 7.52 ± 2.88 in women.

Also it was found that the basketball players were moderately compliant with this dietary model. SUDA mean value was 38.48 ± 7.61 in men, 40.76 ± 8.28 in women and basketball players were found to have moderate and poor sleep quality, respectively. No statistically significant relationship could be detected between MEDAS and SUDA average values in basketball players ($r=0.02$; $p>0.05$). Considering the MEDAS and SUDA average scores, it has been determined that female basketball players' adaptation to the Mediterranean diet and their sleep quality are worse than male basketball players. According to the total scores obtained as a result of the Mediterranean diet model; it was concluded that nutritional intake of basketball players in both genders should be corrected. More studies are needed to evaluate the relationship between the Mediterranean diet and sleep status in athletes.

To Cite: Parlak E., Kırşan H. Elit Basketbolcularda Akdeniz Diyeti Uyum Ölçeği ile Uyku Kalitesi Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(5): 2158-2172.

1. Giriş

Basketbol sporu iki farklı takım tarafından belirli kurallar çerçevesinde oynanan bir takım sporu olarak tanımlanmaktadır. Bu spor dalında; spor performansı üzerinde biyomotor özelliklerin, anaerobik ve aerobik enerji metabolizmasının dışında sporcuya özgü yeterli ve dengeli beslenmenin de etkisi büyüktür (Taylor, 2004). Basketbolcularda enerji; makro ve mikro besin öğelerinin alımı, sporcuların aktivite düzeyi, yaş, cinsiyet gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Hall ve ark., 2002).

Akdeniz diyet modeli günümüzde sporcular arasında yaygın olarak kullanılmakta ve örnek bir beslenme modeli olarak gösterilmektedir (Hall ve ark., 2002). Bu diyet; Akdeniz bölgelerinde yaygın olarak bulunan besinlerden oluşan ve çoğunlukla yüksek oranda meyve-sebze, baklagiller ve işlenmemiş karbonhidrat, orta düzeyde balık ve temel yağ kaynağı olarak zeytinyağı kullanımı ile karakterize bir beslenme modelidir (Bach ve ark., 2006). Bu beslenme modelinin içeriğini gösteren Akdeniz beslenme piramidinde 18-65 yaş aralığındaki yetişkin bireylerin alması gereken mikro ve makro besin öğeleri yer almaktadır (Özer ve Tekinşen, 2021). Piramit, sağlıklı ve dengeli beslenmeyi takip etmek adına her öğün, günlük ve haftalık beslenme yönergelerini içermektedir. Günlük yönergelerde her öğünde bulunması istenen 3 temel besin grubu bulunmaktadır. Bu besin gruplarını; tahıl, sebze ve meyve grupları oluşturmaktadır (Davis ve ark., 2015).

Günümüzde Akdeniz diyetinin sporcular arasında da yaygın olarak tercih edilmesinde, tıbbi bir beslenme modeli olması dışında kardiyovasküler hastalıklara (KVH) karşı koruyucu özelliğinin de bulunması etkili olmaktadır (Widmer ve ark., 2015). Bu etkiyi birkaç farklı yol aracılığıyla yapabilmektedir. Kardiyovasküler hastalıklar ile artan kan basıncı, yüksek kolesterol seviyesi, yüksek oksidatif stres ve yüksek inflamatuvar riski arasında bir ilişkinin olduğu bilinmektedir. Akdeniz diyetinin hayvansal yağlardan kısıtlı olması, kolesterol seviyelerinde azalmaya neden olmakta ve buna bağlı olarak da KVH'den korunmada etkili olmaktadır. Yağ içeriği olarak omega-3 yağ asidinden zengin olması da anti-inflamatuvar etki göstermektedir. Ayrıca Akdeniz diyetinin inflamasyon, lipoprotein düzeyleri, insülin duyarlılığı ve hipertansiyon (HT) üzerinde olumlu etkilerinin olduğu ve bu değerlerde azalmaya yol açabileceği düşünülmektedir (Widmer ve ark., 2015). Bu diyete uyumun

az olması ile obezite görülme oranlarında da artış gözlenebilmektedir. Özellikle doymuş yağlar ve rafine karbonhidrat açısından içeriği yüksek olan Batı tipi diyetler, alınan kalori miktarında artışa neden olmakta ve kalitesiz beslenme düzeninin benimsenmesine yol açmaktadır (Widmer ve ark., 2015). Bu nedenle sporcu beslenmesinde her bir besin öğesinin dağılımının, yeterli ve dengeli beslenmenin bir parçası olarak düzenlenmesine dikkat edilmelidir (Molina-López ve Planells, 2020). Literatürde besin alımının aynı zamanda uyku kalitesi üzerinde de etkili olabileceği gösterilmektedir (Loft ve Cameron, 2014). Gündelik işlerin yapılması, fiziksel ve zihinsel sağlık üzerinde uyku oldukça etkili olmaktadır. Kısalmış uyku süresi, sporcunun günlük fiziksel performansı ve bilişsel performansını etkileyebilir, kaza ve yaralanmalara yol açabilir ve genel sağlığını olumsuz etkileyebilmektedir (Loft ve Cameron, 2014). Diğer taraftan, uyku süresinin yetersizliği veya fazlalığı daha düşük diyet kalitesi ile ilişkilendirilmektedir. Yetersiz uyku süresi sonucunda bireylerde karbonhidrat ve yağ içeriği yüksek besinlerin tüketiminde artış, meyve ve sebze tüketimlerinde ise azalma olduğu tespit edilmiştir (Dweck ve ark., 2014). Ayrıca, glisemik indeksi (GI) yüksek olan besinlerin tüketimi uyku kalitesini olumsuz yönde etkilerken; proteinli besinlerin ise içeriğinde bulunan triptofandan (uykuya dalmayı kolaylaştıran bir hormon olan serotoninin ön maddesi) dolayı uyku kalitesini olumlu yönde etkileyeceği düşünülmektedir (Dweck ve ark., 2014).

Bu yüzden; performans artışı, kasların toparlanması ve sağlıklı ruh halinin gelişmesini sağlayabilmek adına sporcularda yüksek diyet kalitesi ile kaliteli bir uyku düzeninin oluşturulması gerekmektedir (Dweck ve ark., 2014). Bu çalışma, Türkiye’de profesyonel basketbol sporu ile uğraşan 18 yaş ve üzeri kadın ve erkek sporcularda beslenme alışkanlıklarını tespit etmek; Akdeniz diyeti beslenme modeli ile uyku kalitesi arasındaki ilişkiyi değerlendirmek amacıyla planlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Araştırma kesitsel ve betimsel bir araştırmadır. Ocak- Mart 2023 tarihleri arasında Türkiye’deki 1. lig ve 2. ligde yer alan kadın ve erkek basketbolcular ile gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın yapılabilmesi için Toros Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulundan 29.12.2022 tarih ve 13 karar sayısı ile etik kurul onayı alınmıştır. Basketbolcuların araştırmaya katılımları gönüllülük esasına dayalı olarak sağlanmış olup tüm basketbolculardan çalışma öncesi aydınlatılmış onam formu alınmıştır.

G-power paket programı kullanılarak yapılan örneklem ve güç hesabı sonucuna göre; %95 güven aralığında, %80 power gücünde 0,5 etki düzeyinde minimum 150 katılımcı ile çalışmanın planlanmasına karar verilmiştir (Kang, 2021). Rastgele örneklem yöntemi ile kesitsel olarak gerçekleştirilen araştırmaya 18 yaş ve üzerindeki 174 basketbolcu (97 kadın 77 erkek) katılmıştır. Çalışmaya ≥ 18 yaş, en az 1 yıldır basketbol oynayan, haftada en az 3 kez ikişer saat düzenli basketbol antrenmanı yapan, kronik herhangi bir hastalığı olmayan ve herhangi bir ilaç kullanmayan, gönüllü sporcular dahil edilmiştir.

Anket formu araştırmacı diyetisyen tarafından Türkiye genelindeki basketbolculara ulaşabilmek adına çevrimiçi ve yüz yüze görüşme tekniği ile uygulanmıştır. Toplamda 28 sorudan oluşan anket formu 4 bölümden oluşmaktadır. Basketbolculara uygulanan anket formu demografik veriler, antropometrik ölçümler, beslenme durumu ile ilgili veriler, Akdeniz diyeti beslenme modeli ve uyku kalite durumlarını kapsamaktadır.

Anket formunun *demografik veriler* kısmında; basketbolcuların cinsiyet, yaş, spora başlama yaşı, sporla aktif uğraşma süresi, sakatlık durumu, günlük uyku süresi, ilaç kullanım durumu, alerji durumu, sporcu ieeği ve besin destek ürünleri tüketim durumları, ek vitamin ve/veya mineral takviye kullanım durumları sorgulanmıştır.

Takımda düzenli olarak *antropometrik ölçümleri* yapılan basketbolcuların boy uzunluğu (cm) ve vücut ağırlığı (kg) değerlerini anket formuna kaydetmeleri istenmiştir. Beden Kütle İndeksi (BKİ) = Vücut ağırlığı (kg)/Boy uzunluğunun (m) karesi (kg/m²) formülü ile hesaplanmıştır. Öğrencilerin BKİ değerleri, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ/WHO) (2010)'nün sınıflandırmasına göre (<18,5: zayıf; 18,5-24,9: normal; 25,0-29,9: hafif şişman; 30-34,9: şişman evre I; 35-39,9: şişman evre II; ≥40: şişman evre III) tanımlanmıştır (Gallagher ve ark., 2000).

Basketbolcuların *beslenme alışkanlıklarını* anlamak amacıyla; “günde tüketilen toplam öğün sayısı, öğün/öğünler atlama durumu ve isimleri, öğün aralarında tüketilen besin/besinler, dışarıda yeme sıklığı, günlük su, çay ve kahve tüketimleri, antrenmandan/müsabakadan kaç saat önce öğün tüketildiği, antrenman/müsabaka sırası sıvı tercihi/tercihleri” gibi sorular sorulmuştur.

Basketbolcuların Akdeniz diyeti beslenme modeli, 14 Maddeli Akdeniz Diyeti Uyum Ölçeği (MEDAS) kullanılarak değerlendirilmiştir (Bekar ve Goktas, 2023). Bu ölçek ilk olarak Ekim 2003-Ocak 2009 tarihleri arasında “*Akdeniz Diyeti ile Önleme*” (the Prevention with Mediterranean Diet; PREDIMED) alışması kapsamında Estruch ve ark. (2013) tarafından 7146 İşpanyol katılımcıda uygulanmış ve Schröder ve ark. (2011) tarafından geçerliliği ve güvenilirliği kanıtlanmıştır. Anketin Türkçe'ye uyarlanması ve güvenilirliğinin değerlendirilmesi ise Bekar ve Goktas (2023) tarafından yapılmıştır. Ankette, hastaların yemeklerde kullandıkları temel yağ çeşidi, günlük tüketilen zeytinyağı miktarı, meyve ve sebze porsiyon miktarları, kırmızı et porsiyon miktarı, margarin-tereyağı tüketimi, şekerli ve/veya gazlı içecek tüketimi ile haftalık tüketilen şarap miktarı, kuru baklagil porsiyon miktarı, balık-deniz ürünü tüketim miktarı, kuruyemiş porsiyon miktarı, tatlı veya pastane ürünü tüketimi, zeytinyağlı domates sosu tüketimi ve beyaz etin kırmızı ete oranla daha çok tercih edilip edilmediği sorulmaktadır (Martínez-González ve ark., 2012). Her soru için 0 ya da 1 puan hesaplanmakta ve toplam MEDAS skoru 0 ile 14 puan arasında değişebilmektedir (Martínez-González ve ark., 2012; Navarra ve ark., 2023). Toplam puan arttıça, Akdeniz diyetine uyum da artmaktadır (Navarra ve ark., 2023). Toplam puanın 5 ve altında olması bireyin Akdeniz diyetine kötü derece uyumunun olduğunu, 6 ile 9 puan arası olması orta derece uyumunun olduğunu ve diyetin geliştirilmesi gerektiğini, 10 ve üzerinde olması ise bireyin Akdeniz diyetine iyi uyumunun olduğunu göstermektedir (Martínez-González ve ark., 2012).

Basketbolcuların uyku kalite durumları, Sporcu Uyku Davranış Ölçeği (SUDA) kullanılarak değerlendirilmiştir. SUDA; elit sporcuların uyku davranışlarının değerlendirilmesinde kullanılan yeni, güvenilir ve geçerli bir ankettir (Darendeli ve ark., 2019). SUDA, elit sporcu uyku davranışlarını belirlemek, sporcuların karşılaştıkları güçlükleri belirlemek amacıyla Darendeli ve ark. (2019) tarafından Türkçe'ye uyarlanmıştır. Ölçeğin orijinali (Athlete Sleep Behavior Questionnaire- ASBQ) Walsh ve ark. (2020) tarafından geliştirilmiştir. Ölçek elit düzeyde sporculara uygulanabilen 17 sorudan oluşan bir ankettir. 5'li likert sistemiyle derecelendirilmiştir (1= hiçbir zaman-5=her zaman). Ölçek puanlaması 5'li likerte göre her madde için 1'den 5'e kadar puan verilerek yapılmaktadır. Ölçek değerlendirmesi yapılırken; 34 ve altında puan = iyi derecede uyku davranışına, 35-39 puan arası= orta düzeyde uyku davranışına, 40 ve üzeri puan = kötü düzeyde uyku davranışına işaret etmektedir (Darendeli ve ark., 2019).

Bu çalışmada elde edilen veriler IBM SPSS 25 (IBM Corp. Released 2019. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0. Armonk, NY: IBM Corp.) programı ile analiz edilmiştir. Değişkenlerin normal dağılımdan gelme durumları araştırılırken çarpıklık basıklık katsayılarından yararlanılmış olup, Tabachnik ve Fidell (2013)' e göre skewness (çarpıklık) ve kurtosis (basıklık) değerleri -1,50 ile +1,50 arasında ise normal dağılım olduğu kabul edilir olması durumunda değişkenlerin normal dağılımdan geldiği belirtilmiştir. Sürekli değişkenler arasında ilişki bakılırken pearson korelasyon testlerinden yararlanılmıştır. Tüm testlerde, p değeri <0,05 için anlamlı kabul edilmiştir.

3. Bulgular

Çalışmaya 97'si kadın, 77'si erkek olmak üzere toplam 174 basketbolcu dâhil edilmiştir. Sporcuların demografik özelliklerinin ve antropometrik ölçümlerinin cinsiyete göre dağılımı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Elit basketbolcuların demografik özellikleri ve antropometrik ölçümlerinin cinsiyete göre dağılımı

Değişken	Cinsiyet	
	Erkek $\bar{x}\pm SS$	Kadın $\bar{x}\pm SS$
Yaş (yıl)	24,06±4,25	23,74±4,53
Boy (cm)	185,71±5,88	173,10±7,13
Vücut ağırlığı (kg)	83,49±8,82	64,96±7,37
BKİ (kg/m ²)	24,18±2,08	21,65±1,70
Spora Başlama Yaşı (yıl)	10,00±2,57	10,42±1,84

Basketbolcuların, bazı beslenme alışkanlıkları ve kullandıkları destek ürünlerinin cinsiyete göre dağılımına bakıldığında; erkek basketbolcuların (%74,03) kadınlara (%62,89) oranla daha fazla öğün atladıkları gözlenmiştir. Erkek basketbolcularda günde ortalama öğün tüketimi 3,43±0,64 bulunurken; kadınlarda 3,08±0,77 olarak tespit edilmiştir. Erkek basketbolcuların %37,66'sı, kadınların ise %27,84'ü besin destek ürünlerini kullanmıştır. En sık kullanılan besin destek ürünün protein tozu (%51,85) olduğu görülmüştür. Vitamin ve mineral takviyesi kullananların oranı hem erkeklerde (sırasıyla %19,48 ve %16,88) hem kadınlarda (sırasıyla %34,02 ve %37,11) düşük bulunmuştur.

Basketbolcularda takviye olarak vitaminlerden en sık C (%45,45) ve D vitamini (%31,82) kullanılırken; mineral olarak ise en çok Mg (%68,89) takviyesinin kullanıldığı tespit edilmiştir.

Basketbolcularda MEDAS ortalama puanları erkek ve kadınlarda sırasıyla: 8,45±2,27 ve 7,52±2,88 olarak bulunmuştur. Erkek basketbolcuların ortalama toplam MEDAS puanlarına göre bu diyet modeline orta düzeyde uyum sağladıkları tespit edilmiştir.

Katılımcıların yanıtladığı MEDAS ölçeğinin 14 maddesinin, cinsiyete göre dağılımına ilişkin bulgular Tablo 2’de gösterilmiştir. Tabloya göre hem erkek hem kadınlarda zeytinyağı en fazla kullanılan yağ çeşidi olmuştur. Tereyağı ve margarin tüketim miktarları her iki cinsiyette de düşük bulunmuştur. Sebze tüketim porsiyonları hem erkek hem kadınlarda düşük bulunurken; meyve tüketim miktarları ise erkeklerde yüksek bulunmuştur. Kuru baklagil ve yağlı tohum tüketim miktarları her iki cinsiyette de yüksek olarak tespit edilmiştir. Balık ve deniz ürünleri tüketim miktarları ise her iki cinsiyette de düşük bulunmuştur.

Tablo 2. Elit basketbolcularda 14 Maddeli Akdeniz Diyeti Uyum Ölçeği maddelerinin cinsiyete göre dağılımı

Değişken		Cinsiyet			
		Erkek		Kadın	
		n	%	n	%
Zeytinyağı mutfakta en fazla kullandığımız yağ türü müdür?	Evet (1 puan)	75	97,4	66	68,0
	Hayır (0 puan)	2	2,6	31	32,0
Zeytinyağını günde ne kadar kullanıyorsunuz? (kızartma, salata ve ev dışı yenen yemekler vs. dahil)	≥4 yemek kaşığı (1 puan)	75	97,4	66	68,0
	<4 yemek kaşığı (0 puan)	2	2,6	31	32,0
Günde kaç porsiyon sebze tüketiyorsunuz? (1 porsiyon=200 g yeşil yapraklı sebze; 150 g diğer sebzeler)	≥ 2 (en az 1 porsiyonu çiğ veya salata olarak) (1 puan)	16	20,8	33	34,0
	<2 (0 puan)	61	79,2	64	66,0
Günde kaç porsiyon meyve tüketiyorsunuz? (1 porsiyon= 150 g taze meyve, 30 g kuru meyve, 100 ml taze sıkılmış meyve suyu)	≥3 (1 puan)	47	61,0	44	45,4
	<3 (0 puan)	30	39,0	53	54,6
Günde kaç porsiyon kırmızı et, kıyım veya et ürünü (sosis, sucuk, salam vb.) tüketiyorsunuz? (1 porsiyon=100 g)	<1 (1 puan)	44	57,1	51	52,6
	≥ 1 (0 puan)	33	42,9	46	47,4
Günde kaç porsiyon tereyağı, margarin veya krema tüketiyorsunuz? (1 porsiyon= 12 g)	<1 (1 puan)	75	97,4	66	68,0
	≥ 1 (0 puan)	2	2,6	31	32,0
Günde kaç adet şekerli ve/veya gazlı içecek tüketiyorsunuz?	<1 (1 puan)	56	72,7	75	77,3
	≥ 1 (0 puan)	21	27,3	22	22,7
Şarap tüketiyor musunuz? Evet ise, haftada ne kadar şarap tüketiyorsunuz?	≥7 kadeh (1 puan)	1	1,3	17	17,5
	<7 kadeh	76	98,7	80	82,5

	(0 puan)				
Haftada kaç porsiyon kuru baklagil tüketiyorsunuz? (1 porsiyon=60 g)	≥ 3 (1 puan)	58	75,3	74	76,3
	< 3 (0 puan)	19	24,7	23	23,7
Haftada kaç porsiyon balık veya deniz ürünü tüketiyorsunuz? (1 porsiyon=150 g balık, 200 g deniz ürünü)	≥ 3 (1 puan)	13	16,9	19	19,6
	< 3 (0 puan)	64	83,1	78	80,4
Haftada kaç kez hazır tatlı veya pastane ürünleri tüketiyorsunuz? (poğaç, bisküvi, kek vb.)	< 3 (1 puan)	60	77,9	58	59,8
	≥ 3 (0 puan)	17	22,1	39	40,2
Haftada kaç porsiyon yağlı tohum (fıstık dahil) tüketiyorsunuz? (1 porsiyon=30 g)	≥ 1 (1 puan)	57	74,0	63	64,9
	< 1 (0 puan)	20	26,0	34	35,1
Kırmızı et, kıyma veya sucuk yerine tavuk veya hindi eti tercih eder misiniz?	Evet (1 puan)	44	57,1	51	52,6
	Hayır (0 puan)	33	42,9	46	47,4
Haftada kaç kez zeytinyağında pişirilmiş domates, soğan veya sarımsak ile lezzetlendirilmiş makarna, pilav, sebze yemeği veya diğer yemekleri tüketiyorsunuz?	≥ 2 (1 puan)	30	39,0	47	48,5
	< 2 (0 puan)	47	61,0	50	51,5

Basketbolcularda SUDA ortalama puanları erkek ve kadınlarda sırasıyla: $38,48 \pm 7,61$ ve $40,76 \pm 8,28$ olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre; erkek basketbolcuların orta düzeyde, kadınların ise kötü düzeyde uyku kalitesine sahip oldukları tespit edilmiştir. Katılımcıların yanıtladığı SUDA alt maddelerinin, cinsiyete göre dağılımına ilişkin bulgular Tablo 3'te verilmiştir. Tabloya göre, erkek basketbolcuların %42,86'sı, kadınların %46,39'u yarışma/antrenman esnasında hiçbir zaman uyarıcı (kafein gibi) kullanmadıklarını; erkeklerin %61,04'ü, kadınların %46,39'u susamış şekilde hiçbir zaman uyumadıklarını ve erkeklerin %81,82'si, kadınların %64,95'i uyumaya yardım etmesi için hiçbir zaman uyku hapları/tabletleri kullanmadıklarını belirtmişlerdir. Hem erkek hem kadın basketbolcularda çay ve kahve tüketim miktarları ile SUDA ortalama puanları arasında anlamlı bir fark elde edilememiştir ($p > 0,05$) (veri gösterilmemiştir).

Tablo 3. Elit basketbolcularda Sporcu Uyku Davranış Ölçeği maddelerinin cinsiyete göre dağılımı

Değişken		Cinsiyet			
		Erkek		Kadın	
		n	%	n	%
Öğleden sonraları iki saat ya da daha fazla uyurum.	Hiçbir Zaman	29	37,66	25	25,77
	Nadiren	25	32,47	31	31,96
	Bazen	13	16,88	18	18,56
	Sıklıkla	8	10,39	10	10,31
	Her Zaman	2	2,60	13	13,40
Yarışma/antrenman esnasında, uyarıcı kullanırım (kafein gibi).	Hiçbir Zaman	33	42,86	45	46,39
	Nadiren	14	18,18	22	22,68
	Bazen	21	27,27	16	16,49
	Sıklıkla	7	9,09	8	8,25
	Her Zaman	2	2,60	6	6,19
Geç saatlerde (akşam 7'den sonra) egzersiz (antrenman ya da yarışma) yaparım.	Hiçbir Zaman	17	22,08	28	28,87
	Nadiren	14	18,18	44	45,36
	Bazen	27	35,06	19	19,59
	Sıklıkla	10	12,99	4	4,12
	Her Zaman	9	11,69	2	2,06
Uykudan önceki dört saat içerisinde alkol tüketirim.	Hiçbir Zaman	48	62,34	59	60,82
	Nadiren	16	20,78	15	15,46
	Bazen	12	15,58	6	6,19
	Sıklıkla	1	1,30	15	15,46
	Her Zaman	0	0,00	2	2,06
Her gece farklı zamanlarda uyurum (± 1 saat fark vardır).	Hiçbir Zaman	5	6,49	10	10,31
	Nadiren	18	23,38	26	26,80
	Bazen	40	51,95	27	27,84
	Sıklıkla	5	6,49	14	14,43
	Her Zaman	9	11,69	20	20,62
Susamış şekilde yatarım.	Hiçbir Zaman	47	61,04	45	46,39
	Nadiren	16	20,78	21	21,65
	Bazen	13	16,88	16	16,49
	Sıklıkla	0	0,00	11	11,34
	Her Zaman	1	1,30	4	4,12
Kas ağrılarıyla yatarım.	Hiçbir Zaman	41	53,25	12	12,37
	Nadiren	16	20,78	25	25,77
	Bazen	16	20,78	34	35,05
	Sıklıkla	2	2,60	15	15,46
	Her Zaman	2	2,60	11	11,34
Yatmadan önceki bir saat ışık yayan teknolojik aletleri kullanırım (dizüstü bilgisayar, telefon, televizyon, video oyunlar gibi).	Hiçbir Zaman	0	0,00	14	14,43
	Nadiren	3	3,90	18	18,56
	Bazen	14	18,18	19	19,59
	Sıklıkla	22	28,57	20	20,62
	Her Zaman	38	49,35	26	26,80
Yatağımdayken spor performansım hakkında düşünür, plan yapar, endişelenirim.	Hiçbir Zaman	32	41,56	21	21,65
	Nadiren	19	24,68	29	29,90
	Bazen	5	6,49	27	27,84
	Sıklıkla	11	14,29	6	6,19
	Her Zaman	10	12,99	14	14,43
Yatağımdayken yaptığım sporla ilişkili olmayan konular hakkında düşünür, plan yapar, endişelenirim.	Hiçbir Zaman	33	42,86	24	24,74
	Nadiren	18	23,38	24	24,74
	Bazen	14	18,18	21	21,65
	Sıklıkla	7	9,09	15	15,46
	Her Zaman	5	6,49	13	13,40
Uyumama yardım etmesi için uyku hapları/tabletleri kullanırım.	Hiçbir Zaman	63	81,82	63	64,95
	Nadiren	10	12,99	11	11,34
	Bazen	4	5,19	15	15,46
	Sıklıkla	0	0,00	5	5,15
	Her Zaman	0	0,00	3	3,09
Her gece lavaboya gitmek için bir defadan	Hiçbir Zaman	15	19,48	24	24,74

fazla uyanırım.	Nadiren	32	41,56	29	29,90
	Bazen	13	16,88	18	18,56
	Sıklıkla	3	3,90	12	12,37
	Her Zaman	14	18,18	14	14,43
	Hiçbir Zaman	59	76,62	70	72,16
Kendimi ve/veya partnerimi horlamamla uyandırırım.	Nadiren	10	12,99	10	10,31
	Bazen	5	6,49	10	10,31
	Sıklıkla	1	1,30	3	3,09
	Her Zaman	2	2,60	4	4,12
	Hiçbir Zaman	67	87,01	67	69,07
Kendimi ve/veya partnerimi kas seğirmesi ile uyandırırım.	Nadiren	8	10,39	18	18,56
	Bazen	2	2,60	9	9,28
	Sıklıkla	0	0,00	2	2,06
	Her Zaman	0	0,00	1	1,03
	Hiçbir Zaman	6	7,79	20	20,62
Her sabah farklı zamanlarda uyanırım (± 1 saat fark vardır).	Nadiren	22	28,57	29	29,90
	Bazen	35	45,45	32	32,99
	Sıklıkla	5	6,49	8	8,25
	Her Zaman	9	11,69	8	8,25
	Hiçbir Zaman	9	11,69	17	17,53
Yabancı ortamlarda uyurum (otel odaları gibi).	Nadiren	26	33,77	18	18,56
	Bazen	34	44,16	23	23,71
	Sıklıkla	3	3,90	22	22,68
	Her Zaman	5	6,49	17	17,53
	Hiçbir Zaman	12	15,58	22	22,68
Yolculuk, tutarlı uyuyup-uyanma düzeni oluşturmamın önünde engel oluşturur.	Nadiren	15	19,48	20	20,62
	Bazen	20	25,97	27	27,84
	Sıklıkla	11	14,29	13	13,40
	Her Zaman	19	24,68	15	15,46

Basketbolcularda MEDAS ve SUDA ortalama puanlarının sınıflandırması ile ilgili bulgular Tablo 4'te verilmiştir. Tabloya göre; erkek basketbolcuların %40,30'unun, kadınların ise %27,80'inin iyi düzeyde MEDAS ortalama puanını karşıladığı tespit edilmiştir. Ortalama toplam SUDA puanlarına göre; erkeklerin %36,36'sının, kadınların ise %20,62'sinin iyi düzeyde uyku kalitesini karşıladığı saptanmıştır.

Tablo 4. Elit basketbolcularda MEDAS ve SUDA değerlerinin sınıflandırmasının cinsiyete göre dağılımı

Değişken	Erkek		Kadın		
	n	%	n	%	
MEDAS	≤ 5 puan (kötü uyum)	7	9,10	23	23,70
	6-9 puan (orta uyum, geliştirilmesi gerekli)	39	50,60	47	48,50
	≥ 10 puan (iyi uyum)	31	40,30	27	27,80
SUDA	Kötü (≥ 40 puan)	32	41,56	55	56,70
	Orta (35-39 puan)	17	22,08	22	22,68
	İyi (≤ 34 puan)	28	36,36	20	20,62

MEDAS: 14 maddeli Akdeniz Diyeti Uyum Ölçeği, SUDA: Sporcu Uyku Davranış Ölçeği

Basketbolcularda MEDAS ile SUDA ortalama puanları arasındaki ilişki değerlendirildiğinde, değişkenler arasında anlamlı bir ilişki tespit edilememiş ($p > 0,05$) ve Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Elit basketbolcularda MEDAS ile SUDA değişkenleri arası korelasyon değerleri (n=174)

Değişkenler	Ortalama±SS	MEDAS	SUDA	p değeri
MEDAS	4,72±2,32		0,02	0,77
SUDA	39,75±8,04	0,02		

*p<0,05, Pearson korelasyon testi

4. Tartışma

Elit basketbolcularda Akdeniz diyeti uyum ölçeği ile uyku kalitesi arasındaki ilişkinin incelendiği bu çalışmada; Türkiye’de profesyonel basketbol sporu ile uğraşan 18 yaş ve üzeri kadın ve erkek sporcularda Akdeniz diyetine uyum durumunu gösteren MEDAS ölçeği ile uyku kalitesini gösteren SUDA ölçeği arasında herhangi bir ilişki tespit edilememiştir. Kadın basketbolcuların erkeklere kıyasla Akdeniz diyetine uyumlarının ve uyku kalitelerinin daha kötü düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Son yıllarda yapılan araştırmalar, Akdeniz diyetinin sporcular üzerindeki etkilerini incelemekte ve olumlu sonuçlar ortaya koymaktadır (Helvacı ve ark., 2023). Calella ve ark. (2022) çalışmalarında, Akdeniz diyet modelinin elit sporcular arasında yaygın olarak tercih edildiği ve örnek bir beslenme modeli olarak kabul edildiğini belirtmişlerdir. Akdeniz diyetinin uygulanabilirliğinin kolay olması da sporcular tarafından sıklıkla tercih edilmesine neden olmaktadır. Literatürdeki çalışma sonuçları; Akdeniz diyetinin sporcular için ideal bir beslenme modeli olduğunu ve performansı arttırmak için tercih edilmesi gerektiğini göstermektedir (Helvacı ve ark., 2023). Bu diyeti uygulayan sporcularda antrenman sonrası toparlanma sürelerinin daha kısa olduğu ve kas dayanıklılığında artış olduğu tespit edilmiştir (Helvacı ve ark., 2023). Spor performansını geliştirmede Akdeniz diyetinin içeriğinde yer alan biyoaktif bileşenlerin ve antioksidanların etkili olduğu düşünülmektedir (Pingitore ve ark., 2015). Akdeniz diyeti sebze (3-9 porsiyon/gün), meyve (1/2-2 porsiyon/gün), ekmek ve diğer tahıl gruplarından (1-13 porsiyon/gün), yağlı tohumlar (yağ kaynağı olarak özellikle zeytinyağından; 8 porsiyon/gün), süt ve süt ürünleri (2 porsiyon/gün) ile özellikle balık tüketiminin (2-3 kez/hafta) olduğu sağlıklı bir diyet modeli olarak bilinmektedir (Davis ve ark., 2015). Bu çalışmada hem erkek hem kadın basketbolcularda, Akdeniz diyetinin temelini oluşturan ≥ 2 porsiyon günlük sebze tüketimi ile ≥ 3 porsiyon haftalık balık tüketimleri oldukça düşük bulunmuştur. Kaçar ve Yeşilkaya (2020) kadın futbolcuları kapsayan çalışmasında, bu çalışmaya benzer sebze (%43,1) ve meyve (%34,7) tüketim oranları düşük bulunmuştur. Akdeniz diyeti uygulayan sporcularda, balık tüketim oranlarının (%8,3-27,1) da genellikle bu çalışmaya benzer olarak düşük olduğu tespit edilmiştir (Kaçar ve Yeşilkaya, 2020). Bu durum sporcuların performansları açısından olumsuzluk yaratabilmektedir; çünkü balıkta zengin olarak bulunan omega-3 yağ asitlerinden özellikle Eikosapentaenoik asit (EPA) ve Dokosaheksaenoik asit (DHA)’in anti-enflamatuar özelliklerinden dolayı kas hasarını azalttığı ve yoğun egzersiz sonrası toparlanmayı arttırdığı için sporcularda önemli bir besin kaynağı olmaktadır (Calder, 2017; Lee ve ark., 2016). Besin takviyeleri yerine omega-3 yağ asitlerinden zengin olan yağlı

balık kaynaklarının sporcunun beslenmesine eklenmesinin daha güvenli olduğu düşünülmektedir (Kyriakidou ve ark., 2021).

Bu çalışmada, basketbolcuların MEDAS ortalama puanlarının ($7,94 \pm 2,66$) orta düzeyde diyet kalitesine, yani geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Literatürde yer alan çalışmalarda da bu çalışma sonuçlarına benzer olarak; sporcuların Akdeniz diyeti beslenme modelinden elde edilen ortalama puanlarına göre, orta düzey diyet kalitesine sahip oldukları gözlenmiştir (Kaçar ve Yeşilkaya, 2020; Mariscal-Arcas ve ark., 2009). Bu çalışmada MEDAS ortalama puanlarının iyi kalite düzeyinde olamamasına; günlük sebze ve meyve tüketimlerinin yetersiz olması ve haftalık balık tüketimlerinin çok düşük olması neden olmuştur. Bunun aksine; basketbolcularda günlük kuru baklagil ve zeytinyağı tüketimlerinin yüksek olmasının ise ortalama puanları olumlu etkilediği düşünülmüştür.

Uyku kalitesinin de sporcularda en az beslenme kadar performansı etkileyen önemli bir faktör olduğu bilinmektedir. Bu durum, uykunun sporcuların iyileşme, adaptasyon ve mental odaklanma süreçlerine olan etkisinden dolayı kaynaklanmaktadır. Uyku kalitesinin düşük olması, performans düşüklüğüne ve yaralanma riskinin artmasına neden olmaktadır (Watson, 2017). Sporcu uyku davranış ölçeği, sporcuların uyku kalitesinin değerlendirilmesi ve iyileştirilmesinde kullanılan önemli bir ölçektir (Tabachnick ve Fidell, 2013). Bu çalışmada da basketbolcuların uyku kalitesi, SUDA ölçeği kullanılarak değerlendirilmiş ve ortalama puanların ($39,75 \pm 8,05$) orta düzeyde uyku kalitesi düzeyinde olduğu sonucuna varılmıştır. Voleybolcular üzerinde yapılan bir çalışmada, uyku kalitesini değerlendiren diğer bir ölçek olan Pittsburgh Uyku Kalitesi İndeksi kullanılmış ve sporcuların %53,8'inin kötü düzeyde uyku kalitesine sahip oldukları tespit edilmiştir (Yüksel, 2021). Elit sporcuları kapsayan diğer bir çalışmada da sporcuların çoğunun yüksek düzeyde uyku bozukluğuna sahip oldukları belirlenmiştir (Walsh ve ark., 2020). Diğer çalışma sonuçlarının aksine; Pittsburgh Uyku Kalitesi İndeksi kullanılan Çömez ve Çebi (2020) çalışmasında ise sporculardaki uyku kalitesi ortalama puanlarının iyi düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

Akdeniz diyeti beslenme modeli ile uyku kalitesi arasındaki ilişkiye bakıldığında; bu çalışmada elit basketbolcularda değişkenler arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Literatürde Akdeniz diyeti beslenme modeli ile uyku kalitesi arasındaki ilişkiyi değerlendiren sedanter yetişkin bireyler üzerinde gerçekleştirilmiş çalışmalar yer almakta ve çalışmalarda iki değişken arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu bildirilmektedir (Şahin-Bodur ve ark., 2024; Godos ve ark., 2019). Literatürde sporcular üzerinde Akdeniz diyeti beslenme modeli ile uyku kalitesi arasındaki ilişkiyi değerlendiren çalışmalar yer almamakta, çoğunlukla besin alımı ile uyku kalitesi arasındaki ilişkiyi değerlendiren çalışmalar bulunmaktadır (Moss ve ark., 2022; Daniel ve ark., 2019).

Araştırmanın sınırlılıklarından biri çalışmanın kesitsel olmasıdır ve bu yüzden çalışmada genelleme yapılamamaktadır. Çalışmanın aynı zamanda çevrimiçi olarak yürütülmesi, basketbolcuların besin tüketim kayıtlarının alınmasına engel olmuştur. Besin tüketim kayıtları sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda Akdeniz diyeti beslenme modeli ve uyku kalitesi arasındaki ilişkiye bakılması daha kapsamlı sonuçların elde edilmesine yardımcı olacaktır. Çevrimiçi anketlerin bir diyetisyen tarafından

uygulanamamış olması da çalışmanın sınırlılıklarından birini oluşturmaktadır. Bu durumlar, diyet kalitesi ile uyku kalitesi arasında güçlü korelasyon elde edilmesini etkilemiş olabilir.

5. Sonuçlar

Çalışmada Türkiye'deki 1. lig ve 2. ligde yer alan basketbolcularda on dört maddeli Akdeniz Diyeti Uyum Ölçeği ve uyku kalitesinin orta düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Özellikle kadın basketbolcuların erkek basketbolculara kıyasla Akdeniz diyetine uyumlarının ve uyku kalitelerinin daha kötü düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, MEDAS ile uyku kalitesini gösteren bir ölçek olan SUDA değişkeni arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır. Her iki cinsiyette de MEDAS sonuçlarına göre; basketbolcuların diyetlerinin tekrar düzenlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Sporcularda performanslarını olumlu desteklemek adına, özellikle bireysel beslenmelerinde eksik olduğu tespit edilen sebze, meyve ve balık porsiyonları açısından dengeli bir beslenme programının hazırlanmasına dikkat edilmelidir. Bunun sonucunda, doğru besin seçimleri ile birlikte basketbolcuların uyku kalitelerinin de olumlu yönde etkileneceği düşünülmektedir. Literatürde sporcular üzerinde Akdeniz diyeti beslenme modeli ile uyku kalitesi arasındaki ilişkiyi değerlendiren çalışmalara rastlanılamamıştır. Bu nedenle, ileride sporcular üzerinde Akdeniz Diyeti beslenme modeli ile uyku kalitesi arasındaki ilişkiyi değerlendiren daha geniş çapta çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

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

- Bach A., Serra-Majem L., Carrasco JL., Roman B., Ngo J., Bertomeu I., Obrador B. The use of indexes evaluating the adherence to the Mediterranean diet in epidemiological studies: A review. *Public Health Nutrition* 2006; 9(1a): 132-146.
- Bekar C., Goktas Z. Validation of the 14-item mediterranean diet adherence screener. *Clinical Nutrition ESPEN* 2023; 53: 238-243.
- Davis C., Bryan J., Hodgson J., Murphy K. Definition of the mediterranean diet; a literature review. *Nutrients* 2015; 7(11): 9139-9153.
- Calder PC. Omega-3 fatty acids and inflammatory processes: from molecules to man. *Biochemical Society Transactions* 2017; 45(5): 1105-1115.
- Calella P., Gallè F., Cerullo G., Postiglione N., Ricchiuti R., Liguori G., D'Angelo S., Valerio G. Adherence to Mediterranean diet among athletes participating at the XXX summer universiade. *Nutrition and Health* 2022; 29(4): 645-651.

- Loft M., Cameron L. The importance of sleep: relationships between sleep quality and work demands, the prioritization of sleep and pre-sleep arousal in day-time employees. *Work and Stress* 2014; 28(3): 289-304.
- Çömez U., Çebi M. The effects of sports habit on sleep quality. *The Journal of International Social Research* 2020; 13(71): 1122-1130.
- Daniel NVS., Zimberg IZ., Estadella D., Garcia MC., Padovani RC., Juzwiak CR. Effect of the intake of high or low glycemic index high carbohydrate-meals on athletes' sleep quality in pre-game nights. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 2019; 91(1): e20180107.
- Darendeli A., Diker G., Çınar Z. Athlete sleep behavior questionnaire - Turkish version: study of validity and reliability. *Journal of Turkish Sleep Medicine* 2019; 1: 43-48.
- Dweck JS., Jenkins SM., Nolan LJ. The role of emotional eating and stress in the influence of short sleep on food consumption. *Appetite* 2014; 72: 106-113.
- Estruch R., Ros E., Salas-Salvadó J., Covas MI., Corella D., Arós F., et al. Primary prevention of cardiovascular disease with a Mediterranean diet. *The New England Journal of Medicine* 2013; 368: 1279-1290.
- Gallagher D., Heymsfield SB., Heo M., Jebb SA., Murgatroyd PR., Sakamoto Y. Healthy percentage body fat ranges: an approach for developing guidelines based on body mass index. *The American Journal of Clinical Nutrition* 2000; 72(3): 694-701.
- Godos J., Ferri R., Caraci F., Cosentino FII., Castellano S., Galvano F., Grosso G. Adherence to the Mediterranean diet is associated with better sleep quality in Italian adults. *Nutrients* 2019; 11(5): 976.
- Hall RCW., Rundel JR., Popkin MK. Cost-effectiveness of the consultation-liaison service. Wise M.G., Rundel R.J. (eds). *Textbook of consultation-Liaison Psychiatry*. Washington, DC: American Psychiatric Publishing 2002; 25-32.
- Helvacı G., Uçar A., Çelebi MM., Çetinkaya H., Gündüz AZ. Effect of a Mediterranean-style diet on the exercise performance and lactate elimination on adolescent athletes. *Nutrition Research Practice* 2023; 17(4): 762-779.
- Kaçar M., Yeşilkaya B. Profesyonel kadın futbolcuların beslenme alışkanlıklarının araştırılması. *Ulusal Spor Bilimleri Dergisi* 2020; 4(2): 116-126.
- Kang H. Sample size determination and power analysis using the G*Power software. *Journal of Educational Evaluation for Health Professions* 2021; 18: 17.
- Kyriakidou Y., Wood C., Ferrier C., Dolci A., Elliott B. The effect of omega-3 polyunsaturated fatty acid supplementation on exercise-induced muscle damage. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 2021; 18(1): 9.
- Lee JM., Lee H., Kang SB., Park WJ. Fatty acid desaturases, polyunsaturated fatty acid regulation, and biotechnological advances. *Nutrients* 2016; 8(1): 23.

- Mariscal-Arcas M., Rivas A., Velasco J., Ortega M., Caballero AM., Olea-Serrano F. Evaluation of the Mediterranean diet quality index (KIDMED) in children and adolescents in Southern Spain. *Public Health Nutrition* 2009; 12(9): 1408-1412.
- Martínez-González MÁ., Corella D., Salas-Salvadó J., Ros E., Covas MI., Fiol M., Wärnberg J., Arós F., Ruíz-Gutiérrez V., Lamuela-Raventós RM., Lapetra J., Muñoz MA., Martínez JA., Sáez G., Serra-Majem L., Pintó X., Mitjavila MT., Tur JA., Portillo MDP., Estruch R. Cohort profile: design and methods of the PREDIMED study. *International Journal of Epidemiology* 2012; 41(2): 377-385.
- Molina-López J., Planells E. Nutrition and hydration in basketball athletes. In: Laver L., Kocaoğlu B., Cole B., Arundale AJH., Bytomski J., Amendola A. (eds). *Basketball sports medicine and science*. Heidelberg, DEU: Springer Publishing 2020; 65-79.
- Moss K., Zhang Y., Kreutzer A., Graybeal AJ., Porter RR., Braun-Trocchio R., Shah M. The relationship between dietary intake and sleep quality in endurance athletes. *Frontiers in Sports and Active Living* 2022; 4: 810402.
- Navarra GA., Tabacchi G., Scardina A., Agnese M., Thomas E., Bianco A., Palma A., Bellafiore M. Functional fitness, lifestyle and demographic factors as predictors of perceived physical and mental health in older adults: a structural equation model. *Plos One* 2023; 18(9): e0290258.
- Özer ER., Tekinşen K. Akdeniz diyeti ve sağlık. *Akademik Et ve Süt Kurumu Dergisi* 2021; 2: 13-23.
- Pingitore A., Lima GPP., Mastorci F., Quinones A., Iervasi G., Vassalle C. Exercise and oxidative stress: potential effects of antioxidant dietary strategies in sports. *Nutrition* 2015; 31(7-8): 916-922.
- Schröder H., Fitó M., Estruch R., Martínez-González MA., Corella D., Salas-Salvadó J., Lamuela-Raventós R., Ros E., Salaverría I., Fiol M., Lapetra J., Vinyoles E., Gómez-Gracia E., Lahoz C., Serra-Majem L., Pintó X., Ruiz-Gutierrez V., Covas MI. A short screener is valid for assessing Mediterranean diet adherence among older Spanish men and women. *The Journal of Nutrition* 2011; 141(6): 1140-1145.
- Şahin-Bodur G., Kemaneci S., Tunçer E., Keser A. Evaluation of the relationship between the Mediterranean diet adherence and sleep quality in adults. *Sleep and Breathing* 2024; 28: 511-518.
- Tabachnick BG., Fidell LS. *Using multivariate statistics*. 6th ed. Boston, MA: Pearson; 2013.
- Taylor J. A tactical metabolic training model for collegiate basketball. *Strength and Conditioning Journal* 2004; 26(5): 22-29.
- Yüksel A. Covid-19 pandemi döneminde elit sporcuların uyku kalitesi ile beslenme durumunun değerlendirilmesi. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi* 2021; 17(pandemi özel sayısı): 3918-3942.
- Walsh NP., Halson SL., Sargent C., Roach GD., Nédélec M., Gupta L., Leeder J., Fullagar HH., Coutts AJ., Edwards BJ., Pullinger SA., Robertson CM., Burniston JG., Lastella M., Meur YL.,

Hauswirth C., Bender AM., Grandner MA., Samuels CH. Sleep and the athlete: narrative review and 2021 expert consensus recommendations. *British Journal of Sports Medicine* 2020; 55(7): 356-368.

Watson AM. Sleep and athletic performance. *Current Sports Medicine Reports* 2017; 16(6): 413-418.

Widmer RJ., Flammer AJ., Lerman LO., Lerman A. The Mediterranean diet, its components, and cardiovascular disease. *The American Journal of Medicine* 2015; 128(3): 229-238.

Rasyona Domates (*Solanum lycopersicum*) Tozu İlavesinin Bildircınlarda Yumurta Verimi, Yumurta Kalitesi ve Yumurta Sarısı Rengi Üzerine Etkisi

Ahmet Engin TÜZÜN¹, Esra Tuğçe GÜL^{2*}, Osman OLGUN³, Alpönder YILDIZ⁴

^{1,3,4}Adnan Menderes Üniversitesi, Koçarlı Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, 09010, Aydın

²Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, 42250, Konya

¹<https://orcid.org/0000-0003-3493-1623>

²<https://orcid.org/0000-0002-2496-685X>

³<https://orcid.org/0000-0002-3732-1137>

⁴<https://orcid.org/0000-0002-3274-7710>

*Sorumlu yazar: esra.gul@selcuk.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 12.02.2024

Kabul tarihi: 31.05.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Domates tozu

Bildircin

Performans

Yumurta kalitesi

ÖZ

Bu çalışmada katkı maddesi olarak rasyona farklı dozlarda domates tozu ilavesinin yumurtacı bildircınlarda yumurta verimi, yumurta kalitesi ve yumurta sarısı rengi üzerine etkilerini belirlemek amaçlanmıştır. Çalışmada, 16 haftalık yaşta, toplam 54 adet dişi Japon bildircını her birinde 3 adet bildircin bulunan 6 tekerrürlü 3 muamele grubuna rastgele dağıtılmıştır. Muameleler bazal rasyona 0, 5 ve 10 g/kg seviyelerinde domates tozu ilavesiyle oluşturulmuştur. Bildircınlar muamele rasyonları ile 8 hafta boyunca *ad-libitum* olarak beslenmişlerdir. Rasyona domates tozu ilavesinin bildircınların performans, yumurta kabuk, yumurta iç kalitesi ve yumurta sarısı L* (parlaklık) ve b* (sarılık) değerlerine etkisi olmamıştır (P>0.05). Yumurta sarısı a* (kırmızılık) değeri rasyona domates tozu ilavesi ile önemli derecede artmıştır (P>0.01). Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre domates tozu performansı ve yumurta kalitesini etkilemeden yumurta sarısı rengini (a* değeri) iyileştirici doğal katkı maddesi olarak kullanılabilir.

Effect of Addition of Tomato (*Solanum lycopersicum*) Powder to the Diet on Egg Production, Egg Quality and Yolk Color in Quails

Research Article

Article History:

Received: 12.02.2024

Accepted: 31.05.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

Tomato powder

Quail

Performance

Egg quality

ABSTRACT

This study aimed to determine the effects of adding different levels tomato powder to the diet as an additive on egg yield, egg quality, and yolk color in laying quails. In the study, a total of 54 female Japanese quails, at the age of 16 weeks, were randomly distributed into 3 treatment groups with 6 replicates, each containing 3 quails. Treatment diets were created by adding tomato powder to the basal diet at levels of 0, 5, and 10 g/kg levels. Quails were fed with treatment diets for 8 weeks as *ad-libitum*. The addition of tomato powder to the diet did not affect the performance, eggshell, egg interior quality, and yolk L* (lightness) and b* (yellowness) values of quails (P>0.05). Yolk a* (redness) value increased significantly with the addition of tomato powder to the diet (P>0.01). According to the results obtained from the study, tomato powder can be used as a natural additive to improve yolk color (a* value) without affecting performance and egg quality.

To Cite: Tüzün AE., Gül ET., Olgun O., Yıldız A. Rasyona Domates (*Solanum lycopersicum*) Tozu İlavesinin Bildircınlarda Yumurta Verimi, Yumurta Kalitesi ve Yumurta Sarısı Rengi Üzerine Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(5): 2173-2180.

1. Giriş

Hayvansal gıdalar insan beslenmesinde önemli bir yeri tutar. Ucuz ve ulaşılması daha kolay bir hayvansal protein olan yumurta da bu gıdalardan biridir. Yumurta kalitesini birçok faktör belirlese de tüketici için yumurtanın doğal yemler tüketen tavuklardan elde edilmesi ve yumurta sarısı renginin portakal renginde olması en önemli faktörlerdendir (Özkan ve Açıköz, 2007). Yumurta sarısı rengini tüketilen yemler belirlemekte olup, karotenoid bakımından zengin mısır, mısır gluteni ve yonca unu gibi yemlerin tüketilmesi ile yumurta sarısı iyileşmektedir (Blount ve ark., 2000; Özkan ve Açıköz, 2007). Ancak karotenoid bileşikler bakımından fakir yemlerin rasyonda kullanılması yumurta sarısında tüketici tercihini olumsuz etkileyen renk açılmalarını beraberinde getirir. Bu durumda yetiştiriciler sentetik veya karotenoid bakımından zengin kırmızı biber tozu (Ağma Okur ve Kayhan, 2018; Sözcü, 2019; Filik ve ark., 2020; Bala ve ark., 2020) veya domates tozu (Akdemir ve ark., 2012; Avcı ve ark., 2012; Bala ve ark., 2020) gibi pigment bakımından zengin doğal renk vericileri rasyona ilave etmektedirler.

Karotenoidler açısından zengin olan domates önemli ölçüde likopen (toplam karotenoidlerin %80-90'ı), ve β -karoten (%7-10) ve daha düşük seviyelerde γ -karoten, α -karoten, lutein, violaksantin, zeaksantin, neoksantin, kriptoksantin, nörosporen, fitoen, fitofluen, siklikopen ile E ve C vitaminleri ve flavonoidler gibi diğer bazı yararlı bileşikler içerir (Bourne ve Rice-Evans, 1998; Nguyen ve Schwartz, 1999; Khachik et al., 2002; Burnset ve ark., 2003; Karadaş ve ark., 2006) ve bu bileşenler yumurta sarısında birikme eğilimi göstermektedir (Akdemir ve ark., 2012). Domates kanatlı rasyonlarına yem kaynağı olarak kuru domates posası formunda %15 seviyesine kadar ilave edilebildiği (Tufarelli ve ark., 2022) gibi domates tozu olarak da 40 g/kg seviyesine kadar ilave edilebilmektedir (Akdemir ve ark., 2012; Avcı ve ark., 2012). Çalışma sonuçları her iki durumda da hayvanların verim veya kabuk kalitesinin olumsuz etkilenmediğini (Şahin ve ark., 2011; Bala ve ark., 2020) veya iyileştirdiğini (Akdemir ve ark., 2012) göstermektedir. Üstelik bütün çalışma sonuçlarına göre rasyonda domates ürünleri kullanımının yumurta sarı rengini iyileştirdiği belirtilmiştir (Akdemir ve ark., 2012; Avcı ve ark., 2012; Bala ve ark., 2020; Tufarelli ve ark., 2022).

Bu çalışmada yumurtlama dönemindeki bildirgin rasyonlarına farklı dozlarda katkı maddesi olarak domates tozu eklenmesinin yumurta verimi, yumurta kalitesi ve yumurta sarısı rengine etkisini belirlemek için planlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Araştırma Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulunun 64583101/2023/150 sayılı izni ile Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü Bildirgin Birimi'nde yürütülmüştür.

2.1. Materyal

Çalışmada sarı mısır/soya küspesine dayalı bildirgin rasyonlarına 0, 5 ve 10 g/kg seviyelerinde domates tozu ilave edilmiş muamele yemleri ve su 16 haftalık yaştaki 54 adet dişi Japon bildirginine 8

hafta boyunca ad-libitum olarak verilmiştir. Çalışmada kullanılan bazal rasyonun (0 g/kg) içeriği NRC (1994)'nin yumurtlayan bıldırcınlar için önerilen besin madde seviyeleri baz alınarak hazırlanmıştır (Tablo 1). Çalışmada kullanılan domates tozu Kurucum Gıda'dan ve yem hammaddeleri ticari bir firmadan satın alma yolu ile temin edilmiştir. Çalışma her birinde üç dişi bıldırcının olduğu altı tekerrürlü üç muamele grubunda gerçekleştirilmiştir.

2.2. Metot

Çalışmada muamele yemleri bıldırcınlara tartılarak verilmiş ve çalışma bitiminde yemlikteki yemler tartılmış, tartımlar arasındaki farktan yararlanarak g/gün/bıldırcın biriminde yem tüketimi hesaplanmıştır. Bıldırcınların verdiği yumurta sayısı günlük kaydedilmiş ve yumurta verimi yüzde (%) olarak hesaplanmıştır. Çalışma bitiminin son üç gününde toplanan bütün yumurtalar 0,01 g'a hassas terazide tartılmış ve bu verilerden grupların yumurta ağırlıkları g biriminde tespit edilmiştir. Bu elde edilen verilerden g/gün/bıldırcın olarak $yumurta\ verimi \times yumurta\ ağırlığı / 100$ formülü kullanılarak yumurta kitlesi bulunmuştur. Gruplardaki bıldırcınların yemden yararlanma oranı $yem\ tüketimi / yumurta\ kitlesi$ formülü ile hesaplanmıştır.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan rasyon ve besin maddeleri içeriği

Hammaddeler	g/kg	Besin maddeleri	g/kg
Sarı mısır	544,0	Metabolik enerji, kkal/kg ²	2899,08
Soya küspesi, 46% HP	344,0	Ham protein ³	200,13
Soya yağı	36,5	Ham selüloz ³	28,30
Kireç taşı	56,0	Ham yağ ³	58,38
Dikalsiyum fosfat	11,4	Nem ³	128,32
Sodyum klorür	3,5	Lisin ²	10,90
VMK ¹	2,5	Metiyonin ²	4,49
DL-metiyonin	2,1	Kalsiyum ³	24,98
Total	1000,0	Toplam fosfor ³	6,37
		Kullanılabilir fosfor ²	3,49

¹ VMK (vitamin-mineral karışımı) yumurtacı bıldırcınlar için hazırlanmış olup herhangi bir renk katkı maddesi içermemektedir. Her kg yemde sağladığı besin maddeleri vitamin A, 20000 IU; vitamin D₃, 10000 IU; vitamin E, 125 mg; vitamin K₃, 5 mg; vitamin B₁₂, 0,0275 mg; biyotin, 0,30 mg; folik asit, 2,5 mg; nikotinik asit, 112,5 mg; pantotenik asit, 37,5 mg; piridoksin, 3,75 mg; 10 mg; tiamin, riboflavin, 5 mg; bakır, 10 mg; iyot, 3 mg; demir, 50 mg; manganez, 60 mg; çinko, 50 mg; selenyum, 0,75 mg.² Hesaplanmış değerler.³ Analiz sonuçları

Yumurta iç ve dış kalitesi denemenin son üç gününde toplanan toplam 150 yumurtadan tespit edilmiştir. Temiz bir zemine kırılan yumurtaların kabukları kalıntı kalmayacak şekilde temizlenerek üç gün oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kabuk oranı kuru kabukların yumurta ağırlığına oranlanmasıyla hesaplanmıştır. Yumurtanın kabuk kalınlığı orta, küt ve sivri kısımlardan alınan değerlerin ortalaması alınarak elde edilmiştir. İç kalite parametreleri için ise yükseklik mihengiri kullanılarak yumurtaların ak ve sarılarının yüksekliği ve dijital kumpas yardımı ile de yumurtaların uzunluk ve genişlik ölçümleri yapılmıştır. Bu verilerden faydalanarak ak indeksi [$ak\ yüksekliği / ((ak\ genişliği + ak\ uzunluğu) / 2)$] $\times 100$, sarı indeksi ($sarı\ yüksekliği/sarı\ çapı$) $\times 100$ ve Haugh birimi ise $100 \times \log (ak\ yüksekliği + 7,57 - 1,7 \times yumurta\ ağırlığı^{0,37})$ formülleri kullanılarak bulunmuştur. Yumurta sarısının

parlaklık (L*), kırmızılık (a*) ve sarılık (b*) parametreleri Kolorimetre cihazı (Minolta Chroma Meter CR400 (Minolta Co Osaka Japan)) ile tespit edilmiştir.

Çalışma sonunda domates tozu ilavesinin bıldırcınlarda incelenen parametrelerine etkisini belirlemek amacıyla veriler SPSS 18.0 yazılım paketinde tek yönlü varyans analizi yöntemiyle analiz edilmiştir. Muamele grupları arasında önemli bir farklılık tespit edildiği durumlarda Duncan çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. Ayrıca muamele gruplarından elde edilen bu veriler ortogonal teste tabi tutulmuş linear ve kuadratik etki belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Domates tozu ilave edilmiş rasyonlar ile yemlenen bıldırcınlara ait performans parametreleri Tablo 2’de gösterilmiştir. Rasyona domates tozu ilavesi bıldırcınların performans değerlerini istatistiki olarak değiştirmemiştir ($P>0.05$). Çalışmada bitiş canlı ağırlığı 274,7-285,5 g, canlı ağırlık değişimi 0,00-6,83 g, yumurta verimi %90,95-93,25, yumurta ağırlığı 12,61-13,12 g, yumurta kitlesi 11,75-11,94 g/bıldırcın/gün, yem tüketimi 35,34-36,80 g/bıldırcın/gün ve yemden yararlanma oranı 3,01-3,09 aralığında tespit edilmiştir. Bu sonuçlar Şahin ve ark. (2011)’nin bıldırcınlarda (25 ve 50 g/kg) ve Bala ve ark. (2020)’nin tavuklarda domates tozu kullanımının performansı etkilemediğini bildirdikleri sonuçlar ile uyumludur. Ancak Avcı ve ark. (2012), 1 g/kg seviyesinde domates tozu ilavesinin bıldırcınlarda yem tüketimini düşürmesi dışında performans parametrelerini etkilemediğini bildirdikleri sonuç ile kısmen benzerlik gösterirken, Akdemir ve ark. (2012) yumurta tavuk rasyonlarına 5 ve 10 g/kg seviyesinde domates tozu ilavesi performansı iyileştirdiğini bildirdikleri sonuçlar ile ise benzerlik göstermemektedir. Amer ve ark. (2020), domates yan ürünlerinin başta lizin olmak üzere amino asitler, likopen, beta karoten, askorbik asit ve Vitamin E bakımından zengin olduğunu ve rasyona ilavesi ile sindirim sistemini teşvik ettiğini bildirmiştir. Araştırmacılara göre domates yan ürünleri sindirim enzimlerinin aktivitesini artırmaktadır. Mevcut çalışmada performans üzerinde bu etkilerin görülmemesi rasyonda kullanılan seviyelere bağlanabilir.

Tablo 2. Rasyona domates tozu ilavesinin yumurtlayan bıldırcınların performansına etkisi

Parametreler	Domates tozu seviyesi, g/kg			Standart hata	P-değeri		
	0	5	10		Anova	L	Q
İlk canlı ağırlık, g	278,7	269,0	283,8	9,67	0,835	0,839	0,579
Son canlı ağırlık, g	285,5	274,7	283,8	9,41	0,892	0,946	0,642
Canlı ağırlık değişimi, g	6,83	5,67	0,00	2,635	0,555	0,317	0,700
Yumurta verimi, %	91,27	93,25	90,95	0,820	0,490	0,878	0,243
Yumurta ağırlığı, g	12,98	12,61	13,12	0,188	0,546	0,777	0,295
Yumurta kitlesi, g/bıldırcın/gün	11,84	11,75	11,94	0,206	0,941	0,858	0,769
Yem tüketimi, g/bıldırcın/gün	35,99	35,34	36,80	0,645	0,679	0,627	0,470
Yemden yararlanma oranı	3,05	3,01	3,09	0,039	0,738	0,689	0,511

L; Linear etki, Q; Kuadratik etki

Tablo 3. Rasyona domates tozu ilavesinin yumurta kabuk kalitesine etkisi

Parametreler	Domates tozu seviyesi, g/kg			Standart hata	P-değeri		
	0	5	10		Anova	L	Q
Kabuk kalınlığı, μm	226,3	223,1	224,6	2,37	0,306	0,888	0,131
Relatif kabuk ağırlığı, %	8,30	8,69	8,26	0,122	0,868	0,779	0,657

L: Linear etki, Q: Kuadratik etki

Tablo 3'te bildirilen yumurtalarının kabuk kalitesi üzerine rasyona domates tozu ilavesinin etkisi gösterilmiştir. Yumurtlayan bildirilen rasyonlarına domates tozu ilavesinin kabuk kalite parametrelerinden kabuk kalınlığına (223,1-226,3 μm) ve relatif kabuk ağırlığına (%8,26-8,69) etkisi istatistiki yönden önemli olmamıştır ($P>0.05$). Bu sonuçlar Akdemir ve ark. (2012), Avcı ve ark. (2012) ve Bala ve ark. (2020) tarafından 1 ila 40 g/kg seviyesinde domates tozu ve Tufarelli ve ark. (2022) ve Reda ve ark. (2022) tarafından %3-15 seviyelerinde kuru domates tozu ilavesi sonucunda yumurta kabuk kalitesinin etkilenmediğini bildirdikleri sonuçlar ile uyumludur.

Tablo 4. Bildirilen rasyonlarına domates tozu ilavesinin yumurta iç kalitesine etkisi

Parametreler	Domates tozu seviyesi, g/kg			Standart hata	P-değeri		
	0	5	10		Anova	L	Q
Sarı indeksi	57,22	58,60	56,00	1,083	0,647	0,662	0,417
Ak indeksi	3,67	4,27	3,93	0,132	0,175	0,406	0,094
Haugh birimi	101,1	101,9	101,2	0,70	0,872	0,960	0,609

L; Linear etki, Q; Kuadratik etki

Tablo 4'te rasyona domates tozu ilavesinin bildirilen yumurtalarının sarı indeks, ak indeks ve Haugh birimi üzerine etkisi verilmiştir. Çalışmada sarı indeksi 56,00-58,60, ak indeksi 3,67-4,27 ve Haugh birimi 101,1-101,9 aralığında tespit edilmiş olup, bu parametreler muamele rasyonlarından istatistiki olarak etkilenmemiştir ($P>0.05$). Akdemir ve ark. (2012), Bala ve ark. (2020), Reda ve ark. (2022) ve Tufarelli ve ark. (2022) tarafından da benzer sonuçlar bildirilmiştir.

Tablo 5. Bildirilen rasyonlarına domates tozu ilavesinin yumurta sarısı renk parametrelerine etkisi

Parametreler	Domates tozu seviyesi, g/kg			Standart hata	P-değeri		
	0	5	10		Anova	L	Q
L*	66,13	64,47	65,13	0,548	0,484	0,470	0,339
a*	-3,55 ^B	-2,57 ^A	-2,43 ^A	0,164	0,003	0,001	0,113
b*	52,96	53,54	53,15	0,525	0,912	0,893	0,690

L: Linear etki, Q: Kuadratik etki. ^{A, B}: Farklı üst simgelere sahip aynı satırdaki ortalamalar arasındaki farklılık istatistiki olarak önemli olmuştur ($P<0.01$).

Yumurta sarısının L* (parlaklık), a* (kırmızılık) ve b* (sarılık) parametrelerine rasyona domates tozu ilavesinin etkisine ait veriler Tablo 5'te gösterilmiştir. Yumurta sarısı L* (64,47-66,13) ve b* (52,96-53,54) değerleri rasyona domates tozu ilavesinden istatistiki olarak etkilenmezken ($P>0.05$), yumurta sarısının a* parametresi rasyona domates tozu ilavesinden önemli derecede etkilenmiştir ($P<0.01$). Yumurta sarısına rengini veren karotenoidler sarıdan kırmızıya kadar değişen bir renk yelpazesine sahiptir (Rao ve Agarwal, 1999). Doğal karotenoid bileşiklerden olan likopende kırmızı renk

dominanttır (An ve ark., 2019). Domates karotenoid bileşiklerden likopen ve beta karoten bakımından zengindir ve domates ilavesi ile yumurta sarısında bu iki bileşik depolanmaktadır (Akdemir ve ark. 2012). Mevcut çalışmada kontrol grubunun yumurta sarısı a* (kırmızılık) değeri (-3,55) ile karşılaştırıldığında rasyonlarına 5 ve 10 g/kg seviyesinde domates tozu ilave edilen grupların yumurta sarısı a değerleri (sırasıyla -2,57 ve -2,43) önemli derecede artmış, domates tozu ilaveli grupların yumurta sarısı a* değerleri ise benzer bulunmuştur. Yumurta sarısı renk parametrelerinden L*, a* ve b* değerlerinin ölçümü Roche skalasına göre pahalı ancak daha güvenilirdir (Narinç ve ark., 2015). Yumurta sarısı Roche skalası skoru arttıkça L* değeri (parlaklık) azalmakta, a* değeri (kırmızılık) artmakta ve b* değeri (sarılık) ise Roche skalasında 9'a kadar artarken daha yüksek Roche skalası skorlarında azalmaktadır (Grashorn, 2016). Narinç ve ark. (2015) Roche skalasının kırmızı rengine dayandığını ve kırmızılığın bir ölçüsü olan a değerine oldukça benzediğini ve Roche skalası yerine analitik bir ölçüm olan a* değerinin kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Literatürde domates ile ilgili çalışmalarda yumurta sarısı a* değerinin değerlendirildiği çalışmaya rastlanılmamış ancak bütün çalışmalarda Roche skorunun domates ürünleri ilavesi ile arttığı bildirilmiştir (Akdemir ve ark., 2012; Avcı ve ark., 2012; Bala ve ark., 2020; Tufarelli ve ark., 2022). Bununla birlikte damızlık bıldırcın rasyonlarında çeşitli karotenoidlerin kullanılmasıyla a* ve b* değerlerinin iyileştiği de bildirilmiştir (Alay ve Karadaş, 2014). Dolayısıyla yukarıdaki bilgiler ışığında domates tozu ilavesi ile yumurta sarısı renginin iyileştiği bildirilen önceki çalışma sonuçları ile uyumlu olup, bu iyileşme kırmızı (a* değeri) renk pigmentlerinin yoğunlaşması şeklindedir.

4. Sonuç

Bu çalışma sonuçlarına göre yumurta sarısı rengini iyileştirmek için yumurtlayan bıldırcınların rasyonlarında üretim performansını ve yumurta kalitesini negatif etkisi olmadan doğal renk verici olarak domates tozu 10 g/kg seviyesine kadar kullanılabilir.

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

- Ağma Okur A., Kayhan EU. Impacts of red pepper supplemented diets and different storage conditions on eggs obtained from free-range laying hens. *South African Journal of Animal Science* 2018; 48(5): 987-996.
- Akdemir F., Orhan C., Şahin N., Şahin K., Hayırlı A. Tomato powder in laying hen diets: effects on concentrations of yolk carotenoids and lipid peroxidation. *British Poultry Science* 2012; 53(5): 675-680.

- Alay T., Karadas F. The effects of carotenoids in quail breeder diets on egg yolk pigmentation and breeder performance. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A-Animal Science* 2016; 66(4): 206-214.
- Amer SA., Kishawy AT., Osman A., Mahrose KM., Hassanine ESI., Rehman ZU. Influence of dietary graded levels of lycopene on the growth performance, muscle cholesterol level and oxidative status of Japanese quail fed high-fat diet. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 2020; 92(2): 1-11.
- An BK., Choo WD., Kang CW., Lee J., Lee KW. Effects of dietary lycopene or tomato paste on laying performance and serum lipids in laying hens and on malondialdehyde content in egg yolk upon storage. *The Journal of Poultry Science* 2019; 56(1): 52-57.
- Avcı M., Kaplan O., Yertürk M. Comparison of sanliurfa pepper and dry tomato paste in enhancing egg yolk color of Japanese quails. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 2012; 11(12): 2159-2162.
- Bala DA., Matur E., Ekiz EE., Akyazi I., Ergen E., Ereğ M., Atmaca G., Eseceli H., Ketten M. Can dried tomato and red pepper powder be used as a dietary supplement to strengthen defence systems and production performance in laying hens?. *European Poultry Science* 2020; 84: 1-15.
- Blount JD., Houston DC., Møller AP. Why egg yolk is yellow?. *Trends in Ecology & Evolution* 2000; 15: 47-49.
- Bourne LC., Rice-Evans C. Bioavailability of ferulic acid. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 1998; 253(2): 222-227.
- Burns J., Fraser PD., Bramley PM. Identification and quantification of carotenoids, tocopherols and chlorophylls in commonly consumed fruits and vegetables. *Phytochemistry* 2003; 62(6): 939-947.
- Filik G., Filik AG., Altop A. The effects of dietary hot pepper *Capsicum annuum* waste powder supplementation on egg production traits of Japanese quail layers. *Ciência Rural* 2020; 50: e20190945.
- Grashorn M. Feed additives for influencing chicken meat and egg yolk color Carle R, Schweigert RM. (Eds.), *Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages: Industrial Applications for Improving Food Color*, Woodhead Publishing Books, Elsevier Ltd., Duxford, UK (2016), pp. 283-302
- Karadaş F., Surai P., Grammenidis E., Sparks NHC., Acamovic T. Supplementation of the maternal diet with tomato powder and marigold extract: Effects on the antioxidant system of the developing quail. *British Poultry Science* 2006; 47(2): 200-208.
- Khachik F., Carvalho L., Bernstein PS., Muir GJ., Zhao DY., Katz NB. Chemistry, distribution, and metabolism of tomato carotenoids and their impact on human health. *Experimental Biology and Medicine* 2002; 227(10): 845-851.

- Nariç D., Aygün A., Küçükönder H., Aksoy T., Gürcan EK. An application of bootstrap technique in animal science: Egg yolk color sample. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2015; 21(5): 631-637.
- Nguyen ML. Lycopene: chemical and biological properties. *Food Technology* 1999; 53: 38-45.
- NRC. *Nutrient Requirements of Poultry*, 9th Rev. Ed. Washington, D.C. 1994.
- Özkan K., Açıkgöz Z. *Kanatlı kümes hayvanlarının beslenmesi*. Baskı, Hasad Yayıncılık, İstanbul. (2007) pp: 92-94.
- Rao AV., Agarwal S. Role of lycopene as antioxidant carotenoid in the prevention of chronic diseases: A review. *Nutrition Research* 1999; 19: 305–323.
- Reda FM., Madkour M., Abd El-Azeem N., Aboelazab O., Ahmed SY., Alagawany M. Tomato pomace as a nontraditional feedstuff: Productive and reproductive performance, digestive enzymes, blood metabolites, and the deposition of carotenoids into egg yolk in quail breeders. *Poultry Science* 2022; 101(4): 101730.
- Sözcü A. Effects of supplementing layer hen diet with red pepper (*Capsicum annuum* L.) powder as natural yolk colourant on laying performance, pigmentation of yolk, egg quality and serum immunoglobulin levels. *Journal of Poultry Research* 2019; 16(2): 80-85.
- Şahin K., Orhan C., Akdemir F., Tuzcu M., Ali S., Şahin N. Tomato powder supplementation activates Nrf-2 via ERK/Akt signaling pathway and attenuates heat stress-related responses in quails. *Animal Feed Science and Technology* 2011; 165(3-4): 230-237.
- Tufarelli V., Baghban-Kanani P., Azimi-Youvalari S., Hosseintabar-Ghasemabad B., Slozhenkina M., Gorlov I., Viktoronova FM., Seidavi A., Laudadio V. Effect of dietary flaxseed meal supplemented with dried tomato and grape pomace on performance traits and antioxidant status of laying hens. *Animal Biotechnology* 2022; 33(7): 1525-1532.

Investigation of Nutrient Element Content, Physicochemical and Biochemical Properties of Evening Primrose (*Oenothera biennis* L.)

Lutfi NOHUTCU^{1*}, Murat TUNCTURK², Ruveyde TUNCTURK³, Ezelhan SELEM⁴

^{1,2,3} Van Yuzuncu Yil University, Faculty of Agriculture, Field Crops Department, Van

⁴ Van Yuzuncu Yil University, Muradiye Vocational School, Department of Landscape and Ornamental Plants, Van

¹<https://orcid.org/0000-0003-2250-2645>

²<https://orcid.org/0000-0002-7995-0599>

³<https://orcid.org/0000-0002-3759-8232>

⁴<https://orcid.org/0000-0003-4227-5013>

*Corresponding author: lutfinohutcu@yyu.edu.tr

Research Article

Article History:

Received: 17.02.2024

Accepted: 07.06.2024

Published online: 10.12.2024

Key words:

Dualex index

Evening primrose

Medicinal plant

Van

ABSTRACT

Oenothera biennis L., also known by names such as "evening primrose, calliopsis and sundrops," is a biennial plant species belonging to the Onagraceae family. The oil present in both its leaves and seeds is utilized in pharmacology and the food industry. *O. biennis* L., an important medicinal plant, the total ash content determined as 21.24%, dry matter content as 91.45%, total antioxidant activity as 200.59 $\mu\text{mol TE/g}$, total phenolic matter as 204.22 mg GAE/g and flavonoid content as 14.86 mg QE/100 g. Additionally, the amounts of a macro and micronutrient elements (Mg, K, Ca, Fe, Mn, Zn, Cu Ni), as well as heavy metals (As, Cd, Co, Cr, Pb), have been determined. Based on the obtained results, it can be concluded that the species is rich in nutrient elements and biochemical content. By introducing this species into cultivation, it can be classified as a vegetable and provide a source of raw material for the pharmaceutical industry. Considering the examined parameters, it is believed that the cultivation and commercial production of this species are feasible.

Erzan Çiçeğinin (*Oenothera biennis* L.) Besin Elementi İçeriği, Fizikokimyasal ve Biyokimyasal Özelliklerinin Araştırılması

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 17.02.2024

Kabul tarihi: 07.06.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Keywords:

Akşam sefası

Dualex değeri

Tıbbi bitki

Van

ÖZ

"Erzan çiçeği, çuha çiçeği ve akşam sefası" gibi isimlerle de bilinen *Oenothera biennis* L., Onagraceae familyasına ait iki yıllık bir bitki türüdür. Hem yapraklarında hem de tohumlarında bulunan yağ, farmakolojide ve gıda endüstrisinde kullanılmaktadır. Önemli bir tıbbi bitki olan *O. biennis* L.'nin toplam kül içeriği %21.24, kuru madde içeriği %91.45, toplam antioksidan aktivite 200.59 $\mu\text{mol TE/g}$, toplam fenolik madde 204.22 mg GAE/g ve flavonoid içeriği 14.86 mg QE/100 g olarak belirlenmiştir. Ayrıca, makro ve mikro besin elementlerinin (Mg, K, Ca, Fe, Mn, Zn, Cu Ni) yanı sıra ağır metallerin (As, Cd, Co, Cr, Pb) miktarları da belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara dayanarak, türün besin elementleri ve biyokimyasal içerik açısından zengin olduğu sonucuna varılabilir. Bu türün kültüre alınmasıyla, sebze olarak sınıflandırılabilir ve ilaç endüstrisi için bir hammadde kaynağı sağlayabilir. İncelenen parametreler göz önünde bulundurulduğunda, bu türün yetiştirilmesinin ve ticari üretiminin mümkün olduğu düşünülmektedir.

To Cite: Nohutcu L., Tuncturk M., Tuncturk R., Selem E. Investigation of Nutrient Element Content, Physicochemical and Biochemical Properties of Evening Primrose (*Oenothera biennis* L.). Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(5): 2181-2189.

1. Introduction

Evening Primrose (*Oenothera biennis* L.) is a tall and abundantly leafy plant from the Onagraceae family. The length of its leaves varies between 5 to 20 cm, with a width of 1 to 2.5 cm. It is a biennial herbaceous plant, and its flowering period lasts until late autumn. *O. biennis* L. has long been cultivated as an ornamental plant and has become naturalized in temperate regions of both hemispheres (Palmer, 1985). It is primarily found as a wild plant in North America. The mature seeds of Evening Primrose contain around 7-10% gamma-linolenic acid (GLA) in the fixed oil extracted from them. *O. biennis* L. is an edible plant; its young leaves can be consumed raw in salads, and its taproots can be cooked and eaten (Peterson, 1977; Szczawinski and Turner, 1978). The seed oil is widely used for reducing pain associated with premenstrual syndrome (PMS) in women and for promoting skin health (Ghasemnezhad and Honermeier, 2008; Sekeroglu, 2010; Mokhtari, 2016). Plants belonging to this genus are considered a valuable source of medicine for treating neurodegenerative disorders, diarrhea, immune disorders, and kidney problems. Additionally, their crude extracts have shown a wide range of pharmacological effects, including antimicrobial, antioxidant and anti-inflammatory properties, among others, in various in vivo and in vitro studies (Timoszuk et al., 2018).

Plants are rich sources of bioactive compounds. Due to the presence of these compounds in many plant structures, they are used in the production of medicines. Additionally, the plants themselves or their pure herbal components with medicinal properties are used for therapeutic or protective purposes. Substances such as terpenes, alkaloids, phenylpropanoids and flavonoids found in plants are referred to as secondary metabolites, and many of them are utilized as drugs (Hendrawati, 2011).

Plant nutrients are elements that are essential for the growth and normal development of plants and, cannot be replaced by any other chemical element in terms of their functions (Gezgin and Hamurcu, 2006). Many factors, including the plant's genetic profile, growing environment, soil composition, availability of water and growing season, affect a plant's nutrient content. Therefore, it has been emphasized that there are significant variations in the mineral compositions and different parts of plants (Yıldırım et al., 2001; Tunçtürk et al., 2019). Medicinal and aromatic plants may not always be reliable, due to the presence of toxic elements, they contain (Teschke et al., 2013). Some metals, such as zinc, iron, copper, chromium and cobalt become toxic at high concentrations for essential nutrients. On the other hand, metals like lead and cadmium have no beneficial properties and are solely toxic. The medicinal, nutritional and toxic properties of plants are related to their chemical compositions containing metal ions.

In this study, the biochemical content, nutritional values, macro and micronutrients and heavy metal contents of *O. biennis* L. which is a member of the Onagraceae family were investigated.

2. Material and Methods

2.1. Plant material

The study material consists of *O. biennis* L. grown in the Medicinal and Aromatic Plants Garden of Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops. This garden is located in 1680m altitude (38°33'46.21" N, 43°17'51.29" E). The soil properties of the area where the plant was cultivated were texture sandy-loamy, pH 7.65, total salt 8.8 µS/cm, organic matter 0.94. Samples were taken in the first week of August in the second year after planting. The samples of the plant materials were shade dried. The dried samples were then cut into smaller pieces and grounded into moderately coarse powder.

2.2. Determination of ash, dry matter, heavy metal and nutrient contents

The total ash, dry matter and minerals (including macro elements: K, Ca and Mg; micro elements: Fe, Zn, Cu and Mn) and some heavy metals (As, Cd, Co, Ni, Cr and Pb) were determined. Dry matter was determined by-drying of the samples at 105 °C for 24 hours in oven. For the total ash (inorganic matter) determination, an Electrical Muffle furnace set at 550 °C was used. The mineral constituents of the plant samples were investigated as follows: Dried samples were ashed in a furnace with hydrochloric acid and nitric acid (AR) (AOAC 2000). Then, distilled water (50 ml) were added to samples in a volumetric flask. All assays were performed triplicate and the standard materials were being utilized for chemical analyses. Atomic Absorption Spectrometry (AAS) was used to estimate the K, Ca, Mg, Fe. ICP-OES (Inductively coupled plasma-Optical emission spectrometer) was used to determinate for other micro element and heavy metals constituents (Mn, Zn, Cu, Ni, As, Cd, Co, Cr and Pb). The results and standard deviations (Sd) of chemical analyses have been shown in Table 2.

2.3. Total antioxidant, total phenolic and total flavonoids content.

Total phenolic compounds content was measured according to Obanda, Owuor (1997) method. The antioxidant activity was also performed based on the Antioxidant Power (Iron (III) antioxidant power reduction, FRAP) method (Benzie, Strain 1996) followed by readings the absorbance at 593 nm, and antioxidant activity values were recorded as Trolox equivalent (TE)/mg. The total flavonoids content was determined with some modifications according to the method developed by Quettier-Deleu et al. (2000). The total amount of flavonoid was measured at 415 nm and calculated in mg quercetin equivalent (QE) 100 g-1 DM.

2.4. Determination of Nitrogen balance index, chlorophyll, flavonol and anthocyanin

The Nitrogen balance index (NBI), chlorophyll, flavonol and anthocyanin content were measured on the leaf non-destructively using and in real time the Dualex scientific+ (FORCE-A, France) device before harvesting.

3. Results and Discussion

The study investigated some nutritional values, mineral and heavy metal contents, as well as biochemical and physiological contents of *O. biennis* L. the analysis results are presented in Table 1 and Table 2. The total ash content and dry matter ratio of *O. biennis* L. were found to be 21.24% and 91.45%, respectively, as shown in Table 1. The ash content of *Oenothera paradoxa* reported as 16.8% (Peiretti et al. 2004), which was lower than our findings. The ash content was higher than that reported by Tunçtürk et al. (2018) for *Cichorium intybus* L. (6.21%), and Bukhsh et al. (2007) for *Plantago ovata* species (8.6%). Additionally, it was higher than the values reported by Demir (2006) for measles (9.48%), fodder (11.79%), and wild leek (3.44%).

In the study, the dualeks values were determined as follows: NBI 12.86 dx, chlorophyll 25.20 dx, flavonol 1.97 dx, and anthocyanin 0.03 dx for *O. biennis* L. (Table 1.). On the other hand, Uçar et al. (2022) conducted a study on *Salvia officinalis* L., where different bacterial applications resulted in varying values for NBI, chlorophyll, flavonol and anthocyanin, ranging from 26.32 to 45.98 dx, 21.32 to 25.44 dx, 0.54 to 0.71 dx, and 0.050 to 0.074, respectively. In comparison, the study found that, except for the NBI value, the other parameters were similar or higher in the *O. biennis* L. compared to *Salvia officinalis* L.

In the biochemical content analysis, the total antioxidant activity was found to be 200.59 $\mu\text{mol TE/g}$, the total phenolic content was 204.22 mg GAE/g, and the total flavonoid content was 14.86 mg QE/100 g. In a previous study, while hydroalcoholic extract of *O. biennis* antioxidant activity and total phenolic content reported as 7258.67 $\mu\text{mol TE/g}$ and 631.49 $\mu\text{g GAE/mL}$ (Fecker et al., 2020), total phenolic and flavonoid content of *Oenothera rosea* reported 135.29 GAE/g and 22.03 QE/g, respectively (Márquez-Flores et al., 2018). As can be seen from these results obtained from *Oenothera*, the phenolic profile may vary with genetics, environment and extraction method. Murathan (2018) reported that the total phenolic content in *Allcemilla sericata* was 80.7 mg/100g and in *Rumex crispus* was 427.2 mg/100g in their study on plant extracts. Demir et al. (2014) determined the total phenolic content in *Primula veris* ethanol extracts to be 122.8 $\mu\text{g/g}$. Rudhani et al. (2017) reported that different *Primula veris* extracts had total phenolic content ranging from 5.10 to 17.30 mg/g and total flavonoid content ranging from 12.15 to 31.43 mg/g. In another literature, Olaruve et al. (2016) found the total phenolic content and total flavonoid content in dried *Anthriscus sylvestris* leaves ethanol extracts to be 41.63 mg/g and 25.76 mg/g, respectively. Regarding the total antioxidant values, Murathan (2018) obtained the lowest value from *Rumex crispus* (178.4 $\mu\text{mol Fe (II)/g}$) and the highest value of 770.8 $\mu\text{mol Fe (II)/g}$ from *Allcemilla sericata*. The findings from the study were consistent with the relevant literature.

Table 1. Biochemical and physicochemical content of *O. biennis* L.

	Mean	S.D.
Total Ash (%)	21.24 ±	0.47
Dry matter(%)	91.45 ±	0.58
Total Flavonoid Content (mg QE/100 g)	14.86 ±	7.28
Total Antioksidant Activity (µmol TE/g)	200.59 ±	10.96
Total Phenolik Content (mg GAE/g)	204.22 ±	4.53
Nitrogen Balance Index (NBI)	12.86 ±	2.43
Cholorophyll	25.20 ±	3.29
Flavonol	1.97 ±	0.20
Anthocyanin	0.09 ±	0.03

(\bar{X} mean ± SD), N = 3

The macro and micro-nutrient elements, as well as heavy metal contents in the plant samples, are given in Table 2. According to the obtained results, the concentrations of these elements are as follows: Magnesium (Mg) 4.25 g/kg, Potassium (K) 19.70 g/kg, Calcium (Ca) 26.53 g/kg, Manganese (Mn) 71.03 mg/kg, Iron (Fe) 808.16 mg/kg, Copper (Cu) 6.22 mg/kg, Nickel (Ni) 4.93 mg/kg, Zinc (Zn) 20.29 mg/kg, Arsenic (As) 3.68 mg/kg, Chromium (Cr) 3.86 mg/kg, Cadmium (Cd) 0.04 mg/kg, Cobalt (Co) 0.39 mg/kg and Lead (Pb) 0.88 mg/kg.

The concentration values of the nutrient elements in some medicinal plants have been reported to range from 1.17 to 86.43 g/kg for Mg (Akgünlü, 2012). Wild edible plants consumed as vegetables have been found to vary in K content from 4.34 to 557.91 g/kg (Akgünlü, 2012; Tunçtürk et al., 2017; Tunçtürk et al., 2017a; Tunçtürk et al., 2017b; Tunçtürk et al., 2017c). Ca concentrations have been shown to vary widely in the range of 0.03 to 777.52 g/kg (Koca et al., 2009; Kayalar et al., 2014; Tunçtürk et al., 2017). Our findings are consistent with the research on macro element concentrations in some medicinal and wild edible plants.

Low concentrations of micronutrients have been found to be essential for the health of humans and animals, and their deficiency can lead to abnormalities causing infections (Maiti et al., 2016). According to Maiti et al. (2016), the analysis of micronutrient content in 44 traditionally used medicinal plant species revealed concentrations of Fe, Cu and Zn ranging from 98.28 to 3973.55 mg/kg, 4.17 to 33.88 mg/kg and 9.49 to 216.31 mg/kg, respectively. The study concluded that the data obtained align with relevant literature and indicate the species' suitability in terms of micronutrient content.

When toxic heavy metal consumption exceeds tolerance limits in ecosystems, it leads to adverse effects in humans, plants and animals. Metal ion accumulation in plants from the soil disrupts the food chain (Yaashikaa et al., 2022). In the conducted study, concentrations of certain harmful heavy metals with detrimental effects on living organisms, such as Cr, Cd, Co and Pb, were determined. The concentrations of these heavy metals in various medicinal plants were reported as follows: Cr ranging

from 0.65 to 19.10 mg/kg, Cd from 0.012 to 0.440 mg/kg, Co from 0.047 to 1.69 mg/kg and Pb from 0.04 to 1.40 mg/kg (Başgel and Erdemoğlu, 2006; Koca et al., 2008; Koca et al., 2009; Akgünlü, 2012; Şekeroğlu et al., 2012; Tunçtürk et al., 2015). It was found that, our results are consistent with previous studies of heavy metal concentrations in certain wild and medicinal plants.

Table 2. Macro-micro nutrients element and heavy metal content of *O. biennis* L.

	Mean	S.D.
Mg(g/kg)	4.25	± 0.50
K(g/kg)	19.70	± 4.00
Ca(g/kg)	26.53	± 4.98
Fe (mg/kg)	808.16	± 37.72
Mn (mg/kg)	71.03	± 10.87
Zn (mg/kg)	26.69	± 4.09
Cu (mg/kg)	6.22	± 1.11
Ni (mg/kg)	4.93	± 1.09
As (mg/kg)	3.68	± 2.37
Cd (mg/kg)	0.04	± 0.01
Co (mg/kg)	0.39	± 0.0004
Cr (mg/kg)	3.86	± 0.71
Pb (mg/kg)	0.88	± 0.06

($X_{\text{mean}} \pm \text{SD}$), N = 3

4. Conclusion

As a result, the conducted study revealed that *O. biennis* L. species is rich in macro and micronutrients while having low levels of heavy metal content. The biochemical and physicochemical analysis results indicated that the examined parameters are at ideal levels.

Due to limited awareness of *O. biennis* L. as an edible plant, this characteristic remains overlooked. The research findings suggest that the high nutritional and biochemical content of this species could be a driving factor for its cultivation. Conducting further studies to extensively investigate the nutritional content, and pharmacological use of *O. biennis* L. is essential for its widespread adoption.

Statement of Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest between them.

Author's Contributions

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

5. References

Akgünlü SB. Mineral content and microbiological analysis of some wild edible vegetables consumed in Kilis And Gaziantep provinces. Master's thesis, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Kilis 7 Aralık University/Turkey, 2012.

- Başgel S., Erdemoğlu SB. Determination of mineral and trace elements in some medicinal herbs and their infusions consumed in Turkey. *Science of the Total Environment* 2006; 359: 82-89.
- Bukhsh E., Malik SA., Ahmad SS. Estimation of nutritional value and trace elements content of *Carthamus oxyacantha*, *Eruca sativa* and *Plantago ovata*. *Pakistan Journal of Botany* 2007; 39(4): 1181.
- Demir N., Alaylı Güngör A., Güngör Nadaroglu H., Demir Y. The antioxidant and radical scavenging activities of Primrose (*Primula vulgaris*). *European Journal of Experimental Biology* 2014; 4(2): 395-401.
- Demir H. Some chemical composition of madımak, manger and barberry plants grown in Erzurum. *Bahce* 2006; 35(1): 55-63.
- Fecker R., Buda V., Alexa E., Avram S., Pavel IZ., Muntean D., Danciu C. Phytochemical and biological screening of *Oenothera biennis* L. hydroalcoholic extract. *Biomolecules* 2020; 10(6): 818.
- Gezgin S., Hamurcu M. The importance of the nutrient elements interaction and the interactions between boron with the other nutrient elements in plant nutrition. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences* 2006; 20(39): 24-31.
- Ghasemnezhad A., Honermeier B. Yield, oil constituents, and protein content of evening primrose (*Oenothera biennis* L.) seeds depending on harvest time, harvest method and nitrogen application. *Ind. Crops Products* 2008; 28(1): 17-23.
- Hendrawati O. Studies on *Anthriscus sylvestris* L. (Hoffm.) Metabolic engineering of combinatorial biosynthesis of podophyllotoxin, Phd Thesis-Groningen University, Holland, 2011.
- Kayalar H., Durmuskahya C., Hortoğlu ZS. Mineral compositions of some selected centaurea species from Turkey. *Asian Journal of Chemistry* 2014; 26: 5317-5318.
- Koca U., Ozkutlu F., Sekeroglu N. Mineral composition of *Arnebia densiflora* (Nordm.) Ledeb. An Endemic Medicinal Plant from Turkey. *Biomed* 2009; 4(1): 51-56.
- Koca U., Sekeroglu N., Özkutlu F. Mineral composition of *gentiana olivieri* griseb. (Gentianaceae): a traditional remedy for diabetes in Turkey. In: *Proceedings of Fifth Conference on Medicinal and Aromatic Plants of Southeast European Countries (5th CMAPSEEC)*: Mendel University of Agriculture and Forestry, Brno, 2008.
- Maiti R., Rodriguez HG., Degu HD., Kumari CA., Sarkar N. Macro Micro nutrients of 44 medicinal plant species used traditionally in nuevo leon, Mexico. *International Journal of Bio- Resource & Stress Management* 2016; 7(5):1054-1062.
- Márquez-Flores YK., Meléndez-Camargo ME., García-Mateos NJ., Huerta-Anaya MC., Pablo-Pérez SS., Silva-Torres R. Phytochemical composition and pharmacological evaluation of different extracts of *Oenothera rosea* L' Hér. ex Ait (Onagraceae) aerial part. *South African Journal of Botany* 2018; 116: 245-250.

- Mokhtari NEP. Determination of gibberellin acid application on the aged evening primrose (*Oenothera biennis* L.) seed germination. Research Journal of Agricultural Sciences 2016; 9(2): 23-25.
- Murathan ZT. Determination of the biochemical content and antioxidant properties of some medical plants grown in the North East Anatolia Region ecological conditions. Journal of Balikesir University Institute of Science and Technology 2018; 20(2): 51-60.
- Olaru OT., Nitulescu GM., Ortan A., Babeanu N., Popa O., Ionescu D., Dinu-Pirvu CE. Polyphenolic content and toxicity assessment of *Anthriscus sylvestris* Hoffm. Romanian Biotechnological Letters 2016; 22(6): 12054.
- Palmer J. The evening primrose-A source of essential fatty acids. New Zealand agricultural science 1985; 19: 119-212.
- Peiretti PG., Palmegiano GB., Masoero G. Chemical composition, organic matter digestibility and fatty acid content of evening primrose (*Oenothera paradoxa*) during its growth cycle. Animal Feed Science and Technology 2004; 116(3-4): 293-299.
- Peterson L. A field guide to edible wild plants of Eastern and Central North America. Houghton Mifflin Co., Boston, Mass. 330 pp, 1977.
- Rudhani I., Raci F., Ibrahim H., Mehmeti A., Kameri A., Faiku F., Majlinda M., Govori S., Haziri A. Phytochemical and in vitro antioxidant studies of *Primula veris* L. growing wild in Kosovo. Khimiya 2017; 26(5): 773-785.
- Sekeroglu N., Meraler SA., Ozkutlu F., Kulak M. Variation of mineral composition in different parts of mahaleb. Asian Journal of Chemistry 2012; 24: 5824-5828.
- Sekeroglu N. Evening Primrose: *Oenothera biennis* L., Recent progress in medicinal plants 2010; Volume 28: Drug Plants II. Edited By: Amani S. Awaad, V. K. Singh, and J. N. Govil. pp. 650.
- Szczawinski AF., Turner NH. Edible garden weeds of Canada. National Museum of Natural Sciences, Ottawa, Ont. 1978; 184.
- Teschke R., Frenzel C., Glass X., Schulze J., Eickhoff A. Herbal hepatotoxicity: a critical review. British Journal of Clinical Pharmacology 2013; 75(3): 630-636.
- Timoszuk M., Bielawska K., Skrzydlewska E. Evening primrose (*Oenothera biennis*) biological activity dependent on chemical composition. Antioxidants 2018; 7(8): 108.
- Tunçtürk R., Tunçtürk M., Nohutcu L. Study on chemical composition of *Centaurea kurdunorum* Boiss. species from endemic plants of Eastern Anatolia/Turkey. Current Perspectives on Medicinal and Aromatic Plants (CUPMAP) 2019; 2(1): 47-52.
- Tunçtürk M., Tunçtürk R., Eryigit T., Nohutcu L. Some chemical compounds of *Cichorium intybus* L. species distributed in Van Region. Journal of Pharmaceutical Research 2018; 17(2): 83-87.
- Tunçtürk R., Tunçtürk M., Eryigit T. Study on chemical composition of Teucrium species in Van Region. International Ecology and Environmental Congress. 12-15 September 2017, Oral presentation, p:41.

- Tuncturk M., Celen E., Tuncturk R. Nutrient content of three edible wild plants. From Polygonaceae Family. Oxidation Communications 2017a; 40(No 1-II) : 327-334.
- Tuncturk R., Tuncturk M., Sekeroglu N., Eryigit T., Ozigokce F. Investigation of some chemical characteristics of wild edible *Cephalaria Schrader* Ex Roemer & Schultes G.C. Setosa Boiss & Hohen Grooving in East Anatolia. Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research, 2017b; 51: 333-337.
- Tuncturk R., Tuncturk M., Eryigit T., Karik U. Study on chemical compositions of achillea species in East Anatolia. Jatuspab-2 (The Second Japan-Turkey International Symposium on Pharmaceutical and Biomedical Sciences). Oral presentation, 2017c; 11-12 September, Trabzon-Turkey. p: 98.
- Tuncturk M., Eryigit T., Sekeroglu N., Ozigokce F. Chemical composition of some edible wild plants grown in Eastern Anatolia. American Journal of Essential Oils and Natural Products 2015; 2: 31-34.
- Uçar CP., Selem E., Tunçtürk R., Tunçtürk M., Akköprü A. The effect of some endophytic bacteria on seedling growth and physiological properties of *Salvia officinalis* L. Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences 2023; 33(1): 130-139.
- Yaashikaa PR., Kumar PS., Jeevanantham S., Saravanan R. A review on bioremediation approach for heavy metal detoxification and accumulation in plants. Environmental Pollution 2022; 301: 119035.
- Yıldırım E., Dursun A., Turan M. Determination of the nutrition contents of the wild plants used as vegetables in upper Çoruh Valley. Turkish Journal of Botany 2001; 25: 367-371.

Analytical Hierarchy Process (AHP) ile Sulama Sistemi Seçimi: Niğde İli Örneği

Ali Kaan YETİK^{1*}, Zeynep ÜNAL²

¹Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 51120, Niğde

²Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 51120, Niğde

¹<https://orcid.org/0000-0003-1372-8407>

²<https://orcid.org/0000-0002-9954-1151>

*Sorumlu yazar: alikaanyetik@ohu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 20.02.2024

Kabul tarihi: 07.06.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Sulama yöntemleri

Analitik hiyerarşi süreci (AHP)

Karar verme

Damla sulama

ÖZ

Arazi koşulları düşünüldüğünde, en uygun sulama yöntemini seçmek farklı değişkenleri barındıran karmaşık bir karar verme sürecini gerektirir. Bu çalışma, Niğde ili için sulama yöntemi seçimi sorununa çok kriterli karar verme yöntemleriyle yaklaşmayı amaçlamaktadır. Yöntem seçimi için öne çıkan kriterlerin önem dereceleri Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi aracılığıyla uzman görüşleri alınarak belirlenmiştir. Tava sulama, karık sulama, damla sulama ve yağmurlama sulama yöntemlerinin değerlendirilmesi için; su kullanım etkinliği, sistem maliyeti, bitki tipi, sulama yapacak kişinin teknik bilgisi, su mevcudiyeti, iklim, toprak tipi, geleneksel alışkanlıklar, eğitim ve su kalitesi kriterlerinin ağırlıkları belirlenmiştir. Sonuçlar, su mevcudiyeti kriterinin %23,7'lik bir ağırlıkla en önemli kriter olduğunu göstermektedir. En az önemli kriter ise geleneksel alışkanlıklar olarak belirlenmiştir (%2,9). Tüm kriterlerin birlikte değerlendirildiği durumda, damla sulama yöntemi en avantajlı seçim olarak belirlenirken, sırasıyla yağmurlama sulama yöntemi ikinci, karık sulama üçüncü ve tava sulama ise dördüncü sırada yer almıştır. Damla sulama yönteminin diğer yöntemlere göre en üstün olduğu kriterler su kullanım etkinliği ve su mevcudiyeti olmuş, sistem maliyeti ve teknik bilgi açısından ise yüzey sulama ve karık sulama öne çıkmıştır. Su kaynaklarının korunması ve tarımsal sürdürülebilirlik açısından, suyun etkin kullanımının en yüksek olduğu damla sulama yöntemini en uygun sulama yöntemi olarak önerilmiştir. Türkiye'nin iklim koşullarındaki potansiyel değişimleri göz önünde bulundurarak, özellikle suyun sınırlı olduğu ve yer altı sularının kullanıldığı Niğde Bölgesi için damla sulama yönteminin benimsenmesi büyük önem taşımaktadır.

Irrigation System Selection Using Analytical Hierarchy Process (AHP): The Case Study of Niğde

Research Article

Article History:

Received: 20.02.2024

Accepted: 07.06.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

Irrigation methods

Analytical hierarchy process (AHP)

Decision making

Drip irrigation

ABSTRACT

Considering the land conditions, choosing the optimal irrigation method involves a complex decision-making process involving various variables. This study aims to address the issue of irrigation method selection for the Niğde Province of Turkey using multi-criteria decision-making methods. The importance levels of the prominent criteria for method selection were determined by obtaining expert opinions through the Analytical Hierarchy Process (AHP) method. Weights for the criteria, including water use efficiency, system cost, crop type, technical knowledge, water availability, climate, soil type, traditional practices, slope, and water quality, were identified. The results indicate that water availability is the most critical criterion with a weight of 23,7%. The least important criterion is traditional practices with a weight of 2,9%. When all criteria are evaluated together, drip

irrigation is identified as the most advantageous choice, followed by sprinkler irrigation in the second place, furrow irrigation in the third, and flood irrigation in the fourth. Drip irrigation excels in water use efficiency and water availability, while surface irrigation and furrow irrigation stand out in terms of system cost and technical knowledge. Considering the potential changes in climate conditions of Turkey, especially in regions like Niğde where water resources are limited and groundwater is utilized, the adoption of drip irrigation method holds significant importance.

To Cite: Yetik AK., Ünal Z. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ile Sulama Sistemi Seçimi: Niğde İli Örneği. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(5): 2190-2204.

1. Giriş

Dünyadaki tatlı su kullanım oranının %70'ine sahip tarımsal sulama uygulamalarında, uygun ve etkili sulama yöntemi seçiminin önemi oldukça fazladır. Özellikle Türkiye gibi farklı iklim karakteristiklerine sahip bölgeleri aynı anda barındıran ve iklim değişikliğinin olası etkilerini yoğun olarak hissedecek ülkelerde (Turan, 2018), suyun tarım sektöründe etkin kullanımı daha da önemli hale gelmektedir. Bu bağlamda; suyun etkili kullanımına yönelik geliştirilebilecek stratejilerden biri olan uygun sulama yönteminin seçimi, önce bölgesel ardından ulusal etkilere sahip olacaktır. Sulama yönteminin uygunluğu su kullanım etkinliğinin artırılmasının yanı sıra daha yüksek verim ve kalite değerlerine sahip üretimi de mümkün kılmaktadır (Dengiz, 2006). Dünyada ve Türkiye'de gerçekleştirilen önceki çalışmalarda da bahsedilen duruma paralel sonuçlar elde edilmiştir (Borsato ve ark., 2019; Ye ve ark., 2019; Umi ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2021; Öztürk, 2022). Ancak, sulama teknolojilerindeki artan karmaşıklık ve çeşitlilik nedeniyle, özellikle çiftçiler tarafından yeni sulama yöntemlerinin benimsenmesi zorlaşmaktadır. Geleneksel alışkanlıkların dışına çıkan teknolojilerin benimsenmesini etkileyen; sosyal, ekonomik ve doğal faktörlerin çeşitliliği nedeniyle karar verme süreci basit bir süreç olmaktan çıkmaktadır. Özel sektörün müdahalesi (tedarikçilerin sulama ekipmanı satma isteği ve çiftçiler için uygunluktan bağımsız olarak kârlarını maksimize etme) ve devlet politikaları (desteklenen fiyatlar, düşük faizli krediler ve uzatma kampanyaları) karar verme sürecini yıllardan bu yana daha da karmaşık hale getirmiştir.

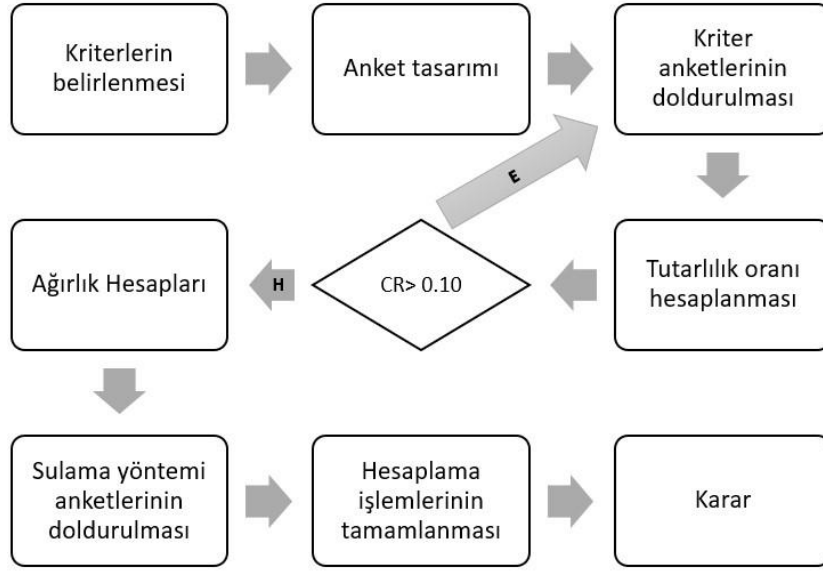
Sulama yöntemlerinin çeşitliliği, tarım alanında su kullanımını optimize etmeye yönelik farklı seçenekler sunmaktadır. Çalışmada kullanılacak olan; tava sulama, yağmurlama sulama, karık sulama ve damla sulama yöntemleri kendine özgü avantajları ve dezavantajları ile öne çıkan yöntemlerdir. Birden fazla kriter barındıran seçimlerde, bu kriterlerin nihai seçim üzerine etkisini (ağırlığını) belirlemek kapsamlı bir değerlendirmenin ön koşuludur. Çok kriterli karar verme modeli (ÇKKV), çeşitli değişkenleri dikkate alarak en iyi seçeneği belirleme konusunda bir dizi yöntemi içerir. Bu yöntemlerden biri Saaty (1977)'nin Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemidir. AHP yönteminin tarım sektöründe kullanımına dair literatürde oldukça farklı örnekler bulunmaktadır. Ünal ve Çetin (2019) Antalya'da faaliyet gösteren bir gübre üreticisi işletmesinin hedef pazar seçiminde AHP yöntemi kullanılarak kriterlerin ağırlıklarını hesaplamışlar ve önem derecelerini belirlenmişlerdir. Sulama yöntemlerinin değerlendirildiği çalışmalarda ise; Karami (2006), bireysel veya homojen çiftçi grupları için bir dizi alternatif arasından en uygun sulama yöntemini seçmek için AHP yöntemini kullanmıştır.

Montazar ve Behbahani (2007), yürüttükleri çalışmada fiziksel, sosyo-ekonomik ve çevresel faktörleri içeren farklı kriterler ve parametreler temelinde optimize edilmiş sulama yöntemi seçmeyi ve kapsamlı bir model geliştirmeyi hedeflemişlerdir. Bu hedef doğrultusunda, sulama yöntemi seçiminde karar verme aracı olarak AHP yöntemi kullanılmıştır. Srdjevic ve Jandric (2007), çalışmalarında belirledikleri 7 farklı kriter doğrultusunda; yağmurlama, karık, damla ve tava sulama gibi sulama yöntemlerini AHP yöntemi kullanılarak değerlendirmiş ve en etkili sulama yöntemine karar vermişlerdir. Burak ve ark. (2022), Söke Ovası'nda gerçekleştirdikleri çalışmada gelişmiş bir AHP yöntemi kullanarak pamuk yetiştiriciliği için en uygun sulama yöntemlerini değerlendirmişlerdir. Veisi ve ark. (2022), farklı sulama sistemlerinin sürdürülebilirlik etkilerini değerlendirmek amacıyla AHP yöntemini kullanmışlar ve Yamchi havzasındaki (İran) en uygun sulama yöntemini seçmeye odaklanmışlardır. Sulama yönteminin belirlenen kriterlere göre seçilmesi, tarım alanlarında sürdürülebilir sulama uygulamalarının geliştirilmesinde kaçınılmaz bir stratejik gerekliliği yansıtmaktadır.

Bu çalışmada sulama yöntemi seçimi problemine çok kriterli karar verme yöntemleri ile çözüm aranması amaçlanmaktadır. Literatürden yararlanılarak oluşturulan kriterler, uzman görüşlerine sunulmuş AHP yöntemiyle önem dereceleri belirlenmiştir. 4 farklı sulama yöntemi içeren AHP değerlendirme formları tekrardan uzmanların görüşlerine sunulmuş ve elde edilen kriter ağırlıklar dikkate alınarak sonuçlar hesaplanmıştır. Böylece en uygun sulama yöntemi seçimi yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada uygulanan adımlar Şekil 1'de akış diyagramı olarak verilmiştir. Çalışmada önce literatürden faydalanarak sulama yöntemi seçimi aşamasında etkili olan kriterler belirlenmiştir. Elde edilen kriterler kullanılarak değerlendirme formlarına ait tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme formları araştırma katılımcılarına doldurtulduktan sonra her form için tutarlılık analizi yapılmıştır. Eğer tutarlılık oranı 0,10 (%10) değerinden büyükse katılımcıdan yanıtları tekrar gözden geçirip düzeltmelerin yapılması istenmiştir. Değerlendirme formlarından elde edilen tutarlı sonuçlar doğrultusunda kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Ardından, her kriter için ayrı ayrı sulama yönteminin değerlendirmesi amacıyla katılımcılara sulama yöntemi formları doldurtulmuştur. Elde edilen ağırlıkların hesaplamalara dahil edilmesiyle sulama yöntemi seçimi AHP tekniği kullanılarak çözümlenmiştir.



Şekil 1. Çalışmanın akış diyagramı

2.1 Çalışma Alanı

Çalışma alanı olan Niğde ili, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesinde 34,67° doğu meridyeni ve 37,97° kuzey enlemi üzerinde bulunmaktadır. İl Aydeniz iklim sınıflandırmasına göre 1,45'lik kuraklık katsayısı değeriyle kurak iklim kuşağında bulunmaktadır (Aydeniz, 1988). Uzun yıllar iklim verilerine göre (1935-2023) bölgeye düşen yıllık yağış miktarı 343 mm olarak ölçülmüştür. Bu yağışın sadece 40,6 mm'lik kısmı yaz aylarında (Haziran-Ağustos) gerçekleşmektedir (MGM, 2024). 2023 yılı Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre ilde üretim gerçekleştirilen toplam tarım arazisinin (170 108 ha) %36,53'ünde buğday, %14,29'unda arpa yetiştirilmektedir. Buğday ve arpayı %11,45'lik oranıyla sulu tarıma ihtiyaç duyan patates yetiştiriciliği takip etmektedir. Niğde 2023 yılında Türkiye genelinde en geniş alana (19 480 ha) patates ekimi gerçekleştiren il olarak öne çıkmaktadır (TÜİK, 2024).

2.2. Kriterlerin Belirlenmesi

Çalışmada ilk olarak en etkin sulama yöntemi seçerken hangi standartların uygulanması gerektiği ve karar sürecinde en etkili kriterlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda literatürdeki önceki çalışmalar incelenmiş ve kritik öneme sahip oldukları belirtilen unsurlar analiz edilmiştir. Finkel ve Nir (1983)'e göre araziye uygun sulama yönteminin belirlenmesinde vurgulanan faktörler arasında; iklim gibi çevresel faktörlerin yanı sıra, arazinin durumunu değerlendiren toprak tipi, eğim ve bitki deseni yer almıştır. Araştırmacılara göre, iklim koşulları ve arazi durumu sadece su tüketimini değil aynı zamanda bitki büyüme süreçlerini de etkileyerek sulama stratejilerinin başarılı bir şekilde uygulanmasında büyük rol oynamaktadır. Buna ek olarak, arazinin eğimi gibi topografik faktörler, suyun yönetimi ve dağılımında belirleyici bir etkiye sahiptir; bu da sulama sistemlerinin optimize edilmesinde önemli bir rehberlik sunmaktadır. Burt ve ark. (1999) tarafından yürütülen çalışmada sulama sistemlerinin kurulumundan kaynaklanan maliyetlerin uzun vadeli sürdürülebilirlik ve verimlilik açısından dikkate alınması gerektiği vurgulanmaktadır. Ayrıca araştırmacılar yöntem seçiminde suyun varlığının (su

mevcudiyeti) değerlendirilmesinin, su kaynaklarına olan bağımlılığın -suyun yeterli basınçta iletilebilmesi- ve bu kaynağa göre planlanan dağıtımda kullanılan altyapının anlaşılması için etkin bir yol olduğunu bildirmişlerdir. Aksit ve Akçay (1997) ülkemizde yürüttükleri saha çalışmalarının raporlarına göre sulama yönteminin seçiminde geleneksel alışkanlıklarının etkisinin büyük olduğunu ortaya koymuşlardır. Geleneksel tarım uygulamalarının, özellikle yerel çiftçi toplulukları arasında nesiller boyunca geçen deneyim ve kültürel alışkanlıkların bir yansıması olduğu düşünülmektedir. Araştırma, bu alışkanlıkların sadece su kaynaklarına olan erişim ve kullanımını değil, aynı zamanda çiftçilerin sulama yöntemlerine olan güven ve alışkanlıklarını da etkilediğini vurgulamaktadır. Türkiye'deki küçük ölçekli çiftçilerin sayısı azımsanamayacak kadar çok olduğundan; sulama stratejilerinin belirlenmesinde, bahsedilen alışkanlıkların etkili bir faktör olarak gözetilmesi, sürdürülebilir sulama uygulamalarının geliştirilmesi ve yerel çiftçi topluluklarının bu sürece daha fazla dahil edilmesi açısından önemli bir perspektif sunmaktadır. Holzapfel ve ark. (1985) su kalitesinin, bitki büyümesi ve toprak kalitesi üzerinde doğrudan etkisi olduğunu vurgulayarak, sulama suyunun içeriğindeki tuzluluk, mineraller ve diğer kirleticilerin göz önünde bulundurulması gerektiğini belirtmektedir. Su kalitesinin değerlendirilmesi hem sulama verimliliğini artırmak hem de çevresel sürdürülebilirliği sağlamak adına kritik bir adım olarak değerlendirilmiştir. Montazar ve Behbahani (2007) çalışmalarında sulama yapacak kişinin teknik bilgisinin yöntem seçiminde etkili bir faktör olduğunu bildirmişlerdir. Burak ve ark. (2022) tarafından yürütülen çalışmada Söke Ovası için uygun sulama yöntemleri araştırılmış ve belirlenen kriterler arasında su kullanım etkinliği de yer almıştır. Çalışmada su kullanım etkinliğinin, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için hayati bir öneme sahip olduğu vurgulanmış ve sulama işlemlerini gerçekleştirecek kişinin sahip olduğu teknik bilgi donanımının, sulama sisteminin etkin bir şekilde kullanılmasında önemli bir rol oynadığını belirtilmektedir. Bahsedilen çalışmalardan yararlanılarak en etkili sulama yönteminin seçimi için belirlenen kriterler; su kullanım etkinliği, sistemin maliyeti, bitki tipi, sulama yapacak kişinin teknik bilgisi, su mevcudiyeti, iklim, toprak tipi, geleneksel alışkanlıklar, eğitim ve su kalitesi olarak özetlenebilir.

2.3. Sulama Yöntemleri

Çalışmada karşılaştırılan sulama yöntemleri tava sulama, karık sulama, yağmurlama sulama ve damla sulama olarak belirlenmiştir. Toprak setlerle çevrelenen arazinin düzleştirilmesi ve bu setler arasına su uygulanması şeklinde tanımlanabilecek tava sulama; geniş alanlarda suyun eşit şekilde dağıtılması amacıyla kullanılan bir yöntemdir (Temizel, 2012). Karık sulama yöntemi; çoğunlukla pamuk, mısır ve şeker kamışı gibi sıra bitkileri için kullanılan bir sulama yöntemidir (Brouwer ve ark., 1988). Su, genellikle 0,1–0,3 m genişliğinde ve 0,75–2 m aralıklı olarak düzenlenmiş olan karıklar veya oluklar boyunca akar. Karık uzunlukları, toprak tipine, eğime ve ürün türüne bağlı olarak değişebilir. Sistemde yerçekimi büyük rol oynamakta ve uygun bitkilerin büyümesi için yeterli su sağlama rolünü üstlenmektedir (Clemmens ve Dedrick, 1994). Yağmurlama sulama, sulama suyunu doğal yağmura

benzer bir şekilde uygulama yöntemidir. Su genellikle bir pompa aracılığıyla boru sistemleriyle dağıtıldıktan sonra, yağmurlama başlıkları aracılığıyla havaya püskürtülerek küçük su damlacıklarına ayrılır ve ıslatma çapı içinde kalan toprak üzerine düşer (Brouwer ve ark., 1988; Evans ve ark., 2013). Damla sulama sistemi ile su; basınç altında bir boru sistemi aracılığıyla tarlaya iletilir ve burada bitkilere yakın konumlandırılmış damlatıcılar aracılığıyla bitkilerin kök bölgesine yavaşça damlar (Mmolawa ve Or, 2000). Yöntem sulama sistemleri arasında su kullanım etkinliği değerlerini en yukarı taşıyan seçenek olarak değerlendirilmekte ve su krizlerine karşı önerilen çözümlerde önemli bir rol oynamaktadır (Van der Kooij ve ark., 2013). Her bir sistem, farklı iklim koşullarına, toprak tiplerine ve bitki türlerine uygun avantajlar ve dezavantajlar sunmaktadır. Bu nedenle, doğru sulama yönteminin seçilmesi, su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde yönetilmesi ve tarımın verimliliğinin artırılması için hayati bir adım olarak değerlendirilmektedir.

2.4. Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP)

ÇKKV yöntemlerden biri olan Saaty (1977)'nin Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi; uzman değerlendirmelerin ağırlıklarını dağıtarak noktasal verilerin aşırı baskın etkilerinin olması riskini azaltan dahili bir tutarlılık kontrolü olmasıyla öne çıkmaktadır. Ayrıca, ölçüm skalalarının doğru bir şekilde kullanılmasıyla karar verme sürecindeki belirsizlikleri azaltır. Bu sayede, çeşitli faktörleri dikkate alarak elde edilen sonuçlar daha güvenilir ve tutarlı hale gelmektedir (Wind ve Saaty, 1980; Chen ve Huang, 2004). AHP analizi, belirlenen tüm kriterleri ikili karşılaştırma matrisinde değerlendirip, bu karşılaştırmalar sonucunda hangi kriterin daha fazla önem taşıdığına karar vermektedir (Lupia, 2012). AHP, özünde karmaşıklığa metodik bir yaklaşım benimserken aynı zamanda karar vericilerin görüş ve beklentileriyle dikkate almakta ve tutarlı sonuçlar üretmektedir. Yöntem karar matrisi oluşturma, karar matrisinin normalizasyonu, normalize edilen matristeki satır ortalamalar kullanılarak ağırlıkların hesaplanması ve elde edilen sonuçların tutarlılık analizinin yapılması gibi adımlardan oluşmaktadır. Kriterlerin belirlenmesi için kullanılacak kriterler matrisi kriterlerin sayısı dikkate alınarak oluşturulmuştur. Bu çalışmada 10 adet kriter kullanıldığından 10x10 boyutlu kare matris oluşturulmuştur. Sulama yönteminin seçimi için kullanılacak karar matrisi ise karar sürecine dahil olacak sulama yönteminin çeşitleri dikkate alınarak oluşturulmuştur. Bu çalışmada 4 adet kriter kullanıldığından aşağıda gösterilen 4x4 boyutlu kare matris oluşturulmuştur (Denklem 1).

$$\text{Karar Matrisi} = \begin{bmatrix} a_{i,j} & \cdots & a_{i,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n,j} & \cdots & a_{n,n} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Karar matrisinde i ve j değerleri her kritere ayrı ayrı ulaşılmasını sağlayan indis değerlerini, a_{ij} : “i” kriterinin, “j” kritere göre daha önemli/önemsiz olduğunu, n: toplam kriter sayısını göstermektedir. Kriterler matrisinde “n” 10 olarak, sulama yöntemi matrisinde ise 4 olarak belirlenmiştir.

Gösterilen karar matrisinin uzmanlar tarafından anlaşılması zor olduğundan karar verme sürecinde Şekil 2’de verilen değerlendirme formları, ortaya çıkan değerlendirme değerleri için ise Tablo 1’de verilen ve Saaty (1977) tarafından oluşturulmuş 1-9 ölçeği kullanılmıştır.

Kriterler	Kesin	Çok Fazla	Çok Daha	Daha	Eşit	Daha	Çok Daha	Çok Fazla	Kesin	Kriterler
	Önemli	Önemli	Önemli	Önemli	Önemli	Önemli	Önemli	Önemli	Önemli	
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Su kullanım etkinliği										Sistemin maliyeti
Su kullanım etkinliği										Bitki Tipi
Su kullanım etkinliği										Teknik bilgi
Su kullanım etkinliği										Su mevcudiyeti
Su kullanım etkinliği										İklim
Su kullanım etkinliği										Toprak tipi
Su kullanım etkinliği										Geleneksel alışkanlıklar
Su kullanım etkinliği										Eğim
Su kullanım etkinliği										Su kalitesi
Sistemin maliyeti										Bitki Tipi
Sistemin maliyeti										Teknik bilgi
Sistemin maliyeti										Su mevcudiyeti
Sistemin maliyeti										İklim
Sistemin maliyeti										Toprak tipi
Sistemin maliyeti										Geleneksel alışkanlıklar
Sistemin maliyeti										Eğim
Sistemin maliyeti										Su kalitesi
Bitki Tipi										Teknik bilgi
Bitki Tipi										Su mevcudiyeti
Bitki Tipi										İklim
Bitki Tipi										Toprak tipi
Bitki Tipi										Geleneksel alışkanlıklar
Bitki Tipi										Eğim
Bitki Tipi										Su kalitesi
Teknik bilgi										Su mevcudiyeti
Teknik bilgi										İklim
Teknik bilgi										Toprak tipi
Teknik bilgi										Geleneksel alışkanlıklar
Teknik bilgi										Eğim
Teknik bilgi										Su kalitesi
Su mevcudiyeti										İklim
Su mevcudiyeti										Toprak tipi
Su mevcudiyeti										Geleneksel alışkanlıklar
Su mevcudiyeti										Eğim
Su mevcudiyeti										Su kalitesi
İklim										Toprak tipi
İklim										Geleneksel alışkanlıklar
İklim										Eğim
İklim										Su kalitesi
Toprak tipi										Geleneksel alışkanlıklar
Toprak tipi										Eğim
Toprak tipi										Su kalitesi
Geleneksel alışkanlıklar										Eğim
Geleneksel alışkanlıklar										Su kalitesi
Eğim										Su kalitesi

Şekil 2. Kriterlere ait değerlendirme formları

Tablo 1. AHP yönteminde kullanılan değerlendirme formlarına ait önem derecesi çizelgesi

Önem Derecesi	Tanım
1	Eşit Önemli
3	Daha Önemli
5	Çok Daha Önemli
7	Çok Fazla Önemli
9	Kesin Önemli
2, 4, 6, 8	

AHP tekniğinin normalizasyon işlemleri için Denklem 2, normalize edilen matrislerdeki satır ortalamaları kullanılarak ağırlıkların hesabı için ise Denklem 3 kullanılmıştır.

$$b_{i,j} = \frac{a_{i,j}}{\sum_{i=1}^n a_{i,j}} \quad (2)$$

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{i,j}}{n} \quad (3)$$

Elde edilen sonuçların tutarlılık analizi için gereken tutarlılık oranı hesaplamasında ilk olarak Denklem 4 ile tutarlılık indeksi hesaplanmış, ardından Denklem 5 yardımıyla tutarlılık oranı belirlenmiştir.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{(n - 1)} \quad (4)$$

$$Tutarlılık Oranı (CR) = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

Denklem 4'te λ_{max} : ikili karşılaştırma matrisinin temel özdeğerini, n: matris boyutunu göstermektedir. Denklem 5'teki "RI" değeri Ortalama Rassal endeksi Saaty (1977) tarafından Tablo 2'de verildiği gibi kullanılması önerilmiştir.

Tablo 2. Ortalama Rassal endeksi

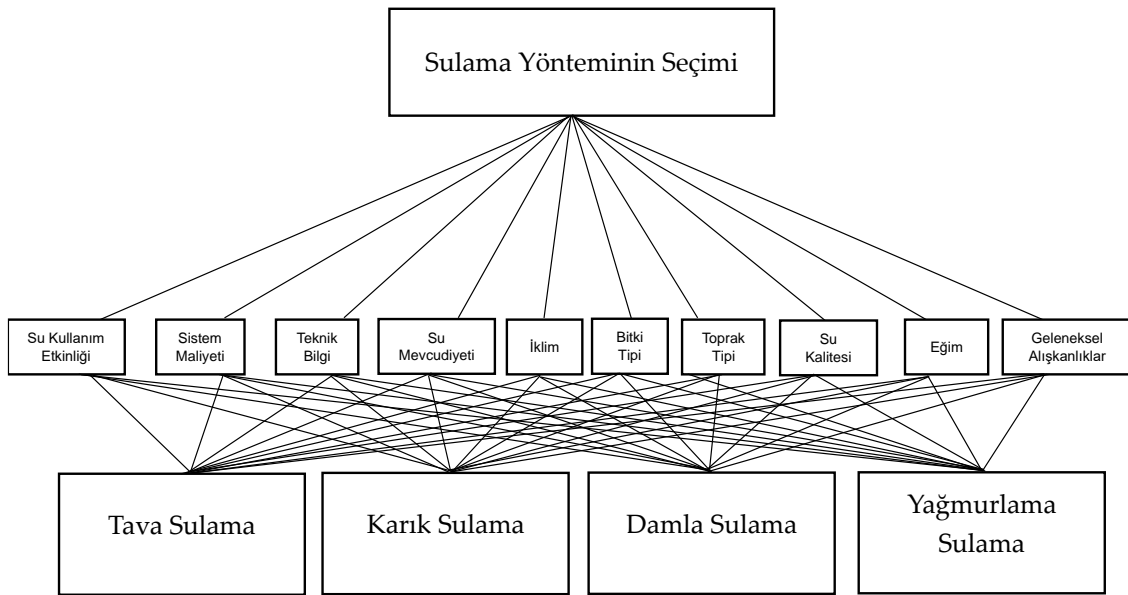
N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Araştırmada, her bir karar verici grubundan eşit sayıda (9), toplamda ise 36 değerlendirme formu toplanmıştır. Her değerlendiricinin doldurduğu form için tutarlılık oranı hesaplanmış ve eğer bu değer 0,10 üzerinde ise karar vericiden değerlendirmelerini tekrar gözden geçirmesi istenmiştir. Bu işlem tutarlı değerlendirme elde edene kadar tekrarlanmıştır. Tüm değerlendirmeler tamamlandıktan sonra elde edilen formların yanıtların geometrik ortalamaları alınarak nihai ağırlıklar hesaplanmıştır. Geometrik ortalamaları içeren karar matrisin de ayrıca tutarlılık oranı hesaplanarak tutarlı olduğu teyit edilmiştir. Son olarak ise karar vericilerden Şekil 3'te verilen formda her bir kriter için değerlendirme yaparak ayrı ayrı doldurulması istenmiştir.

Sulama yöntemleri	Kesin	Çok Fazla	Çok Daha	Daha	Eşit	Daha	Çok Daha	Çok Fazla	Kesin	Sulama yöntemleri
	Önemli	Önemli	Önemli	Önemli	Önemli	Önemli	Önemli	Önemli	Önemli	
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
Tava Sulama										Karık Sulama
Tava Sulama										Damla Sulama
Tava Sulama										Yağmurlama Sulama
Karık Sulama										Damla Sulama
Karık Sulama										Yağmurlama Sulama
Damla Sulama										Yağmurlama Sulama

Şekil 3. Sulama yöntemi değerlendirme formu taslağı

AHP tekniği adımlarını takip ederek sulama yöntem tiplerinin önemi hesaplanmış, elde edilen ağırlıklarla çarpıldıktan sonra nihai sıralama elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan kriterler ve sulama yöntemlerini içeren AHP hiyerarşisi Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. Sulama yönteminin seçilmesi hiyerarşisi

3. Bulgular ve Tartışma

Literatürdeki çalışmalardan yararlanılarak en etkili sulama yönteminin seçimi için su kullanım etkinliği (K1), sistemin maliyeti (K2), bitki tipi (K3), sulama yapacak kişinin teknik bilgisi (K4), su mevcudiyeti (K5), iklim (K6), toprak tipi (K7), geleneksel alışkanlıklar (K8), eğitim (K9) ve su kalitesi (K10) gibi 10 farklı kriter belirlenmiştir. Kriterlerin önem derecelerini belirlemede AHP yöntemi kullanılmış olup Şekil 2’de verilen form araştırma grubuna dahil olan karar vericiler tarafından doldurulması sağlanmıştır. Araştırmanın çalışma grubunu Türkiye genelinde Ziraat Fakülteleri bünyelerindeki Biyosistem Mühendisliği bölümünde öğrenim gören lisansüstü öğrenciler, aynı bölümlerde görev yapan ve Niğde ili için daha önce çalışmalar gerçekleştirmiş akademik personeller, T.C. Tarım ve Orman

Bakanlığı bünyesinde Niğde’de çalışan Ziraat Mühendisleri ve Niğde sınırları içinde zirai faaliyetler yürüten çiftçiler oluşturmaktadır. Çalışmada her karar verici grubundan eşit olacak şekilde toplam 36 adet değerlendirme formu toplanmıştır. Formlarda yer alan her soruya katılımcılardan ayrı ayrı cevap alınmış ve her katılımcı için ayrı AHP matrisi oluşturulmuştur. Bu tabloda verilen değerler normalleştirilmiş ve satır ortalamaları alınarak ağırlıklar Denklem 2 ve 3 kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların tutarlılık analizi için önce Denklem 4 kullanılarak her bir form için ayrı ayrı tutarlılık indeksi hesaplanmış, daha sonra Denklem 5 yardımıyla tutarlılık oranı hesaplanmıştır. Elde edilen tutarlılık oranı 0,10 değerinden yüksek ise katılımcılardan formda verdikleri cevapları gözden geçirmesi ve düzeltmeleri yapılması istenmiştir. Her katılımcı için tutarlı sonuçlar elde edildikten sonra tüm matrislerin geometrik ortalamasını elde edilerek grup kararı matrisi oluşturulmuştur. Elde edilen matris Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Geometrik ortalama alınarak elde edilen karar matrisi

Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
K1	1,00	0,50	1,00	1,71	0,39	0,89	1,48	3,56	0,50	1,20
K2	2,01	1,00	1,48	2,98	0,46	1,13	2,29	4,02	0,70	1,44
K3	1,00	0,67	1,00	1,62	0,36	1,11	1,40	3,15	0,45	1,48
K4	0,58	0,34	0,62	1,00	0,23	0,50	0,58	1,62	0,34	0,62
K5	2,56	2,18	2,81	4,37	1,00	2,40	3,56	6,07	2,66	2,98
K6	1,13	0,89	0,90	2,01	0,42	1,00	2,20	4,02	0,57	0,97
K7	0,67	0,44	0,71	1,72	0,28	0,45	1,00	2,14	0,36	1,00
K8	0,28	0,25	0,32	0,62	0,16	0,25	0,47	1,00	0,20	0,36
K9	1,99	1,43	2,20	2,92	0,38	1,74	2,81	5,04	1,00	4,18
K10	0,84	0,69	0,67	1,60	0,34	1,03	1,00	2,79	0,24	1,00

Geometrik ortalamaların yer aldığı karar matrisinin tutarlılık oranı 0,022 olarak hesaplanmıştır. Bu adım sonunda AHP tekniği ile elde edilen kriter ağırlıkları Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Kriter ağırlıkları

Kriterler	Ağırlıklar (%)
Su kullanım etkinliği	8,38
Sistemin maliyeti	12,30
Bitki tipi	8,61
Sulama yapacak kişinin teknik bilgisi	4,67
Su mevcudiyeti	23,71
İklim	9,70
Toprak tipi	6,06
Geleneksel alışkanlıklar	2,85
Eğim	16,60
Su kalitesi	7,12
Toplam	100

Tablo 4 dikkate alınarak önem dereceleri değerlendirildiğinde en yüksek ağırlığa sahip olduğu için en önemli kriterin “Su mevcudiyeti” olduğu görülmüştür. Sulama yöntemi seçiminde Su mevcudiyeti %24, Eğim %17, Sistemin maliyeti %12, İklim %10, Bitki tipi %9, Su kullanım etkinliği %8, Su kalitesi %7, Toprak tipi %6, Sulama yapacak kişinin teknik bilgisi %5, Geleneksel alışkanlıklar %3 öneme sahiptir.

Kriter ağırlıkları elde edildikten sonra her kriter açısından sulama yönteminin değerlendirmesi yapmak üzere katılımcılar sulama yöntemi formu doldurmuştur. Su kullanım etkinliği açısından değerlendirmesinde bir katılımcının verdiği yanıtlar örnek olarak Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Su kullanım etkinliği açısından sulama yönteminin seçimi

	Tava sulama	Damla sulama	Karık sulama	Yağmurlama sulama
Tava sulama	1	1/7	1/3	1/5
Damla sulama	7	1	5	3
Karık sulama	3	1/5	1	1/5
Yağmurlama	5	1/3	5	1

Tablo 5’teki örnek katılımcı değerlendirmesi, su kullanım etkinliği açısından sulama yöntemlerinin birbirlerine karşı üstünlüklerini göstermektedir. Bu örnek katılımcı değerlendirilmesinde, su kullanım etkinliği açısından damla sulama yönteminin tava sulama yöntemine göre “Çok fazla avantajlı” (7), karık sulamanın damla sulama yöntemine göre “Çok daha dezavantajlı” (1/5) olduğu bildirilmiştir.

AHP tekniğinin normalizasyon işlemleri yapılmış ve normalize edilen matrislerdeki satır ortalamaları kullanılarak ağırlıklar hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların tutarlılık analizi yapılmış ve tutarlılık oranı 0,10 değerinden yüksek olan formların katılımcılar tarafından gözden geçirilmesi sağlanmıştır. Her katılımcı için tutarlı sonuçlar elde edildikten sonra tüm matrislerin geometrik ortalamasını elde edilerek grup kararı matrisi oluşturulmuştur. AHP tekniğinde yer alan bu adımlar sonucunda elde edilen değerler Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. AHP ile elde edilen sulama yönteminin kriterlere göre dağılımı

Kriterler	Tava sulama	Damla sulama	Karık sulama	Yağmurlama sulama
Su kullanım etkinliği	0,052	0,558	0,107	0,283
Sistemin maliyeti	0,407	0,051	0,445	0,097
Bitki tipi	0,052	0,572	0,106	0,270
Teknik bilgisi	0,425	0,068	0,353	0,153
Su mevcudiyeti	0,078	0,570	0,078	0,275
İklim	0,155	0,528	0,155	0,162
Toprak tipi	0,096	0,404	0,096	0,404
Geleneksel alışkanlıklar	0,386	0,066	0,386	0,161
Eğitim	0,052	0,564	0,110	0,273
Su kalitesi	0,206	0,272	0,226	0,296

Tablo 6’da görüldüğü gibi her kriter için sulama yöntemi ayrı ayrı değerlendirildiğinde bazı sulama yöntemleri diğerlerine göre ayrı ayrı öne çıkmaktadır. Örneğin su kullanım etkinliği ve su mevcudiyeti kriterleri ele alarak sulama yöntemine karar verildiğinde damla sulama diğer yöntemlere göre daha avantajlı olduğu görülmektedir. Bunun yanında aynı karar problemi sistemin maliyeti ve teknik bilgi açısından değerlendirildiğinde tava sulama ve karık sulama ön plana çıkmaktadır. Karar vericilerin görüşlerine göre su kalitesi kriterleri göz önünde bulundurulduğunda sulama yöntemleri arasındaki

önem dereceleri arasında büyük fark olmayıp, yağmurlama yönteminin değerlerine göre daha avantajlı olduğu görülmüştür.

Sulama yöntemini seçimi problemi için nihai ağırlıkları elde etmek için Tablo 6’da verilen değerler Tablo 4’te verilen kriterlerin ağırlıkları ile çarpılmıştır. Elde edilen değerler her sütün için ayrı toplanıp önem dereceleri Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. AHP ile elde edilen sulama yöntemi seçimi sonuçları

Kriterler	Sulama yöntemi				Toplam
	Tava sulama	Damla sulama	Karık sulama	Yağmurlama sulama	
Su kullanım etkinliği	0,004	0,047	0,009	0,024	0,084
Sistemin maliyeti	0,050	0,006	0,055	0,012	0,123
Bitki tipi	0,004	0,049	0,009	0,023	0,086
Teknik bilgi	0,020	0,003	0,017	0,007	0,047
Su mevcudiyeti	0,018	0,135	0,018	0,065	0,237
İklim	0,015	0,051	0,015	0,016	0,097
Toprak tipi	0,006	0,024	0,006	0,024	0,061
Geleneksel alışkanlıklar	0,011	0,002	0,011	0,005	0,028
Eğim	0,009	0,094	0,018	0,045	0,166
Su kalitesi	0,015	0,019	0,016	0,021	0,071
Toplam	0,152	0,431	0,174	0,243	1,000

Tablo 7’de verilen sonuçlara göre örnek alınan arazi için hangi sulama yönteminin tercih edilmesi gerektiği sorusuna toplam satırdan yararlanacak cevap vermemiz mümkün olmaktadır. AHP tekniği kullanarak elde edilen değerlere göre öncelikle damla sulamanın daha sonra ile yağmurlama sulamanın tercih edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Montazar ve Behbehani (2007) AHP yöntemi kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada çeşitli kriterleri değerlendirmiş ve damla sulamanın; buğday, şeker pancarı ve üzüm yetiştirilen üç farklı bölgede mikro, tava ve karık sulama yöntemleriyle birlikte en uygun seçim olduğunu belirlemişlerdir. Srdjevic ve Jandric’in (2007) çalışmalarında, tarla koşulları için en iyi sulama yönteminin seçimini etkileyen karmaşık bir karar verme probleminde odaklanmışlar ve AHP yöntemi kullanarak dört farklı sulama yöntemi (tava, karık, yağmurlama ve damla) arasında seçim destek sistemi oluşturmuşlardır. Araştırmacılar damla sulamanın yönteminin belirlenen yedi kriter (bitki yoğunluğu, hastalıklara duyarlılık, yetiştirme koşulları, eğim, sızma hızı, su kalitesi ve işgücü yeterliliği) açısından en iyi seçenek olduğunu göstermektedir. Burak ve ark. (2022) Söke Ovası’nda, su verimliliğini artırmak amacıyla damla sulama yönteminin etkinliğini farklı karar verme yöntemleriyle değerlendirmişlerdir. Araştırma bulgularına göre HF-AHP-PROMETHEE II ve HF-AHP-TOPSIS isimli yöntemlerle yapılan analizlerde damla sulama en etkin yöntem olarak öne çıkmıştır. Su verimliliğini artırmak adına yapılan bu değerlendirmeler, damla sulamanın fiziksel, çevresel ve ekonomik kriterler açısından avantajlı olduğunu vurgulamaktadır. Bu yöntem, tava ve karık gibi geleneksel sulama yöntemlerine göre daha yüksek bir verimlilik sağlayarak, özellikle su kıtlığı ve iklim değişiklikleri tehdidi altındaki bölgelerde tercih edilebilir bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. Tarımsal üretimde etkili aktörlerin tercihleri basınçlı sulama sistemlerinin tarımsal sürdürülebilirlik açısından öncelikli olduğunu göstermektedir (Veisi ve ark., 2022)

4. Sonuçlar

Bu çalışma, Niğde ili için sulama yöntemi seçimi probleminde çok kriterli karar verme yöntemleriyle yaklaşarak, uzman görüşleri ve literatürden elde edilen kriterler üzerinden AHP yöntemi kullanarak en uygun sulama yönteminin belirlenmesi amacını taşımaktadır. Çalışmada değerlendirme formları için hesaplanan tutarlılık oranları değerleri, katılımcı görüşlerinin sağlam bir temele oturduğunu göstermekle beraber elde edilen bulguların güvenilirliğini de ortaya koymuştur. Genel bulgular incelendiğinde; su mevcudiyeti %24'lük ağırlığıyla en kritik faktör olarak belirlenirken, diğer önemli kriterler sırasıyla eğim, sistem maliyeti, iklim, bitki tipi, su kullanım etkinliği, su kalitesi, toprak tipi, sulama yapacak kişinin teknik bilgisi ve geleneksel alışkanlıklar olarak sıralanmıştır. Belirlenen kriterlerin sulama yöntemlerine göre dağılımı sonuçlarında; su tasarrufu odaklı tercihlerin damla ve yağmurlama sulama yöntemlerine, ekonomik faktörlerin ise tava ve karık sulama yöntemlerine yöneldiği görülmektedir. Su kullanım etkinliği kriterinde damla sulama en yüksek ağırlığa sahipken, sistemin maliyeti kriterinde tava sulama belirleyici bir ağırlığa sahiptir. Bu durum, damla sulama yönteminin su tasarrufu sağlamada etkili olduğunu, ancak maliyet açısından tava sulamanın daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak damla sulama yöntemi, su kaynaklarının kullanımı açısından öne çıktığı yüksek ağırlıklarla beraber en uygun sulama yöntemi olarak önerilmiştir. Bu öneri, iklim değişikliğinin ülkemiz üzerinde göstereceği olumsuz etkileri en aza indirmek, maliyetleri optimize etmek ve çiftçilere yönlendirici bir rehber sunmak açısından önemlidir. Tarımsal üretim için yeterli miktarda yağış alamayan ve su kaynaklarının sınırlı olmasından dolayı tarımsal sulamanın yeraltı suları kullanılarak gerçekleştirildiği Niğde Bölgesinde, su kullanım etkinliğinin yüksek olduğu sulama yöntemlerinin teşvik edilmesi son derece önemlidir. Bu çerçevede, damla sulama yönteminin tercih edilmesi, tarımsal sulama pratiğinde daha etkili ve sürdürülebilir bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır.

Etik Kurul İzni

Bu çalışma için etik kurul izni Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Etik Kurulunun 31/01/2024 tarihli ve 2024/01-48 numaralı kararı ile alınmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışmada belirtilecek çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağladıklarını beyan eder.

Kaynakça

Aksit B., Akçay AA. Sociocultural aspects of irrigation practices in South-Eastern Turkey. International Journal of Water Resources Development 1997; 13(4): 523-540.

- Aydeniz A. Aydeniz metodu ile Türkiye'nin kuraklık değerlendirilmesi. DMİ Zirai Meteoroloji ve İklim Rasatları Dairesi Başkanlığı; 1988.
- Borsato E., Martello M., Marinello F., Bortolini L. Environmental and economic sustainability assessment for two different sprinkler and a drip irrigation systems: A case study on maize cropping. *Agriculture* 2019; 9(9): 187.
- Brouwer C., Prins K., Kay M., Heibloem M. Irrigation water management: irrigation methods. Training Manual 1988; 9(5): 5-7.
- Burak S., Samanlıoğlu F., Ülker D. Evaluation of irrigation methods in Söke Plain with HF-AHP-PROMETHEE II hybrid MCDM method. *Agricultural Water Management* 2022; 271: 107810.
- Burt CM., Clemmens AJ., Bliesner R., Merriam JL., Hardy L. Selection of irrigation methods for agriculture. PA: American Society of Civil Engineers; 1999.
- Chen CJ., Huang CC. A multiple criteria evaluation of high-tech industries for the science-based industrial park in Taiwan. *Information Management* 2004; 41(7): 839-851.
- Clemmens AJ., Dedrick AR. Irrigation techniques and evaluations. In: K.K Tanji, K. Yaron. (ed.) *Management of Water Use in Agriculture: Advanced Series in Agricultural Sciences*, Berlin: Springer 1994; 64-103.
- Dengiz O. Comparison of different irrigation methods based on the parametric evaluation approach. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 2006; 30(1): 21-29.
- Evans RG., LaRue J., Stone KC., King BA. Adoption of site-specific variable rate sprinkler irrigation systems. *Irrigation Science* 2013; 31: 871-887.
- Finkel HJ., Nir D. Criteria for the choice of irrigation method. Haifa: CRC Press; 1983.
- Holzapfel EA., Marino MA., Chavez-Morales J. Performance irrigation parameters and their relationship to surface-irrigation design variables and yield. *Agricultural Water Management* 1985; 10(2): 159-174.
- Karami E. Appropriateness of farmers' adoption of irrigation methods: The application of the AHP model. *Agricultural Systems* 2006; 87(1): 101-119.
- Lupia DF. Crop/land suitability analysis by ArcGIS tool. Rome: Technical Report; 2014.
- MGM. Turkish State Meteorological Service, climate data of long term period; 2024.
- Mmolawa K., Or D. Root zone solute dynamics under drip irrigation: A review. *Plant and Soil* 2000; 222(1-2): 163-190.
- Montazar A., Behbahani SM. Development of an optimised irrigation system selection model using analytical hierarchy process. *Biosystems Engineering* 2007; 98(2): 155-165.
- Öztürk O. Farklı sulama yöntemlerinin İtalyan çiminin (*Lolium multiflorum*) verim, bitki su tüketimi ve bazı yem kalitesi değerlerine etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2022; 59(2): 313-322.
- Saaty TL. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology* 1977; 15(3): 234-281.

- Srdjevic B., Jandric Z. Analytic hierarchy process in selecting the best irrigation method. *Journal on Agricultural Systems* 2007; 7(1): 117-124.
- Temizel KE. Tava sulama yönteminin planlanması ve çiftçiye adaptasyonu sağlayabilecek grafiksel bir yaklaşım. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi* 2012; 9(1): 26-32.
- Turan ES. Türkiye'nin iklim değişikliğine bağlı kuraklık durumu. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi* 2018; 4(1): 63-69.
- TÜİK. Türkiye İstatistik Kurumu. Bitkisel Üretim İstatistikleri.
<https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> (Erişim Tarihi: 14.04.2024).
- Umi HN., Tricahya RA., Farid AM. Performance analysis of drip and sprinkler irrigation on pineapple cultivation. *The 3rd Environmental Resources Management in Global Region*, (pp. 450-459): 14-17 November 2019, Indonesia. 2020
- Ünal Z., Çetin Eİ. Gübre üreticisinin hedef pazar seçiminde bütünlük AHP-TOPSIS yöntemi. *Mediterranean Agricultural Sciences* 2019; 32(3): 357-364.
- Van der Kooij S., Zwarteveen M., Boesveld H., Kuper M. The efficiency of drip irrigation unpacked. *Agricultural Water Management* 2013; 123, 103-110.
- Veisi H., Deihimfard R., Shahmohammadi A., Hydarzadeh Y. Application of the analytic hierarchy process (AHP) in a multi-criteria selection of agricultural irrigation systems. *Agricultural Water Management* 2022; 267: 107619.
- Wind Y., Saaty TL. Marketing applications of the analytic hierarchy process. *Management Science* 1980; 26(7): 641-658.
- Ye S., Han J., Liu T. Determination of optimum irrigation strategies and effect of drip irrigation system on growth and water use efficiency of pear jujube in Loess Hilly region of northern Shaanxi. *PLoS One* 2019; 14(8): e0221925.
- Zhang T., Zou Y., Kisekka I., Biswas A., Cai, H. Comparison of different irrigation methods to synergistically improve maize's yield, water productivity and economic benefits in an arid irrigation area. *Agricultural Water Management* 2021; 243: 106497.

FCC- μp 'da Foton-Foton Etkileşmesi ile Anormal Çeşni Değiştiren Nötr Akımların $tq\gamma$ Geçişleri Üzerine Bir Çalışma

Eda ALICI^{1*}

¹Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü,67100, Zonguldak

¹<https://orcid.org/0000-0001-5300-8303>

*Sorumlu yazar: edaalici@beun.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 15.03.2024

Kabul tarihi:07.06.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

FCNC

Üst kuark

Foton-foton etkileşmesi

Gelecek dairesel çarpıştırıcı

Müon proton çarpıştırıcısı

ÖZ

Üst kuark elektrozayıf etkileşim ölçeğinde büyük kütle ve kısa ömre sahiptir, bu nedenle onun bozunma kanalları üzerine yapılan çalışmalar büyük ilgi çekmektedir. Parçacık fiziğinin temel teorisi olan Standart modelde nadir görülen ve neredeyse tamamen bastırılmış bozunma kanallarından birisi de üst kuarkın çeşni değiştiren nötr akım geçişleridir. Ancak, bu geçişlerin incelenmesi standart model ötesi bir teori olan etkin alan teorisini ele alınarak mümkün olabilmektedir. Sunulan bu çalışmada, üst kuarkın çeşni değiştiren nötr akım geçişlerinden, foton aracılığı ile bir yukarı kuark ya da cazibeli kuarka dönüştüğü süreçleri, etkin alan teorisi ile incelemeye odaklanılmaktadır. Bu kapsamda $\mu p \rightarrow \mu\gamma\gamma p \rightarrow \mu W b \bar{q} p \rightarrow \mu l \nu_l b \bar{q} p (l = e, \mu \text{ ve } \nu_l = \nu_e, \nu_\mu)$ ve $\mu w b \bar{q} p \rightarrow \mu j \bar{j} b \bar{q} p (j = u d c s, \bar{j} = \bar{u} \bar{d} \bar{c} \bar{s})$ süreçleri ele alınarak gelecekte inşa edilmesi planlan müon proton çarpıştırıcısı FCC- μp 'nin iki farklı kütle merkezi enerji değerleri için tesir kesiti hesaplamaları yapılmıştır. Daha sonra elde edilen verilere ki-kare istatistik testi uygulanarak %95 güvenilirlik düzeyinde üst kuarkın bir foton ve yukarı kuark ya da cazibeli kuarka dallanma oranı $BR(t \rightarrow q\gamma)$ üzerine limit değerleri elde edilmiştir. Bulunan limit değerlerinin güncel deneysel sonuçlara kıyasla yaklaşık dört kat daha küçük olduğu görülmekte olup, bu sonuçlar gelecekte yapılması planlanan parçacık çarpıştırıcılarda ilgilenilen bu etkileşimlerin gözlemlenebilme potansiyelinin yüksek olabileceğine işaret etmektedir.

A Study on Flavor Changing Neutral Current $tq\gamma$ Transitions via Photon-Photon Interactions at the FCC- μp

Research Article

Article History:

Received: 15.03.2024

Accepted: 07.06.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

FCNC

Top quark

Photon-photon interactions

Future circular collider

Muon proton collider

ABSTRACT

The top quark has large mass and short lifetime at the electroweak interaction scale, therefore, the its decay channels are of great interest. One of the rare and almost completely suppressed decay channels in the Standard Model, the fundamental theory of particle physics, is the flavour-changing neutral current transitions of the top quark. However, the study of these transitions is only possible by considering effective field theory, a theory beyond the Standard Model. In the present study, we focus on analysing the processes in which the top quark transforms from a flavour-changing neutral current transition to an up quark or charm quark via photon mediated transitions using effective field theory. In this context, $\mu p \rightarrow \mu\gamma\gamma p \rightarrow \mu W b \bar{q} p \rightarrow \mu l \nu_l b \bar{q} p (l = e, \mu \text{ ve } \nu_l = \nu_e, \nu_\mu)$ and $\mu p \rightarrow \mu\gamma\gamma p \rightarrow \mu w b \bar{q} p \rightarrow \mu j \bar{j} b \bar{q} p (j = u d c s, \bar{j} = \bar{u} \bar{d} \bar{c} \bar{s})$ processes are considered and cross section calculations are made for two different centre of mass energies of the future muon proton collider FCC- μp . Then, by applying the chi-square statistical test to the obtained data, limit values on the branching ratio $BR(t \rightarrow q\gamma)$ of the top quark to a photon and up quark or

charm quark at 95% confidence level are obtained. It is observed that the limit values are about four times smaller than the current experimental results, and these results indicate that these interactions of interest may have a high potential to be observed in future particle colliders.

To Cite: Alici E. FCC- $\mu\mu$ 'da Foton-Foton Etkileşmesi ile Anormal Çeşni Değiştiren Nötr Akımların $tq\gamma$ Geçişleri Üzerine Bir Çalışma. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(5): 2205-2216.

1. Giriş

Standart model (SM), temel parçacıklar ve onların birbirleri ile etkileşmelerini inceleyen bir kuantumlu alanlar teorisidir. SM, öngörülerinin birçoğu deneysel verilerle doğrulanmış ve bundan dolayı oldukça güçlü bir teoridir. Ancak SM içerisinde birtakım eksiklikler ve cevaplanamayan problemler barındırmaktadır. Bunlardan bazılarına, elektrozayıf simetri kırılma mekanizmasının tam olarak çözülememesi, kütle çekim kuvvetinin teoriye dahil edilememesi, madde-anti madde dengesizliğinin açıklanamaması, nötrino osilasyonları örnekler olarak verilebilir. Bu bağlamda modeldeki eksikleri giderebilmek adına yüksek enerjilerde geçerli olacak ve düşük enerji değerlerinde Standart Model'e dönüşen yeni modeller ortaya atılmıştır. Bu modeller SM ötesi teoriler (Beyond Standard Model- BSM) olarak adlandırılmaktadır. Parçacık fiziği üzerine yapılan güncel çalışmaların önemli bir kısmı, BSM öngörülerinin araştırılmasına odaklanmıştır. Bu araştırmalarda SM parçacıklarının SM' de olmayan etkileşimlerini incelemek oldukça popülerdir. Bu bağlamda elektrozayıf etkileşme ölçөгündeki büyük kütle ve kısa yaşam ömrü sebebi ile SM' de yer alan en ilginç kuark olan, üst kuarkın farklı SM parçacıkları ile SM' de olmayan etkileşmelerini incelemek, elektrozayıf simetri kırılma mekanizması hakkında önemli bilgiler edinmemize olanak sunar. Bundan dolayı bu etkileşmeler SM ötesi yeni fiziğin öngörülerini araştırmak adına mükemmel bir çalışma alanı oluşturmaktadır. Bilindiği üzere üst kuark SM 'de ağaç mertebesi etkileşmelerde, sadece W bozon aracılığı ile yüklü akım geçişleri gerçekleştirmektedir. Öte yandan Foton, Higgs bozonu ve Z bozonu aracılığı ile gerçekleşebilecek çeşni değiştiren nötr akım (Flavour Changing Neutral Current- FCNC) geçişleri ise GIM (Glashow-Iliopoulos-Maiani) mekanizması ile yasaklıdır. Dahası bir halka mertebesinde bu etkileşmeler yaklaşık 10^{-14} - 10^{-16} mertebesinde bastırılmıştır (Glashow ve ark., 1970; Khatibi ve Najafabadi, 2014). Ancak BSM teorilerinde önerilen birçok fizik senaryosunda yukarıda bahsedilen bu nadir üst kuark etkileşmeleri olasılık dâhilindedir. Bu sebeple, FCNC geçişlerine dair herhangi bir bulgu, SM ötesi yeni fiziğin öngörülerinin doğruluğunu kanıtlamak için bir iyi bir işaret olabilir.

Literatürde FCNC geçişlerini araştırma konusu olarak seçen birçok deneysel ve fenomenolojik çalışmalar bulunmaktadır (Cakir, 2003; Han ve ark. 2003; Najafabadi ve Tazik, 2009; Koksal ve İnan, 2014; Sun, 2014; Inan, 2015; Guo ve ark., 2016; Khatibi ve Najafabadi, 2016; Goldouzian ve Clerbaux, 2017; Alici ve Koksal, 2019; Khanpour, 2020; Alici, 2022; ATLAS Collaboration, 2023). Bu çalışmalar, farklı BSM modellerini temel almaktadır. Yeni önerilen bu teorilerden birisi de, SM' i daha temel bir teorisinin düşük enerji limiti olduğunu kabul eden etkin alan teorisidir (Standard Model Effective Field Theory- SMEFT). Bu makale de FCNC geçişlerinden $t \rightarrow q\gamma$ ($q = u, c$) etkileşmeleri SMEFT model dikkate alınarak incelenecektir.

2. Materyal ve Metot

2.1 Gelecek Dairesel Çarpıştırıcı, Müon-Proton Çarpıştırıcısı

Çeşitli çarpışma türlerini ele alan hızlandırıcı fiziği çalışmaları, parçacık fiziğindeki yeni fizik araştırmalarına önemli katkılar sağlamaktadır. Bu bağlamda, bugüne kadar inşa edilmiş en yüksek enerjiye ve ışınlılığa sahip çarpıştırıcı olan LHC' de SM ötesi araştırmalar da birçok incelemeler yapılmıştır. Ancak bu makaleye konu olan FCNC geçişleri ile ilgili henüz bir ipucu bulunamamıştır. Bu sebeple FCNC araştırmalarında, gelecekte yapılması planlanan ve LHC' den daha yüksek enerjiye sahip parçacık hızlandırıcılar ile ilgili yapılacak olan fenomenolojik çalışmalar büyük önem arz etmektedir.

Gelecekte inşa edilmesi planlanan önemli hızlandırıcılardan birisi ise Gelecek Dairesel Çarpıştırıcı (Future Circular Collider- FCC)' dir (FCC Collaboration, 2019). LHC' nin 2030'lu yıllarda öngörülen görevlerini bitirmesi ile beraber, FCC aynı bölge üzerine inşa edilecektir. FCC' de LHC gibi bir proton-proton çarpıştırıcısıdır. Bunun yanında elektron-elektron, müon-müon, elektron-proton ve müon-proton çarpışma seçenekleri de olacaktır. Ayrıca elektron, müon ya da protonun hareketi dolayısıyla oluşacak fotonlar ile foton-foton ya da foton kuark etkileşimlerini inceleyebilme imkânı sunacaktır (Acar ve ark., 2017; Cheung ve Wang, 2021). Araştırmalarda, bu çarpışma türlerinden müon proton çarpışmalarının elektron proton ve proton-proton çarpışmalarına göre önemli avantajları bulunmaktadır. Müon bir elementer parçacık olduğundan müon-proton çarpışmaları, proton-proton çarpışmalarına göre güçlü etkileşimlerden bağımsız, daha temiz bir arka plana sahiptir. Bu sebeple sinyal sürecini ayırt etmek daha kolaydır. Yine bir elementer parçacık olan elektron ile proton çarpışmalarını müon-proton çarpışmaları ile kıyasladığımızda, müonun büyük kütlesi sebebi ile önemli bir avantajı vardır. Müon demetini dairesel hızlandırılma esnasında oluşan sinkrotron ışımasından çok fazla etkilenmeyerek, yüksek enerjilere ulaşabilirken, elektron demeti büyük enerji kaybı yaşayacaktır. Bu sebeple FCC' de diğer etkileşme çeşitlerine göre müon-proton etkileşmelerini araştırmak, BSM öngörülerini kanıtlamak üzerine yapılacak araştırmalar için oldukça umut vadedicidir. Dahası müon-proton çarpıştırıcıları foton-foton etkileşmelerine de olanak sağlamaktadır. Bahsi geçen bu süreçler, müonun ve protonun foton ışınımı yapması ile oluşan foton-foton süreçleridir. Burada yarı-gerçek fotonlar olarak adlandırılan fotonların, müon ve proton ışın demetinin hareketi esnasında kendiliğinden radyasyon yaymasından kaynaklandığı bilinmektedir. Ana halka da hareket eden proton demeti ve bu ana halkaya teğet bir diğer halkada hareket eden müon demeti enine momentumlarının bir kısmını kaybetmekte ve hareket yönünden çok küçük bir açıyla saçılan fotonlar yaymaktadır. Bu fotonlar Weizsacker-Williams yaklaşımıyla (Weizsacker-Williams Approximation-WWA) tutarlıdır ve bundan dolayı eş değer foton yaklaşımı (Equivalent Photon Approximation- EPA) ile incelenebilecekleri açıktır (Budnev ve ark., 1975; Piotrkowski, 2001; Pumplin ve ark., 2002).

Yukarıda verilen bilgiler ışığında sunulan bu çalışmada, anormal FCNC etkileşmelerinin $tq\gamma$ geçişlerini, FCC- μp ' da iki farklı kütle merkezi enerjisi 12,2 ve 17,3 TeV için hesaplamalı fenomenolojik bir çalışma ile incelenmektedir. Bu kütle merkezi enerjilerinde müon demetinin enerjisi sırası ile 750 GeV ve 1500 GeV, proton demetinin enerjisi ise 50000 GeV' dir (Acar ve ark., 2017;

Cheung ve Wang, 2021). Ayrıca FCC- μp etkin ışınılık değeri \mathcal{L}^{int} değeri belirlenirken, ışınılık değeri için literatürde müon-proton çarpıştırıcılarında iyimser bir yaklaşımla $\mathcal{L} = 10^{34} cm^{-2} s^{-1}$ alınabileceği rapor edilmektedir (Cheung ve Wang, 2021). Buna ilaveten, deneyin gerçekleşme ömrü hesaplanırken, deneyin çalışma süresinin bir yıl boyunca $3 \cdot 10^7$ s kabul edilir ve çarpıştırıcının 10 yıl boyunca çalıştığı düşünülürse, hesaplamalar sonucunda $\mathcal{L}^{int} \cong 3 ab^{-1}$ olarak alınabileceği ortaya çıkmaktadır.

2.2 Anormal Çeşni Değiştiren Nötr Akım Geçişleri

Çalışmada incelenilen FCNC geçişlerini tanımlayan Standart Model Etkin Alan Teorisindeki SM Lagranjiyenini ile aynı simetri gruplarına sahip altı boyutlu Lagranjiyen aşağıdaki formda yazılabilir (Aguilar-Saavedra, 2009).

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{SM} + \sum \frac{C_i O_i}{\Lambda^2} \quad (1)$$

Denklem ifadesi içerisinde yer alan \mathcal{L}_{SM} , Standart Model Lagranjiyenini tanımlarken, O_i genişletilmiş teoremin altı boyutlu operatörlerini göstermektedir. Ayrıca Λ yeni fiziğin enerji skalasını betimlerken, C_i Wilson etkileşme terimleridir. Burada verilen Lagranjiyen tüm FCNC geçişlerini tanımlayan genel bir formalizmdir. FCNC geçişlerinde, foton, üst kuark ve q (u, c) özelinde operatörleri tanımlarsak (Aguilar-Saavedra, 2009; Khatibi ve Moallemi, 2021)

$$O_{uW}^{ij} = (\bar{q}_{Li} \sigma^{\mu\nu} \tau^I u_{Rj}) \tilde{\phi} W_{\mu\nu}^I \quad (2)$$

$$O_{uB\phi}^{ij} = (\bar{q}_{Li} \sigma^{\mu\nu} u_{Rj}) \tilde{\phi} B_{\mu\nu} \quad (3)$$

Burada ij çeşni indislerini göstermektedir. Ayrıca \bar{q}_{Li} sol elli kuark dubleti ve u_{Rj} sağ elli kuark teklişidir. τ^I , Pauli spin matrislerini tanımlarken, $\tilde{\phi} = i\tau^2 \phi^*$ şeklindedir ve burada ϕ ; SM Higgs bozonunu temsil eder. Alan tensörleri, $B_{\mu\nu} = \partial_\mu B_\nu - \partial_\nu B_\mu$ ve $W_{\mu\nu}^I = \sigma^I (\partial_\mu W_\nu^I - \partial_\nu W_\mu^I + g \epsilon_{IJK} W_\mu^J W_\nu^K)$ şeklinde tanımlanır. SM Lagranjiyeninin genişletilmesini imkanı hale getiren FCNC etkileşim Lagranjiyeninin, $tq\gamma$ etkileşmelerini tanımlayan ifadesi aşağıdaki denklemdeki gibidir.

$$\mathcal{L}_{FCNC} = \frac{g_e}{2m_t} \sum_{q=u,c} \bar{q} \sigma_{\mu\nu} (\lambda_{qt}^R P_R + \lambda_{qt}^L P_L) t A^{\mu\nu} + h.c \quad (4)$$

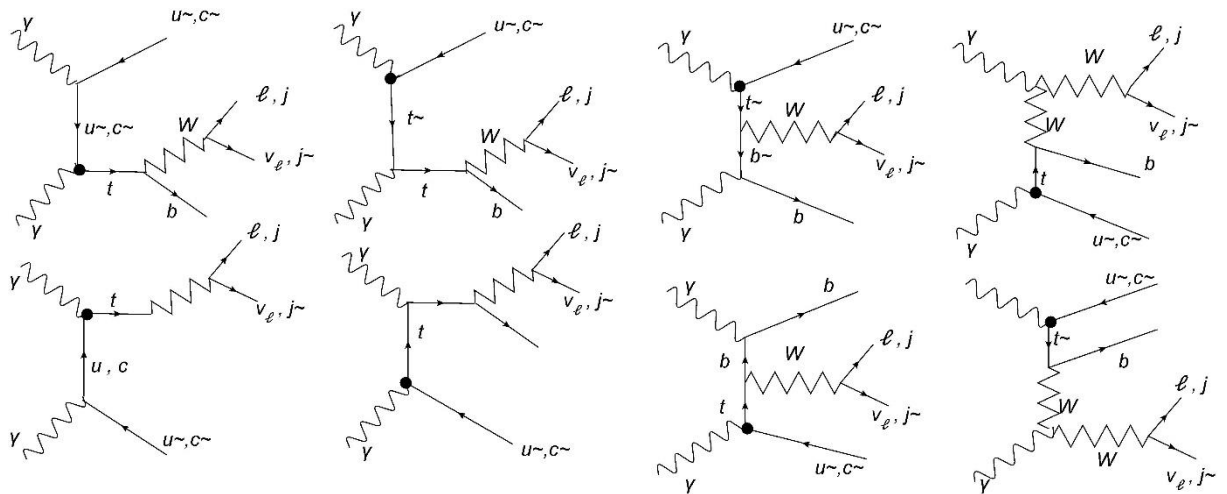
Biçimindedir. Denklemde yer alan g_e , elektromanyetik etkileşme sabiti ve $\sigma_{\mu\nu} = [\gamma_\mu, \gamma_\nu]/2$ Pauli spin matrisi elemanlarıdır. Ayrıca P_R ve P_L sırası ile sağ ve sol elli izdüşüm operatörlerini göstermektedir. λ_{qt}^R ve λ_{qt}^L , etkin operatörleri belirleyen Wilson katsayılarını içeren boyutsuz gerçek parametrelerdir. Bu çalışmada, incelediğimiz süreç için daha basit bir yaklaşım olması adına, FCNC köşeleri için özel bir

kiralitenin olmadığı durum kabul edilmiştir. Yani, $\lambda_{qt}^R = \lambda_{qt}^L = \lambda_q$ olarak alınmıştır. Ayrıca $\lambda_u = \lambda_c = \lambda_q$ olarak seçilmiştir. Üst kuarkın bir foton ve q (u, c) kuarklara bozunma genişliği $\Gamma(t \rightarrow q\gamma) = 0,6763\lambda_q^2 GeV$ şeklindedir. Üst kuarkın bir foton ve q (u, c) kuarklara dallanma oranı $BR(t \rightarrow q\gamma)$, $\Gamma(t \rightarrow q\gamma)$ bozunma genişliğinin üst kuarkın toplam bozunma genişliğine oranı ile bulunur. Burada $\Gamma(t \rightarrow toplam) \cong \Gamma(t \rightarrow Wb) = 1,47GeV$ şeklindedir. Sonuç olarak $BR(t \rightarrow q\gamma) = \frac{\Gamma(t \rightarrow q\gamma)}{\Gamma(t \rightarrow Wb)} = 0,4601\lambda_q^2$ olarak elde edilir.

Öte yandan, deneysel FCNC araştırmalarında, foton aracılığı ile gerçekleşen FCNC üst kuark geçişleri $t \rightarrow q\gamma$ ($q = u, c$) dallanma oranları üzerine en dūřuk duyarlılık limitleri Būyūk Hadron arpıştırıcı (Large Hadron Collider- LHC) Run 2 de ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS) iř birliği tarafından elde edilmiştir (ATLAS Collaboration, 2023). Bu sonuçlar, sırası ile sađ elli ve sol elli olacak şekilde $BR(t \rightarrow u\gamma) < 0,85 \times 10^{-5}$ ($1,2 \times 10^{-5}$) ve $BR(t \rightarrow c\gamma) < 4,2 \times 10^{-5}$ ($4,5 \times 10^{-5}$) şeklindedir.

2.3 Etkileşme Tesir Kesiti ve Hesaplamalar

Bu makalede $\mu p \rightarrow \mu\gamma\gamma p \rightarrow \mu Wb\bar{q}p \rightarrow \mu l\nu_l b\bar{q}p$ ($l = e, \mu$ ve $\nu_l = \nu_e, \nu_\mu$) ve $\mu p \rightarrow \mu\gamma\gamma p \rightarrow \mu w b\bar{q}p \rightarrow \mu j j b\bar{q}p$ ($j = u d c s$) sūrelerini ūst kuark, foton ve q (u, c) kuark anormal etkileřme kōřelerini dikkate alarak SMEFT aracılıđı ile inceledik. İncelemeye konu edilen bu sūrelerin alt sūreci, $\gamma\gamma \rightarrow Wb\bar{q}$ şeklindedir. Burada W bozonun iki farklı bozunma kanalı dikkate alınmıřtır. $\mu p \rightarrow \mu\gamma\gamma p \rightarrow \mu w b\bar{q}p \rightarrow \mu l\nu_l b\bar{q}p$ ($l = e, \mu$ ve $\nu_l = \nu_e, \nu_\mu$) sūreci leptonik bozunma kanalı olarak adlandırılırken, $\mu p \rightarrow \mu\gamma\gamma p \rightarrow \mu Wb\bar{q}p \rightarrow \mu j j b\bar{q}p$ ($j = u d c s$) sūreci hadronik bozunma kanalı olarak adlandırılmıřtır. řekil 1' de alt sūrelerimiz $\gamma\gamma \rightarrow Wb\bar{q}$ ($W \rightarrow l\nu_l, j\bar{j}$) için ađaç mertebesi Feynmann diyagramları çizdirilmiřtir.



řekil 1. $\gamma\gamma \rightarrow Wb\bar{q}$ ($W \rightarrow l\nu_l, j\bar{j}$) alt sūreci için ađaç mertebesi Feynmann diyagramları.

Etkileřme sūrelerimizi ūreterek tesir kesiti hesaplamak için, bir Monte Carlo similasyon programı olan Madgraph5_aMC@nlo kullanılmıřtır (Alwall ve ark., 2014). Standart model etkileřmelerini içeren The

FeynRules paketine (Alloul ve ark., 2014), SM ötesi terimleri içeren Universal FeynRules Output (UFO) modülü eklenmiştir (Degrande ve ark., 2012).

Hesaplamalarda, ilgilenilen sürecimizde foton dağılım fonksiyonu olarak eş değer foton yaklaşımını (Equivalent Photon Approximation -EPA) içeren CTEQ6L1 seçilmiştir (Pumplin ve ark., 2002). Ayrıca, hesaplamalar yapılırken deneysel uygulamalara daha yakın sonuçlar elde edebilmek adına çeşitli kesilimler uygulanmıştır. Bu kesilimler, SM tesir kesiti ile toplam tesir kesiti arasındaki farkı belirgin hale getirebilmek için önemlidir. Uygulanan kesilimler parçacıkların enine momentumunun minimum değeri için $p_t^{l,b,j,j^{\sim},q^{\sim}} \sim > 30 \text{ GeV}$, kayıp enine enerji için (Missing Transverse Energy) $MET > 30 \text{ GeV}$, parçacıkların pseudorapity değeri için $|\eta|^{l,b,j,j^{\sim},q^{\sim}} \leq 2,5$ şeklindedir.

2.4 Anormal Çeşni Değiştiren Nötr Akım Geçişleri Duyarlılık Hesabı

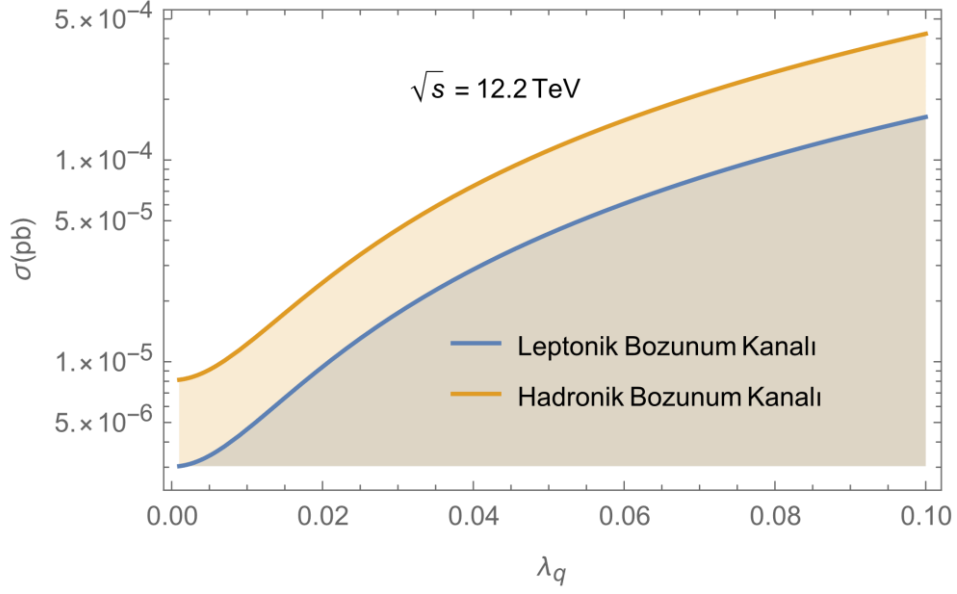
Çalışmada ilgilenilen süreçlerin FCNC $t \rightarrow q\gamma$ geçişlerinin deneysel olarak keşfinde yararlı olup olmadığını araştırmak adına, anormal bağlaşım sabiti λ_q üzerindeki %95 güvenilirlik düzeyinde duyarlılığı incelemek istenmiş ve bu amaç doğrultusunda istatistiksel analiz yöntemi olarak ki-kare (χ^2) metodu kullanılmıştır. Standart model beklentilerinden sapma miktarını belirleyecek χ^2 fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\chi^2 = \left(\frac{\sigma_{SM} - \sigma_{TOT}}{\sigma_{SM} \delta_{stat}} \right)^2 \quad (5)$$

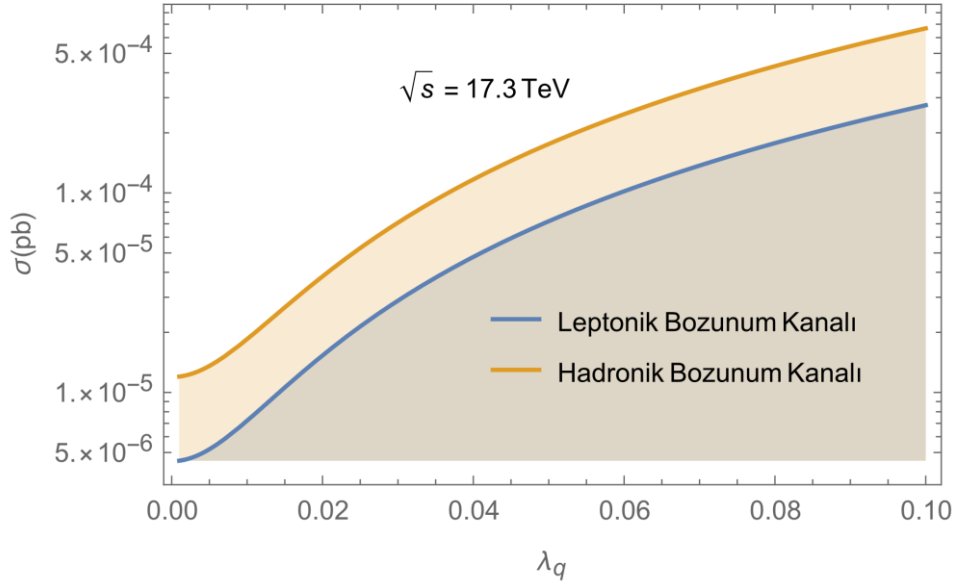
Denklem içerisinde yer alan ifadelerden, σ_{SM} SM tesir kesitini, σ_{TOT} SM ve yeni fiziğin katkılarını içeren toplam tesir kesitini göstermektedir. Ayrıca, $\delta_{stat} = 1/\sqrt{N_{SM}}$ istatistiksel hata oranını göstermektedir. Burada $N_{SM} = \mathcal{L}^{int} \times \sigma_{SM}$, SM olay sayısını göstermektedir. \mathcal{L}^{int} ise integre edilmiş ışınılılık olarak isimlendirilmektedir. %95 güvenilirlik düzeyinde χ^2 fonksiyonu 3,84'e eşitlenerek λ_q üzerindeki sınırlamalar elde edilir. Bu sonuçlar yukarıda elde edilen $BR(t \rightarrow q\gamma)$ ifadesinde yerine konularak dallanma oranı üzerinde sınırlamalar elde edilir.

3. Bulgular ve Tartışma

Yukarıda verilen metot ve yöntem bilgileri ışığında yapılan hesaplamalardan elde edilen tesir kesiti değerinin λ_q bağımlılığını, iki farklı kütle merkezi enerjisinde hem leptonik bozunma kanalı hem de hadronik bozunma kanalı için gösterdik. Bu bağlamda, Şekil 2 ve Şekil 3 sırası ile 12,2 TeV ve 17,3 TeV için çizdirilmiştir.



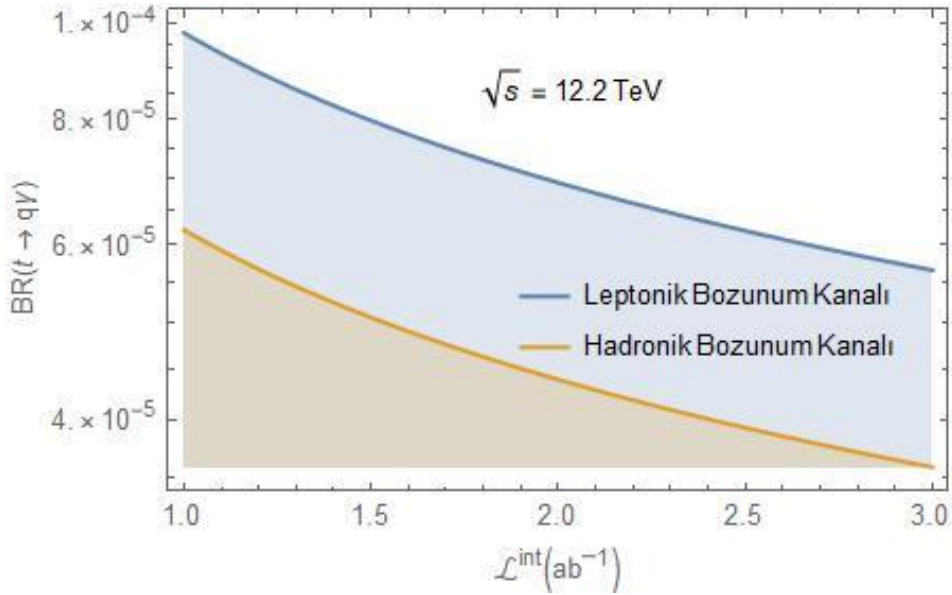
Şekil 2. Kütle merkezi enerjisi $\sqrt{s} = 12,2 \text{ TeV}$ ' de $\mu p \rightarrow \mu\gamma\gamma p \rightarrow \mu W b \bar{q} p \rightarrow \mu l \nu_l b \bar{q} p$ ($l = e, \mu$ ve $\nu_l = \nu_e, \nu_\mu$) $\mu w b \bar{q} p \rightarrow \mu j \bar{j} b \bar{q} p$ ($j = u d c s, \bar{j} = \bar{u} \bar{d} \bar{c} \bar{s}$) süreçlerinin toplam tesir kesitinin anomal bağlaşım sabiti λ_q 'ya göre değişimi



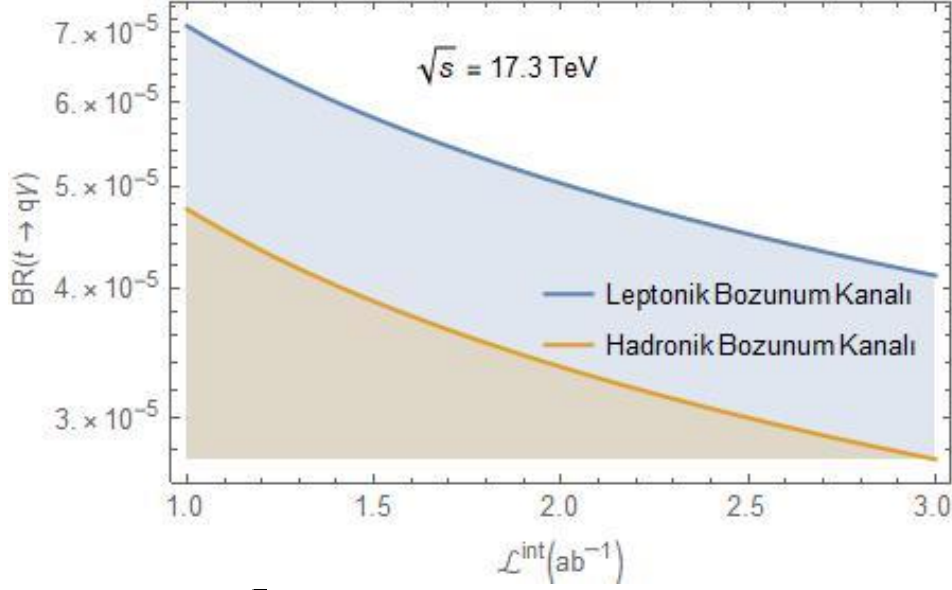
Şekil 3. Kütle merkezi enerjisi $\sqrt{s} = 17,3 \text{ TeV}$ ' de $\mu p \rightarrow \mu\gamma\gamma p \rightarrow \mu W b \bar{q} p \rightarrow \mu l \nu_l b \bar{q} p$ ($l = e, \mu$ ve $\nu_l = \nu_e, \nu_\mu$) ve $\mu w b \bar{q} p \rightarrow \mu j \bar{j} b \bar{q} p$ ($j = u d c s, \bar{j} = \bar{u} \bar{d} \bar{c} \bar{s}$) süreçlerinin toplam tesir kesitinin anomal bağlaşım sabiti λ_q 'ya göre değişimi

Şekil 2 ve Şekil 3 birlikte değerlendirildiğinde hadronik süreçlerin tesir kesiti değerleri leptonik süreçlere göre daha yüksek olduğu açıkça görölmektedir. Ayrıca, aynı anomal bağlanma sabiti λ_q değeri için tesir kesiti sonuçları karşılaştırıldığında, kütle merkezi enerjisi yüksek olduğunda kesitin de yüksek olduğu gözlenmektedir. Aslında bu bulgular, yeni fizik terimleri yüksek enerji bağımlılığı içerdigiinden beklenen bir sonuçtur. Ayrıca grafiklere göre, artan anomal bağlaşım sabiti değerleri ile birlikte yeni fizik katkıları daha çok artarak SM kesitinin çok üzerinde bir etkiye sahip olabileceği görölmektedir.

Çalışmanın son kısmında, ilgilenilen sürecin anormal bağlaşım sabiti λ_q üzerindeki duyarlılığı incelemek istenmiş ve bu amaç doğrultusunda istatistiksel analiz yöntemi olarak ki-kare (χ^2) metodu kullanılmıştır. Bu bağlamda sunulan çalışmada λ_q üzerinde duyarlılık sınırlaması %95 güvenilirlik düzeyinde $\mu p \rightarrow \mu\gamma\gamma p \rightarrow \mu W b \bar{q} p \rightarrow \mu l \nu_l b \bar{q} p (l = e, \mu \text{ ve } \nu_l = \nu_e, \nu_\mu)$ ve $\mu p \rightarrow \mu\gamma\gamma p \rightarrow \mu w b \bar{q} p \rightarrow \mu j \bar{j} b \bar{q} p (j = u d c s, \bar{j} = \bar{u} \bar{d} \bar{c} \bar{s})$ süreçleri üzerinde iki farklı kütle merkezi enerjisi 12,2 TeV ve 17,3 TeV için χ^2 istatistiksel analiz testi ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra elde edilen sonuçlar $BR(t \rightarrow q\gamma) = 0,4601\lambda_q^2$ ifadesinde kullanılarak dallanma oranı üzerinde hassasiyet sınırlamaları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile $BR(t \rightarrow q\gamma)$ dallanma oranı ifadesinin integre edilmiş ışınlığa göre değişimi hem leptonik hem de hadronik bozunma kanalı için Şekil 4’de 12,2 TeV ve Şekil 5’ de 17,3 TeV için çizdirilmiştir.



Şekil 4. Kütlesiz enerji $\sqrt{s} = 12,2 \text{ TeV}$ için $\mu p \rightarrow \mu\gamma\gamma p \rightarrow \mu W b \bar{q} p \rightarrow \mu l \nu_l b \bar{q} p (l = e, \mu \text{ ve } \nu_l = \nu_e, \nu_\mu)$ ve $\mu w b \bar{q} p \rightarrow \mu j \bar{j} b \bar{q} p (j = u d c s, \bar{j} = \bar{u} \bar{d} \bar{c} \bar{s})$ süreçlerinin %95 güvenilirlik düzeyinde dallanma oranı $BR(t \rightarrow q\gamma)$ için hassasiyet limitleri



Şekil 5. Kütle merkezi enerjisi $\sqrt{s} = 17,3 \text{ TeV}$ için $\mu p \rightarrow \mu \gamma \gamma p \rightarrow \mu W b \bar{q} p \rightarrow \mu l \nu_l b \bar{q} p (l = e, \mu \text{ ve } \nu_l = \nu_e, \nu_\mu)$ ve $\mu w b \bar{q} p \rightarrow \mu j \bar{j} b \bar{q} p (j = u d c s, \bar{j} = \bar{u} \bar{d} \bar{c} \bar{s})$ süreçlerinin %95 güvenirlilik düzeyinde dallanma oranı $BR(t \rightarrow q\gamma)$ için hassasiyet limitleri

Şekil 4 ve Şekil 5 birlikte incelendiğinde, elde edilen $BR(t \rightarrow q\gamma)$ için en sıkı sınırlamalar hadronik bozunma kanalında $\sqrt{s} = 17,3 \text{ TeV}$ kütle merkezi enerjisi ve ışınllık değeri $\mathcal{L}^{int} = 3 \text{ ab}^{-1}$ için elde edilmiştir. Sonuç olarak, bu değerler için $BR(t \rightarrow q\gamma) = 2,75 \times 10^{-5}$ bulunmuştur. Buna göre elden edilen sonuçlar, ATLAS işbirliği tarafından elde edilen en son deneysel sonuçlara kıyasla 4 kat daha sınırlayıcı olmuştur. Aynı ışınllık ve kütle merkezi enerjisi değerlerinde, leptonik bozunma kanalı için yapılan hesaplamalarda $BR(t \rightarrow q\gamma) = 4,10 \times 10^{-5}$ olarak bulunmuştur. Burada ise hesaplanan sonuç, güncel deneysel limitleri 3 kat daha iyileştirebileceğini işaret etmektedir. Öte yandan, yapılan detaylı incelemelerde en az kısıtlama, leptonik bozunma kanalı için $\sqrt{s} = 12,2 \text{ TeV}$ kütle merkezi enerjisi ve ışınllık değeri $\mathcal{L} = 1 \text{ ab}^{-1}$ için elde edilmiştir. Buna rağmen elde edilen bulguların güncel deneysel sonuçlardan 1,1 kat daha kısıtlayıcı olduğu görülmektedir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, parçacık fiziğinin temel teorisi olan Standart Model' de yer alan eksikliklerin giderilebilmesi için önerilen yeni fizik teorilerinden önemli bir çalışma alanı olan üst kuarkın anormal FCNC geçişleri incelenmiştir. İncelemelerde etkin alan teorisi kullanarak anormal $t \rightarrow q\gamma$ etkileşmelerinin varlığının keşfi ile ilgili araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Araştırmalar gelecekte yapılması planlanan müon- proton çarpıştırıcısı FCC- $\mu p'$ de foton-foton etkileşmelerini temel alarak gerçekleştirilmiştir. Anormal $t \rightarrow q\gamma$ geçişlerinin keşif senaryosu olarak, %95 güvenilirlik düzeyinde dallanma oranı $BR(t \rightarrow q\gamma)$ için tespit sınırları fenomolojik olarak elde edilmiştir. Bulduğumuz sonuçlar için en sıkı sınırlama hadronik bozunma kanalında $\sqrt{s} = 17,3 \text{ TeV}$ kütle merkezi enerjisi için, ışınllık değeri $\mathcal{L}^{int} = 3 \text{ ab}^{-1}$ de, $BR(t \rightarrow q\gamma) = 2,75 \times 10^{-5}$ olarak elde edilmiştir. Günümüzdeki son deneysel limitler ise ATLAS deney grubu tarafından sırası ile sağ elli ve sol elli olacak şekilde;

$BR(t \rightarrow u\gamma) < 0,85 \times 10^{-5} (1,2 \times 10^{-5})$ ve $BR(t \rightarrow c\gamma) < 4,2 \times 10^{-5} (4,5 \times 10^{-5})$ elde edilmiştir. Bu çalışmada yapılan incelemeler de özel bir ellilik durumu seçilmeyip sağ eli ve sol eli durumların eşit seçilmesi sebebiyle, deneysel sonuçları karşılaştırırken toplam ifadeleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada elde edilen limitlerin, güncel deneysel limitlere kıyasla neredeyse dört kata kadar daha kısıtlayıcı olabileceği anlaşılmaktadır. Bu da ilgilenilen sürecin, SM ötesi yeni fizik araştırmalarında FCNC süreçleri üzerine yapılacak çalışmalar için umut vaat edici olduğunu göstermektedir. Ayrıca hesaplamalı olarak elde ettiğimiz limit değerlerinin LHC tarafından elde edilen güncel deneysel limitlerden daha hassas çıkması, LHC sonrası yapılması planlanan FCC müon-proton çarpıştırıcısının SM ötesi çalışmalarda dikkat çekici bir öneme sahip olabileceğine işaret etmektedir.

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

- Acar YC., Akay AN., Beser S., Canabay AC., Karadeniz H., Kaya U., Öner BB., Sultansoy S. Future circular collider based lepton–hadron and photon–hadron colliders: Luminosity and physics. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 2017; 871(1): 47-53.
- Aguilar-Saavedra JAA. Minimal set of top anomalous couplings. *Nuclear Physics B* 2009; 812(1): 181-204.
- Alici E. Probing the anomalous $tq\gamma$ couplings in photon-proton collisions. *International Journal of Theoretical Physics* 2022; 61(7): 193.
- Alici E., Koksal M. Probing the anomalous $tq\gamma$ couplings through single top production at the future lepton-hadron colliders. *Modern Physics Letters A* 2019; 34(36): 1950298-1950310.
- Alloul A., Christensen ND., Degrande C., Duhr C., Fuks B. FeynRules 2.0- A complete toolbox for tree-level phenomenology. *Computer Physics Communications* 2014; 185(8): 2250-2300.
- Alwall J., Frederix R., Frixione S., Hirschi V., Maltoni F., Mattelaer O., Shao HS., Stelzer T., Torrielli P., Zaro M. The automated computation of tree-level and next-to-leading order differential cross sections, and their matching to parton shower simulations. *Journal of High Energy Physics* 2014; 2014: 079.
- ATLAS Collaboration. Search for flavour-changing neutral-current couplings between the top quark and the photon with the ATLAS detector at $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$. *Physics Letters B* 2023; 842: 137379-137401.

- Budnev VM., Ginzburg IF., Meledin GV., Serbo VG. The two-photon particle production mechanism. physical problems. Applications. Equivalent photon approximation. *Physics Reports* 1975; 15(4): 181-282.
- Cakir O. Anomalous production of top quarks at CLIC + LHC based γp colliders. *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics* 2003; 29(6): 1181-1192.
- Cheung K., Wang ZS. Physics potential of a muon proton collider. *Physical Review D* 2021; 103(11): 116009-116016.
- Degrande C., Duhr C., Fuks B., Grellscheid D., Mattelaer O., Reiter T., UFO- The Universal FeynRules output. *Computer Physics Communications* 2012; 183(6): 1201–1214.
- FCC Collaboration. FCC physics opportunities: Future Circular Collider conceptual design report volume 1. *European Physical Journal C* 2019; 79: 474.
- Glashow SL., Iliopoulos J., Maiani L. Weak interactions with lepton-hadron symmetry. *Physical Review D* 1970; 2(7): 1285-1292.
- Goldouzian R., Clerbaux B. Photon initiated single top quark production via flavor-changing neutral currents at the LHC. *Physical Review D* 2017; 95(5): 054014-054025.
- Guo Y., Yue C., Yang S. Search for anomalous couplings via single top quark production in association with a photon at LHC. *European Physical Journal C* 2016; 76: 11-596.
- Han T., Peccei RD., Zhang X. Top quark decay via flavor changing neutral currents at hadron colliders. *Nuclear Physics B* 1995; 454(3): 527-540.
- Inan SC. Dimension-six anomalous $tq\gamma$ couplings in $\gamma\gamma$ collision at the LHC. *Nuclear Physics B* 2015; 897: 289-301.
- Khanpour H. Probing top quark FCNC couplings in the triple-top signal at the high energy LHC and future circular collider. *Nuclear Physics B* 2020; 958: 115141-115166.
- Khatibi S., Najafabadi MM. Probing the anomalous FCNC interactions in top-higgs final state and charge ratio approach. *Physical Review D* 2014; 89(5): 054011-054020.
- Khatibi S., Najafabadi MM. Constraints on top quark flavor changing neutral currents using diphoton events at the LHC. *Nuclear Physics B* 2016; 909: 607-618.
- Khatibi S., Moallemi M. Probing FCNC couplings in single top-quark production associated with a neutral gauge boson in future lepton colliders. *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics* 2021; 48(12): 125004.
- Koksal M., Inan SC. Anomalous $tq\gamma$ couplings in γp collision at the LHC. *Advanced High Energy Physics* 2014; 2014: 935840.
- Najafabadi MM., Tazik N. Study of the top quark, FCNC. *Communications in Theoretical Physics* 2009; 52(4): 662-664.
- Piotrkowski K. Tagging two photon production at the CERN LHC. *Physical Review D* 2001; 63(7): 071502-071506.

Pumplin J., Stump DR., Huston J., Lai HL., Nadolsky PM. Tung WK. New generation of parton distributions with uncertainties from global QCD analysis. *Journal of High Energy Physics* 2002; 2002(07): 012.

Sun H. Probe anomalous $tq\gamma$ couplings through single top photoproduction at the LHC. *Nuclear Physics B* 2014; 886: 691-711.

Rüzgâr Türbini Uygulaması İçin Çeşitli Çekirdek Malzemelerin Kullanıldığı SMSG'lerin Karşılaştırmalı Performans Analizi

Burak ESENBOĞA^{1*}

¹Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 01250, Adana, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-7777-259X>

*Sorumlu yazar: besenboga@atu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 18.03.2024

Kabul tarihi: 08.07.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

ANSYS Maxwell

Tasarım

Sonlu elemanlar analizi

Malzemeler

Kalıcı mıknatıslı senkron

jeneratörler

ÖZ

Kalıcı mıknatıslı senkron jeneratör (SMSG) çekirdekleri rüzgâr enerjisi performansının belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. SMSG'lerin çekirdek malzemeleri manyetik akı yoğunluğunu etkiler, kayıpları en aza indirir, ısı dağılımını kolaylaştırır, mekanik stabilite sağlar ve maliyet hususlarını dengeler. Farklı çekirdek malzemelerinin kullanılması, SMSG sistemlerinin verimliliği ve rüzgâr üretimindeki genel performans üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle bu çalışma, rüzgâr türbini uygulamalarında çeşitli çekirdek malzemeleri kullanan PMSG sistemleri için karşılaştırmalı bir performans analizi sunmaktadır. Tasarım ve analiz metodolojisi ANSYS/MAXWELL simülasyon yazılımına dayanmaktadır. Önerilen rüzgâr türbini modeli 380 V, 50 Hz ve 24 HP çıkış gücünde tasarlanmıştır. Çalışma, silikon çelik, amorf çelik ve ferrit malzemeler gibi çeşitli çekirdek malzemeleri kullanan PMSG sistemlerinin performans özelliklerini araştırıyor. Tasarım aşamasında, ANSYS Maxwell kullanılarak çekirdek malzemeleri karşılaştırmak için Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) gerçekleştirilir. Sonuçlar, farklı çekirdek malzemeleri kullanan tasarım yaklaşımının etkinliğini ve doğruluğunu göstermektedir. Sonuçlar, SMSG'ye dayalı rüzgâr enerjisi sistemlerinin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini artırmak için en iyi çekirdek malzemelerin seçimine rehberlik etmeye yardımcı olmaktadır.

Comparative Performance Analysis of PMSGs Using Various Core Materials for Wind Turbine Application

Research Article

Article History:

Received: 18.03.2024

Accepted: 08.07.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

ANSYS Maxwell

Design

Finite element analysis

Materials

Permanent magnet synchronous

generators

ABSTRACT

Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) cores play an important role in determining the performance of wind power. Core materials of PMSGs influence magnetic flux density, minimize losses, facilitate heat dissipation, ensure mechanical stability, and balance cost considerations. The use of different core materials has a significant impact on PMSG systems efficiency and overall performance in wind generation. Therefore, this study provides a comparative performance analysis for PMSG systems using diverse core materials in wind turbine applications. The design and analysis methodology is based on ANSYS/MAXWELL simulation software. The proposed model for a wind turbine is designed with 380 V, 50 Hz, and 24 HP output power. The study investigates the performance characteristics of PMSG systems utilizing various core materials such as silicon steel, amorphous steel, and ferrite materials. During the design phase, the Finite Element Analysis (FEA) is performed to compare core materials using ANSYS Maxwell. The results demonstrate the effectiveness and accuracy of the design approach using different core materials. The results help guide the selection of the best core materials to improve the efficiency and sustainability of wind energy systems based on PMSG.

1.Introduction

The harnessing of wind energy through wind turbines has emerged as a vital contributor to renewable energy generation worldwide. At the heart of these wind turbines lies the generator, a crucial component responsible for converting mechanical energy from the wind into electrical energy. Among the various generator technologies employed in wind turbines, the Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) has gained significant attention due to its numerous advantages and suitability for wind energy applications. PMSGs utilize permanent magnets to create the magnetic field necessary for generating electricity, eliminating the need for a separate excitation system, such as brushes and slip rings, found in other generator types. This inherent simplicity results in reduced maintenance requirements, enhanced reliability, and improved efficiency, making PMSGs particularly well-suited for remote or offshore wind farm installations where accessibility and maintenance can be challenging (Abdelateef Mostafa et al., 2023). In addition to their operational advantages, PMSGs offer superior power density, allowing for more compact and lightweight designs compared to traditional generators. This characteristic is especially advantageous in wind turbine applications where space and weight constraints are critical factors in turbine design and installation. Furthermore, the direct-drive configuration, commonly employed with PMSGs, eliminates the need for a gearbox, thereby reducing mechanical complexity, noise, and maintenance costs while improving overall system efficiency. Despite these advantages, the design and optimization of PMSGs for wind turbine applications present unique challenges, particularly concerning the selection of core materials, winding configurations, and control strategies to maximize efficiency, reliability, and power output.

Numerous investigations have been conducted within the realm of Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) for wind turbine application. It is compared and evaluated two distinct configurations of micro-grid-connected wind turbines with Permanent Magnet Synchronous Generators (PMSGs). In the first setup, the wind turbine, PV panels, and batteries are linked to a rectifier, filter-boost converter, and DC bus. In contrast, the second setup separates PV panels and batteries, connecting them to an inverter, while the wind turbine directly connects to 3-phase AC through a back-to-back converter and step-down transformer. Analysis of simulation results reveals that while the first design boasts superior power quality with reduced voltage harmonics, the second design excels in supporting multiple households owing to the higher efficiencies of the inverter and transformer (Tazi et al., 2020). It is introduced an Improved Magnetic Circuit (IMC) model for enhancing a Five-Phase Permanent Magnet Synchronous Generator (FP-PMSG) for wind power applications. By merging Finite Element Method (FEM) with the IMC model, rapid outcomes are attained. The model refines FP-PMSG parameters like leakage fluxes, core and rotor materials, and saturation effects, employing a winding function for armature reaction flux computation. Examination encompasses various sleeve and core materials, optimizing dimensional parameters. Notably, reducing air-gap flux leads to diminished voltage and

cogging torque, thereby reducing torque ripple (Kumar et al., 2020a). The other study is conducted a design and assess a Novel Dual Stator Pseudo-Pole Five Phase Permanent Magnet Synchronous Generator (NDSPPFP-PMSG) tailored for wind power utilization. This innovative generator incorporates dual stators and two sets of five-phase windings, resulting in improved power density and fault tolerance. Its uniqueness stems from the creation of eight magnetic poles using just four magnet poles on each rotor surface. The outcomes demonstrate a higher power density achieved by the proposed generator (Kumar et al., 2020b). It is examined various techniques for maximizing power extraction and compares the dynamic performance between Permanent Magnet Synchronous Generators (PMSG) and Permanent Magnet Vernier Generators (PMVG). An innovative approach, termed current augmented Open-Transition Control (OTC), is introduced to decrease inertia and enhance dynamic performance. PMVG demonstrates a 0.505% enhancement in power extraction efficiency compared to PMSG under typical OTC control conditions. Additionally, the study conducts comprehensive analyses of design, volume, weight, and cost comparisons between PMVG and PMSG (Palanimuthu et al., 2022). It is presented a comparative study on PMSG performance, exploring various factors such as the type of permanent magnet, environmental conditions like rotor speed, and design and geometrical parameters including rotor length, number of poles, and stator slots. The investigation utilizes the Finite Element Method (FEM), recognized as a robust tool for PMSG study and design. The study findings reveal that both efficiency and power output of the system rise as the rotor length increases. However, efficiency declines when the rotor length surpasses that of the stator. Consequently, the optimal rotor length is determined to be 65mm (Mellah and Hemsas, 2013). It is evaluated the performance under varying wind speeds and fault scenarios. particle swarm optimizer (PSO) performs well in wind speed changes, while gray wolf optimizer (GWO) and WOA excel in symmetrical fault scenarios. GWO demonstrates superior performance in symmetrical faults compared to whale optimizer algorithm (WOA). MATLAB/Simulink simulations validate the effectiveness of the proposed GWO technique and Braking chopper (BC) in improving PMSG dynamic performance (Mahmoud et al., 2020). A new system with a grid-side converter (GSC) and a machine-side converter (MSC) for a Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG), employing a three-level Neutral Point Clamped (NPC) setup and fuzzy Proportional-Integral (PI) control is introduced. It examines the PMSG's performance under varying loads and finds that with the NPC configuration, the Total Harmonic Distortion (THD) of the electrical grid voltage is approximately 1.45%. The study concludes that the proposed model is stable even when subjected to changing loads, based on thorough analysis. (Gencer, 2018). Two primary challenges encountered in direct-grid coupled Permanent Magnet Synchronous Generators (PMSGs) are discussed. It is proposed the optimizing slot/pole combinations to address the MPPT limitation and analyze reactive power variation for designing high-power Factor (PF) machines across diverse power outputs. Analytical insights highlight the advantages of fixed-speed systems across different wind speeds and capacity factors (Bakbak et al., 2022). The authors aim to enhance the rotor design parameters of a 4000 rpm PMSG. They focus on optimizing factors such as embrace, offset, outer diameter, and magnet thickness

to ensure that the magnetic flux density distribution and flux density on stator teeth and stator yoke remain within desired limits while maximizing efficiency. The findings reveal that efficiency is optimized, and magnetic distributions are maintained within suitable bounds (Perin et al., 2024). It is explored the utilization of Series Dynamic Braking Resistor (SDBR) and Bridge fault current limiter (BFCL) to enhance the Low Voltage Ride Through (LVRT) capability of PMSG wind turbines. It evaluates and contrasts the effectiveness of both methods on the PMSG under severe balanced fault conditions. The results indicate that while the BFCL, despite its complex structure, enhances the fault ride-through capability of PMSG wind farms, the simpler SDBR topology performs differently (Okedu, 2023). It is presented a 1.5 kW inner rotor permanent magnet synchronous generator, featuring surface-mounted magnets. To investigate the influence of different magnet materials on machine performance, SmCo₂₄, SmCo₂₈, and NdFe₃₅ magnets were analyzed in the same reference machine. Results indicate that NdFe₃₅ magnets yield the highest efficiency and air gap flux density. However, it's noted that NdFe₃₅ magnets also exhibit higher cogging torque compared to the other magnet types. (Özmen and Onat, 2021).

When the literature study is examined, it is seen that PMSGs used in wind turbines play an important role in renewable energy production and contribute to the growth in the wind energy sector. Efficiency and performance increases of PMSGs have become an important issue. In this article, a different path is followed to increase the efficiency of PMSGs in wind turbine applications. The main objectives of this study are explained as follows:

- To conduct a comparative performance analysis of Permanent Magnet Synchronous Generators (PMSGs) utilizing diverse core materials within the context of wind turbine applications.
- To perform a comparative evaluation of core materials through Finite Element Analysis (FEA) within the ANSYS Maxwell environment.
- To investigate the performance characteristics, including power, and losses, of PMSG systems employing various core materials such as silicon steel, amorphous steel, and ferrite materials.
- To validate the efficacy of the design approach using outcomes derived from ANSYS Maxwell simulations.
- To provide valuable insights and recommendations to facilitate informed decision-making in selecting optimal core materials, thereby enhancing the performance and sustainability of PMSG-based wind energy systems.

2. Material and Method

Different core materials have different magnetic properties. A core material with a high magnetic saturation point can provide higher magnetic flux density and therefore higher efficiency. Additionally, a material with low magnetic losses minimizes losses in the energy conversion process and therefore increases overall efficiency. Additionally, the core material also affects the mechanical durability of the generator. A material that does not have sufficient mechanical strength may be damaged when faced

with vibrations and mechanical stresses, which can negatively affect the performance and life of the generator. As a result, the correct selection of the core material is critical for long-term reliability and sustainability, as well as improving the efficiency of the PMSG. Therefore, great attention should be paid to core material selection in PMSG design and optimization. Various core materials commonly used in Permanent Magnet Synchronous Generators (PMSGs) were considered for this comparative analysis. These are silicon steel, amorphous steel, ferrite materials, and other emerging materials. Selection criteria for core materials included factors such as magnetic properties, mechanical strength, thermal conductivity, and cost-effectiveness.

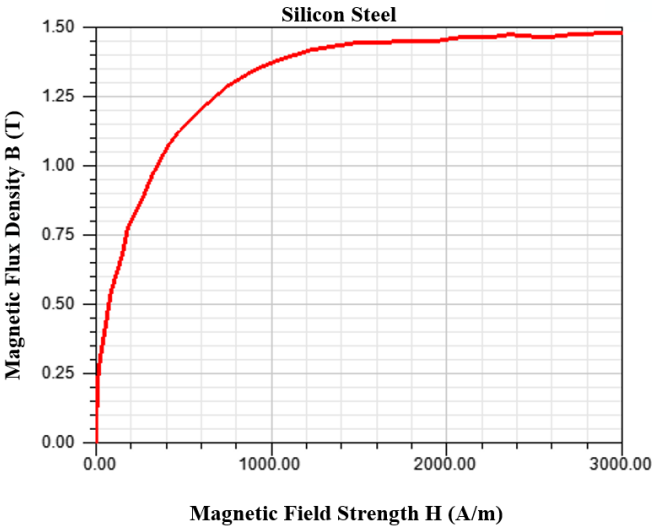
In this study, a wind turbine model is established with specifications including 380 V, 50 Hz, and 24 HP output power. These specifications are chosen to represent typical operating conditions for wind turbine applications. The comparative analysis focused on evaluating the performance of PMSG systems using different core materials. These are silicon steel, an amorphous metal alloy, and a ferrite material. Silicon steel is also known as electrical steel or silicon iron, this material is widely utilized in machine cores due to its high magnetic permeability and low core losses. It helps minimize eddy current losses, making it ideal for high-efficiency machine designs. Amorphous metal alloys exhibit extremely low core losses due to their non-crystalline structure. They offer superior magnetic properties compared to traditional silicon steel, making them suitable for applications where minimizing losses is critical (Zhang et al., 2023). Ferrite materials including ferrite ceramic and soft ferrite, are commonly used in lower-cost machines and applications requiring moderate magnetic performance. While they may not offer the same level of efficiency as silicon steel or amorphous alloys, they provide good performance in applications with lower power requirements.

The most common ferrite core material used for Permanent Magnet Synchronous Generators (PMSGs) is manganese-zinc (MnZn) ferrite. This type of ferrite is widely used in electrical and electronic applications due to its relatively high permeability and low cost compared to other ferrite materials. MnZn ferrite cores offer good magnetic properties, thermal stability, and resistance to demagnetization, making them suitable for use in PMSGs and other electromagnetic devices (Thakur et al., 2020).

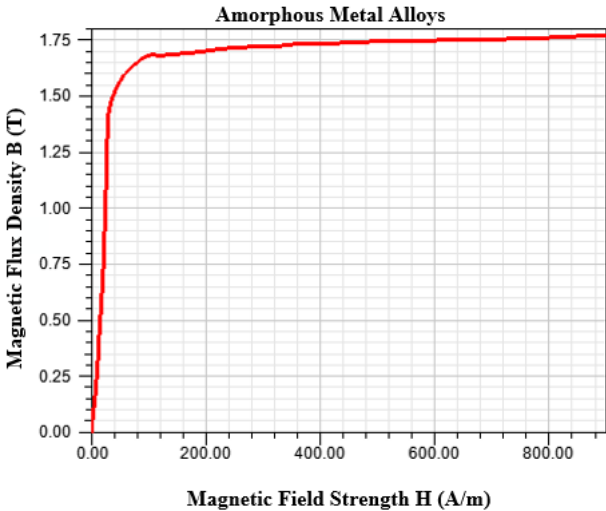
The most efficient type of silicon steel core material for a Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) typically falls within the category of high-permeability, low-loss electrical steels. Among these, grain-oriented silicon steel (GOSS) is often considered one of the most efficient materials for PMSG cores. Grain-oriented silicon steel is specifically engineered to exhibit superior magnetic properties in the direction of grain orientation, resulting in reduced core losses and improved efficiency (Li et al., 2022). It is commonly used in high-efficiency electrical machines such as transformers and generators, including PMSGs, where minimizing losses is crucial for maximizing energy conversion efficiency. Additionally, advanced grades of grain-oriented silicon steel with optimized magnetic properties and reduced losses are continuously being developed by manufacturers to further enhance the efficiency of PMSGs and other electrical devices. Ultimately, selecting the most efficient silicon steel core type material for a PMSG involves considering factors such as specific application requirements, desired

performance characteristics, and cost considerations. Consulting with manufacturers and conducting thorough analyses help determine the most suitable material for a given PMSG application.

The B-H curve, also known as the magnetization curve or hysteresis loop, of the core material plays a crucial role in determining the performance of a PMSG. The B-H curve provides information about the magnetic properties of the core material, including its magnetic permeability, saturation flux density, and coercivity. These properties directly influence the ability of the core to channel and concentrate magnetic flux, which is essential for efficient energy conversion in the generator. The design methodology emphasizes a comparative evaluation of core materials through Finite Element Analysis (FEA) conducted within the ANSYS Maxwell software. The analysis assesses the performance of the designed PMSG across various core materials with distinct characteristics. Figure 1 presents the B-H curve characteristic of PMSG core materials used in FEA analysis.



(a)



(b)

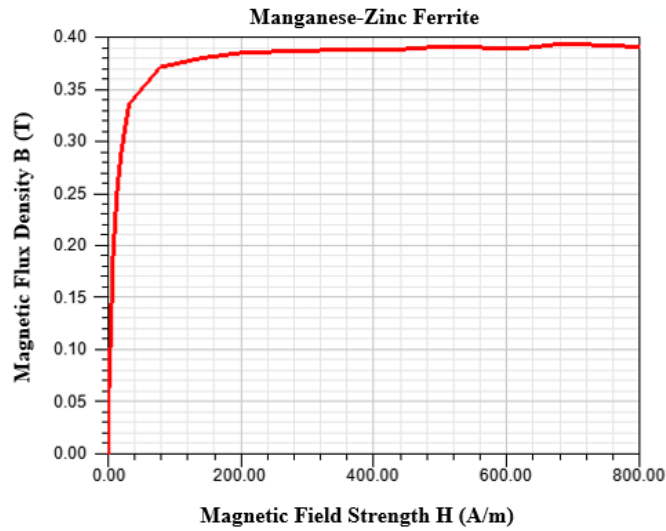


Figure 1. B-H curve characteristic of PMSG core materials a) silicon steel b) amorphous metal alloy c) manganese-zinc ferrite

The core loss model is a mathematical representation or empirical model used to predict the core losses in magnetic materials, such as those used in transformers, inductors, motors, and other electromagnetic devices. Core losses occur due to hysteresis and eddy current losses in the magnetic core material when subjected to alternating magnetic fields. There are various core loss models used depending on the specific characteristics of the magnetic material and the operating conditions. The values of mass density, conductivity, thickness, and Poisson's ratio are used to occur the core loss model. Table 1 presents the core loss characteristics of the used stator core for PMSG.

Table 1. Core loss characteristics of the used stator core for PMSG

Core Materials	Silicon Steel	Amorphous Metal Alloy	Manganese-Zinc Ferrite
Mass density (g/cm ³)	7.65	7.2	5.3
Thickness (mm)	0.35	0.25	0.2
Thermal Conductivity (W/(m·K))	28	30	5
Specific Resistance (μΩ·m)	0.48	1.3	0.57
Magneto-striction λ _{10/400} (x10 ⁻⁶)	0.8	27	7.8
Poisson's ratio	0.32	0.35	0.33

The ANSYS Maxwell program serves as a valuable aid in designing and assessing the performance of both stator and rotor geometries through RMxprt. Various factors come into play during the design process, including the diameters of the stator and rotor, the number of slots, the length of the iron core, the choice of insulation material, winding configurations, the overall size of the PMSG, and the type of material used. In general, the diameter of the machine significantly influences its torque and speed characteristics. Larger diameters tend to generate more torque but at lower speeds, while smaller diameters yield higher speeds with less torque. Adjustments in machine size are necessary as flux density increases, which can affect machine performance and size. However, exceeding the rated flux density can lead to magnetic core saturation, resulting in overheating and potential machine failure. Therefore, careful consideration must be given to cooling requirements when determining the machine's diameter. To mitigate overheating issues and maintain operating temperature limits, lengthening the machine is often necessary. This entails balancing factors such as operating temperature, wire size, torque, and speed, which involves a trade-off between machine length and diameter. Additionally, the design of the machine is heavily influenced by its intended application, with different diameters and lengths requiring specific material considerations. Proper selection of materials and geometric characteristics, such as core dimensions and winding configurations, plays a crucial role in enhancing generator efficiency. This study primarily focuses on identifying the most suitable material for manufacturing a PMSG tailored for wind power applications. The cross-sectional view of the PMSG is illustrated in Figure 2, and detailed specifications are provided in Table 2.

Table 2. Characteristics structure of the permanent magnet alternator

Variables	Features
Power rating	24HP
Voltage	380V
Speed	120 rpm
Frequency	50 Hz
Nominal Power Factor	0.8
Poles	50
Slots	48 mm
Stator outer diameter	500 mm
Stator inner diameter	424 mm
Rotor inner diameter	422 mm
Inner Size of the Rotor	399 mm
Number of winding layers	2
Stator winding type	Whole-coiled
Number of Conductors	26
Total Net Weight	114.525 kg

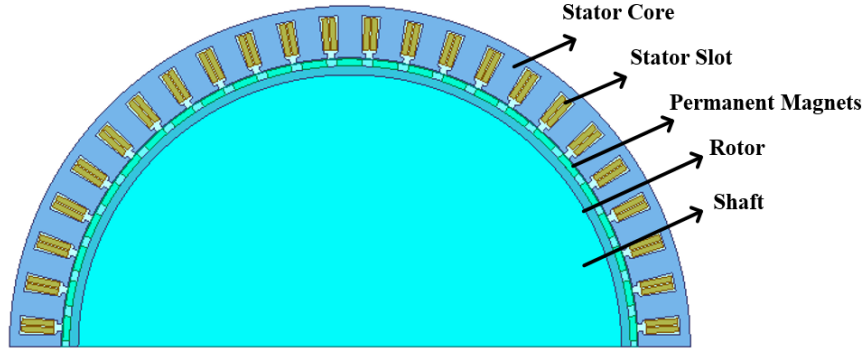


Figure 2. Cross-sectional view of the proposed PMSG.

The mathematical modeling of the proposed PMSG design utilizes direct quadrature equations. To facilitate analysis, expressions for voltages, currents, power, torque, flux, and inductance, as shown in Equations 1 to 6, have been transformed into direct quadrature (d_q) frames (Gencer, 2016).

$$\varphi_{sd} = L_d \cdot i_{sd} + \varphi_m \quad (1)$$

$$\varphi_{sq} = L_q \cdot i_{sq} \quad (2)$$

$$V_{sd} = R_s \cdot i_{sd} + \frac{d\varphi_{sd}}{dt} - \omega_e \cdot \varphi_{sq} \quad (3)$$

$$V_{sq} = R_s \cdot i_{sq} + \frac{d\varphi_{sq}}{dt} - \omega_e \cdot \varphi_{sd} \quad (4)$$

$$P_e = \frac{3}{2} (V_{sd} \cdot i_{sd} + V_{sq} \cdot i_{sq}) \quad (5)$$

$$T_e = \frac{3}{2} p_p (i_q \cdot i_d (L_d - L_q) + \varphi_m \cdot i_q) \quad (6)$$

These equations feature symbols such as V_{sd} and V_{sq} representing stator voltage in the direct-quadrature (d_q) axis, i_{sd} and i_{sq} indicating stator currents in the d_q axis, and φ_{sd} and φ_{sq} representing stator fluxes in the d_q axis. Additionally, L_d and L_q denote the d_q axis inductances, R_s represents stator winding resistance, and ω signifies the angular speed of the alternator. Moreover, Equation 7 illustrates the direct proportionality between the stator's inner diameter and length and the magnetic flux.

$$\phi_g = B_{av} \times \left(\frac{\pi \times D_{si} \times L_s}{p} \right) \quad (7)$$

In this context, the symbol Φ_g represents magnetic flux, while D_s denotes the inner dimension of the stator, and L_s signifies the stator's length (Arumugam et al., 2017).

This study employs the ANSYS/Maxwell program to model and comprehensively analyze a more efficient wind turbine alternator. Utilizing the Finite Element Method (FEM), this program addresses engineering challenges about heat conduction, fluid mechanics, and electrical and magnetic fields. FEM is renowned for its effectiveness in solving electromagnetic field problems. Initially, the problem is subdivided into smaller substructures termed finite elements, a process known as meshing. These substructures are interconnected via nodes and elements. The desired solution is achieved through the interpolation of values at these nodes. Following the completion of the design phase, mesh analysis is conducted on the stator, rotor, and shaft of the PMSG. A computer program is utilized to execute these tasks, employing Maxwell's equations to address design challenges in electrical machinery. These equations, derived from Ampere's law, Faraday's law of induction, Gauss' law for magnetism, and Gauss' law, form the foundation for solving electromagnetic field problems. They offer a superior approach to tackling such challenges. Below are Maxwell's four fundamental equations (Yavuzdeger et al., 2021).

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (8)$$

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (9)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (10)$$

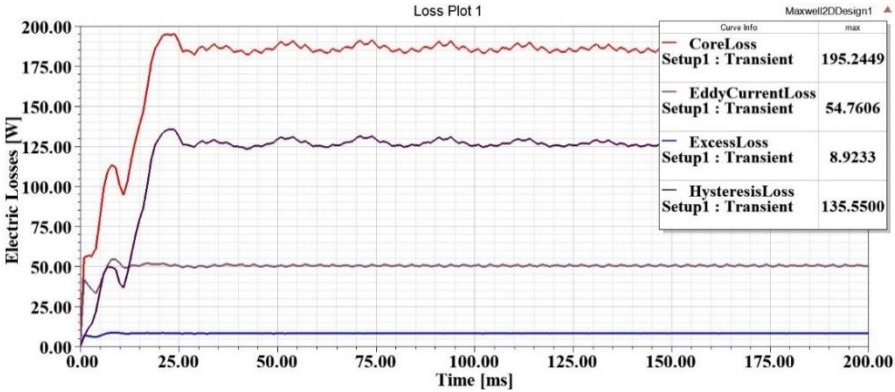
$$\nabla \cdot D = \rho \quad (11)$$

Equation 8, known as Maxwell's law, illustrates Faraday's induction principle, stating that changes in magnetic flux density over time within a surface area induce an electric field with opposite polarity surrounding that area. Equation 9 reveals that electric currents and time-varying electric flux are proportional to the magnitude of the magnetic field surrounding an object. Equation 10 indicates that the total magnetic flux entering a closed surface equals the total flux exiting it. Lastly, Equation 11 asserts that the electric flux through a closed surface area equals the charge density within that area. These equations serve as the foundation for electromagnetic analysis in ANSYS/Maxwell software when examining electric machines.

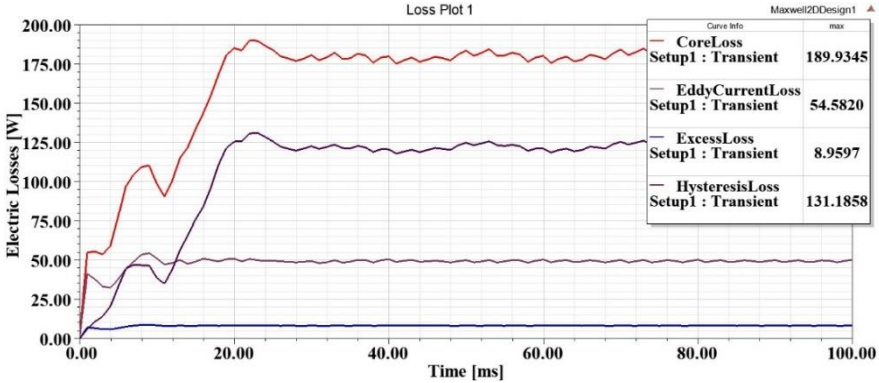
3. Results and Discussions

This section entails conducting finite element analysis (FEA) utilizing ANSYS software to explore material considerations crucial for the design of a 25 HP PMSG. Three different types of materials are evaluated for the core and winding design of a three-phase PMSG to determine the most suitable options. The selection of materials is guided by the characteristics of their respective B-H and B-P curves. Typically, soft magnetic materials are preferred for stator cores to optimize the efficiency, power factor, and torque of the PMSG. The properties of silicon steel are high magnetic permeability, low core losses, good magnetic saturation, and controlled grain orientation. Compared to amorphous metal alloys, silicon

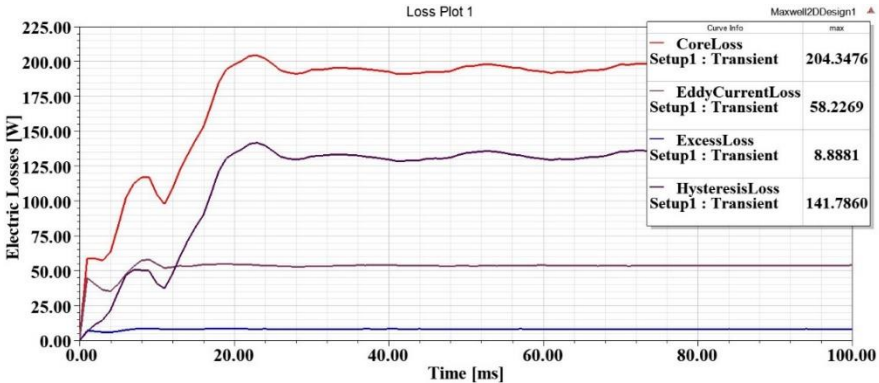
steel typically has higher core losses but is more cost-effective. Silicon steel has lower magnetic permeability compared to ferrite, but it offers lower core losses and higher magnetic saturation. It is a crystalline material, whereas amorphous metal alloys have a non-crystalline atomic structure, resulting in different magnetic properties. Amorphous metal alloys present low core losses, high magnetic permeability, and reduced magnetostriction. Ferrite cores offer high electrical resistivity, low magnetic permeability, and stability over a wide temperature range. Ferrite materials have lower magnetic permeability and higher electrical resistivity compared to silicon steel and amorphous metal alloys. The PMSG undergoes electric performance testing using the ANSYS/Maxwell program to assess its performance. Figure 3 illustrates the core losses incurred by the PMSG during testing.



(a)



(b)



(c)

Figure 3. Core loss analyses of designed PMSG a) silicon steel core type b) amorphous metal alloys core type c) manganese-zinc ferrite core type

The choice of stator core material impacts various performance parameters of the PMSG, including its efficiency characteristics, and overall reliability. Figure 4 presents the electric and mechanical power of the PMSGs with various stator core types.

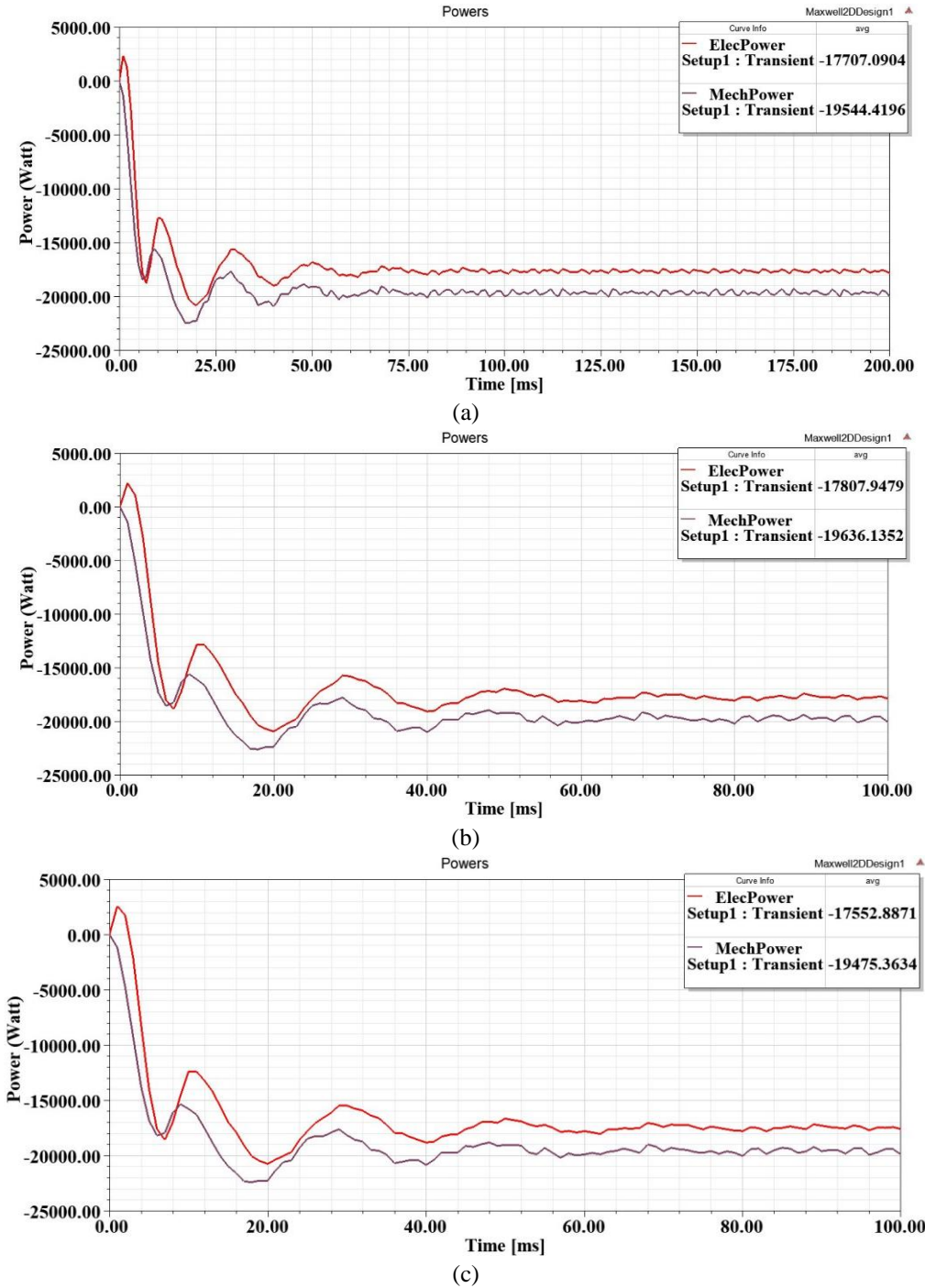


Figure 4. Electric and mechanical power of the PMSGs a) silicon steel core type b) amorphous metal alloys core type c) manganese-zinc ferrite core type

It is observed the core losses in the analysis results. Other losses were neglected to analyze the effective efficiency of the stator cores. As a result of the loss analysis, the performance analysis of the PMSGs with silicon steel, amorphous metal alloys, and manganese-zinc ferrite is presented in the power analysis

given in Figure 4. Amorphous metal alloys offer lower core losses compared to silicon steel and ferrite materials, making them highly efficient for wind power applications. The analysis results present that Amorphous metal alloys have a non-crystalline atomic structure, which contributes to their good magnetic properties and low core losses. The ferrite materials have higher core losses than amorphous metal alloys and silicon steel.

4. Conclusion

Accurate design and careful material selection are pivotal in generators that deliver high performance while remaining cost-effective. This research delves into the impact of diverse core materials on Permanent Magnet Synchronous Generators (PMSGs) and explores strategies for enhancing their efficiency through a materials-oriented approach. Through detailed case studies conducted via ANSYS software, the optimal pairing of core and winding materials is scrutinized with the goal of efficiency enhancement. The outcomes of these case studies are meticulously compared against predetermined PMSG parameters and scrutinized utilizing ANSYS Maxwell 2D software tools.

In this study, the examination of loss analysis yielded insights into the performance of PMSGs employing different core materials, including silicon steel, amorphous metal alloys, and manganese-zinc ferrite. Notably, it is observed that amorphous metal alloys exhibit superior efficiency due to their significantly lower core losses compared to silicon steel and ferrite materials. Conversely, ferrite materials demonstrate higher core losses when compared to both amorphous metal alloys and silicon steel, highlighting the importance of material selection in optimizing PMSG performance.

Conflict of Interest Declaration

The author has no conflicts of interest to declare.

Researchers' Contribution Rate Declaration Summary

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

References

- Abdelateef Mostafa M., El-Hay EA., ELkholy MM. Recent trends in wind energy conversion system with grid integration based on soft computing methods: comprehensive review, comparisons and insights. *Archives of Computational Methods in Engineering* 2023; 30(3): 1439-1478.
- Arumugam D., Logamani P., Karuppiyah S., Thangaraj B. Performance evaluation of PMSG for aircraft applications. *Energy Procedia* 2017; 117: 385–392.
- Bakbak A., Canseven HT., Ayaz M., Altıntaş M., Meşe E. Maximizing energy extraction from direct grid coupled PMSG for wind energy conversion systems. *IEEE Transactions on Industry Applications* 2022; 58(3): 3888-3900.

- Gencer A. Modelling and control of permanent magnet synchronous generator based on three level NPC using fuzzy PI. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering* 2018; 6(3): 172–177.
- Gencer A. Modelling and analysis of operation PMSG based WECS under different load conditions, *Electronics Computers and Artificial Intelligence (ECAI) 2016 8th International Conference*, 30 June -02 July 2016, Page no: 1-6, Ploiesti, Romania.
- Kumar RR., Singh SK., Srivastava RK., Vardhan ASS., Elavarasan RM., Saket RK., Hossain E. Modeling of airgap fluxes and performance analysis of five-phase permanent magnet synchronous generator for wind power application. *IEEE Access* 2020a; 8: 195472-195486.
- Kumar RR., Devi P., Chetri C., Vardhan ASS., Elavarasan RM., Mihet-Popa L., Saket RK. Design and characteristics investigation of novel dual stator pseudo-pole five-phase permanent magnet synchronous generator for wind power application. *IEEE Access* 2020b; 8: 175788-175804.
- Li Z., Ma Y., Hu A., Zeng L., Xu S., Pei R. Investigation and application of magnetic properties of ultra-thin grain-oriented silicon steel sheets under multi-physical field coupling, *Materials* 2022; 15(23): 8522.
- Mahmoud MM., Aly MM., Abdel-Rahim AMM. Enhancing the dynamic performance of a wind-driven PMSG implementing different optimization techniques. *SN Applied Sciences* 2020; 2: 1-19.
- Mellah H., Hemsas KE. Simulations analysis with comparative study of a PMSG performances for small WT application by FEM. *International Journal of Energy Engineering* 2013; 3(2): 55-64.
- Okedu K. Investigating permanent magnet synchronous generator wind turbine performance during low voltage using series and bridge type fault current limit. *Electrica*. 2023; 23(2): 212–221.
- Özmen T., Onat N. The effects of magnetic circuit geometry and material properties on surface mounted permanent magnet synchronous generator performance. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering* 2021; 9(2): 99-105.
- Palanimuthu K., Mayilsamy G., Lee SR., Jung SY., Joo YH. Comparative analysis of maximum power extraction and control methods between PMSG and PMVG-based wind turbine systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 2022; 143: 108475.
- Perin D., Karaoglan AD., Yilmaz K. Rotor design optimization of a 4000 rpm permanent magnet synchronous generator using moth flame optimization algorithm. *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications (IJOCTA)* 2024; 14(2): 123–133.
- Tazi K., Abbou MF., Abdi F. Performance analysis of micro-grid designs with local PMSG wind turbines. *Energy Systems* 2020; 11: 607-639.
- Thakur P., Chahar D., Taneja S., Bhalla N., Thakur A. A review on MnZn ferrites: Synthesis, characterization and applications. *Ceramics International* 2020; 46(10): 15740-15763.
- Yavuzdeger A., Esenboga B., Ekinçi F., Demirdelen T. Design and finite element analysis of permanent magnet synchronous generator for wind turbine application. *Numerical Methods for Energy Applications* 2021; 823-845.

Zhang DW., Zhang Y., Cai YF., Zang BW., Zhao F., Wang YC., Umetsu R., Li ZZ., Tong X., Huo JT., Che SL., Wang JQ. Magnetic properties evaluation of Fe-based amorphous alloys synthesized via spark plasma sintering. *Journal of Non-Crystalline Solids* 2023; 613: 122373.



Regresyon Modeli Kullanılarak Aracı Değişken Analizi: Tarım Verilerinde Uygulaması

Nilay KÖLEOĞLU^{1*}, Şenol ÇELİK²

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Biga İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İşletme Bölümü Sayısal Yöntemler ABD, Çanakkale

²Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü Biyometri ve Genetik ABD, Bingöl

¹<https://orcid.org/0000-0002-6153-719X>

²<https://orcid.org/0000-0001-5894-8986>

*Sorumlu yazar: nkoleoglu@comu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 11.02.2024

Kabul tarihi: 10.06.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Regresyon analizi

Aracı değişken

Üretim değeri

Üretim miktarı

Tarım alanı

ÖZ

Günlük hayatta araştırılması düşünülen değişkenler arasındaki ilişkiler, genellikle bir tahminci ve sabit arasındaki basit iki değişkenli ilişkilerden daha karmaşık olarak ortaya çıkarlar. Bu ilişkiler araştırma tasarımına aracı (mediation) değişken ismi verilen üçüncü bir değişkenin eklenmesiyle değiştirilebilir veya bu değişkenin eklenmesiyle farklı bir model olarak şekillenebilir. Bu araştırmanın amacı; Türkiye’de 2021 yılında 81 ilde bitkisel üretim miktarı ile bitkisel üretim değeri değişkenleri arasındaki ilişkide tarım alanı değişkeninin aracılık etkisini tespit etmektir. Veriler basit ve çoklu doğrusal regresyon analizi ile analiz edilmiştir. Çalışmanın bulguları bitkisel üretim miktarı (ÜM) ile bitkisel üretim değeri (ÜD) arasındaki ilişkide, tarım alanının (AL) aracılık rolünün olmadığını ortaya koymuştur.

Mediating Variable Analysis Using Regression Model: Application to Agricultural Data

Research Article

Article History:

Received: 11.02.2024

Accepted: 10.06.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

Regression analysis

Mediator variable

Production value

Production amount

Agriculture area

ABSTRACT

Relationships between variables that are considered to be investigated in daily life often emerge as more complex than simple bivariate relationships between an estimator and a constant. These relationships can be changed by adding a third variable called the mediation variable to the research design, or they can be shaped as a different model by adding this variable. The purpose of this research is to determine the mediating effect of the agricultural area variable in the relationship between the amount of crop production and crop production value variables in 81 provinces in Turkey in 2021. Data were analyzed by simple and multiple linear regression analysis. The findings of the study revealed that agricultural area (AL) does not have a mediating role in the relationship between crop production amount (UM) and crop production value (MS).

To Cite: Köleoğlu N., Çelik Ş. Regresyon Modeli Kullanılarak Aracı Değişken Analizi: Tarım Verilerinde Uygulaması.. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(5): 2232-2243.

1. Giriş

Aracılık modelleri; psikoloji ve diğer sosyal bilim disiplinlerinin araştırmalarında kullanıldığı gibi fen ve tıp bilim dallarında da sıklıkla kullanılmaktadır. Aracılık; bağımsız bir değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisinin, aracı adı verilen üçüncü bir değişken aracılığıyla iletildiğini gösterir. Uygulamalı araştırmaların çoğunda aracı etkiyi test etmek amacıyla pek çok yaklaşım kullanılmıştır (Wen ve Ye, 2014).

Arabuluculuk analizine yönelik yöntemler; günümüzde kullanıldığı şekilde tanımlanmasa da, yirminci yüzyılın başlarında ortaya çıkmıştır. Daha yakın zamanlarda, daha iyi nedensel çıkarım için aracılık

yöntemleri üzerine inşa edilmiş ve geliştirilmiş çok sayıda araştırma bulunmaktadır (Carter ve ark., 2021).

Aracılık etkisinin istatistiksel olarak analiz edilmesinin; bilim insanlarının nedensel olduğu düşünülen süreçleri araştırmasında yardımcı olmak için önemli bir araç olduğu söylenebilir. Araştırmacıların etkilerinin yalnızca şansa bağlı olup olmadığını (yani istatistiksel anlamlılığa ulaşıldı mı?) değil, aynı zamanda etki boyutlarının büyüklüğünü ve bunların teori veya pratikle ne derece alakalı olduğunu da dikkate almaları önem taşımaktadır. Bu noktada aracılık etkileri için etki büyüklüklerinin uygulanmasında bazı sınırlamaları söz konusu olabilir. Bunlardan ilki; hemen hemen her etki boyutunda olduğu gibi, araştırma bağlamına bağlı olarak nispeten küçük etki boyutları ciddi anlamda önemli olabilirken, nispeten büyük olanlar önemsiz olabilir. Yüksek miktardaki araştırmalarda nesnel olarak küçük bir etki, bilim camiası tarafından çok önemli görülebilirken, diğer alanlarda nesnel olarak büyük bir etki kayda değer bir düzeye ulaşmayabilir. Bu nedenle araştırmacılar, etki büyüklüğü ölçümlerini keyfi ölçütlere göre katı bir şekilde yorumlanmamasına dikkat etmelidir (Preacher ve Kelley, 2011). İkinci olarak, araştırmacılar, etki büyüklüğünün pratik önemini belirlerken araştırma bağlamını, veri toplama maliyetini, sonuç değişkeninin önemini ve sonuçların olası etkisini göz önünde bulundurmalıdır. Kullanılan belirli araştırma tasarımının ötesinde genelleme yapmaktan kaçınılmalı ve istatistiksel varsayımların ihlal edilmediğinden emin olmak için tanısal kontroller yapılmalıdır. Etki büyüklüklerinin, büyüklükleri hakkında gereksiz yorumlar yapılmadan raporlanması ve gerekirse birden fazla etki büyüklüğü ölçüsünün kullanılması önerilir (Thompson, 2002). Üçüncü olarak, aykırı değerler ve varsayım ihlalleri, etki büyüklüğü tahminlerini, p-değerlerini ve güven aralıklarını tehlikeye atabilir. Araştırmacılar, varsayım ihlallerini kontrol ederek sonuçlarının geçerliliğini ve doğruluğunu sağlayabilirler (Wilcox, 2005). Dördüncüsü, araştırmalarda farklı etki büyüklükleri kullanılırken göz önünde bulundurulması gereken bazı sınırlamalar arasında, nispeten küçük etki büyüklüklerinin araştırma bağlamına bağlı olarak yine de önemli olabileceği ve etki büyüklüğü ölçümlerini keyfi ölçütlere göre katı bir şekilde yorumlamaktan kaçınılması gerektiği yer almaktadır. Araştırmacılar, raporlamak istedikleri etkilerin en önemli yönlerini göz önünde bulundurarak ve bu yönleri ele alan etki büyüklüğü ölçümlerini seçerek belirli bir bağlamda sonuçları iletmek için en uygun etki büyüklüğünü belirlemelidir (Preacher ve Kelley, 2011).

Aracı değişkenle ilgili olarak literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır. Korkut vd. (2005) karlılığı etkileyen performans ile bütünleşik pazarlama iletişimi bileşenlerinin arasındaki aracı değişkenleri analiz etmişlerdir. Demirkaya ve Kandemir-Şimşek (2014) çalışmalarında örgütsel güven ile örgütsel adalet değişkeni arasındaki aracı değişkeni incelemişlerdir. Bir diğer çalışmada ise Altaş (2019) örgütsel desteğin duygusal bağlılık ve iş tatmini üzerindeki aracı değişken etkisini incelemiştir. Bartone ve Homish (2020) savaş gazileri üzerinde yaptıkları bir çalışmada dayanıklılığın, kaçınma başa çıkmanın aracılık ettiği depresyon üzerinde anlamlı bir etkisinin olup olmadığını aracılık modeli ile incelemişlerdir. Sağlık alanında yapılan bir çalışmada (Ohrnberger ve ark 2017), yaşam tarzı seçimlerini ve sosyal sermayeyi aracılık çerçevesinde kullanılarak geçmiş ruh sağlığının mevcut fiziksel sağlık

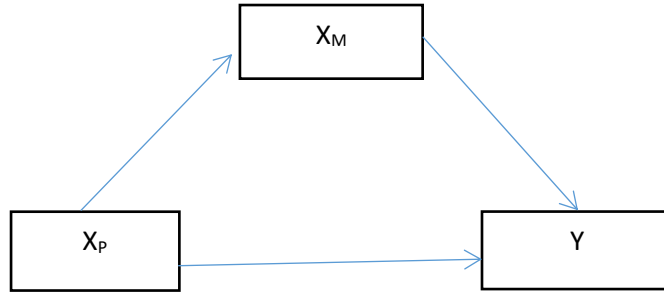
üzerindeki ve geçmiş fiziksel sağlığın mevcut ruh sağlığı üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkileri analiz etmişlerdir. Wang ve ark. (2022) fen bilimleri alanında yaptıkları bir çalışmada, mevsimsel değişimlerde arazi kullanımı-örtü değişimi ile enerji tüketimi arasındaki ilişkide arazi yüzey sıcaklığının aracılık etkisini incelemişlerdir.

Bu araştırmanın amacı; Türkiye’de 2021 yılında 81 ilde bitkisel üretim miktarı ile bitkisel üretim değeri değişkenleri arasındaki ilişkide tarım alanı değişkeninin aracılık etkisini ortaya koymaktır.

2. Materyal ve Metot

Aracılık analizi, bağımsız değişkenin etkilerini azaltmak için bağımlı değişkenle arasındaki ilişkiye hangi faktörlerin aracılık ettiğini bazı araçları modele alarak belirleyebilir.

Aracılık analizi ayrıca, aracı faktörlerin de bu müdahaleye cevap verememesi durumunda, bir maruziyete göre hareket etmenin, sonucu değiştirmede yalnızca sınırlı etkililiğe sahip olacağı durumları da belirleyebilir.



Şekil 1. X'in Y Üzerindeki Doğrudan ve Dolaylı Etkilerin Gösterimi. Açıklayıcı Değişken (X_p), Aracı Değişken (X_m) ve Bağımlı Değişken (Y).

Bir bağımsız değişkenin var olan araçlar yoluyla olan etkileri de dahil olmak üzere bağımlı değişken üzerindeki nedensel etkisi, bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki “toplam” etkisidir. Bu etki iki kısma ayrılabilir. İlki birincil bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki “doğrudan” etkisidir. Şekil 1'de görüldüğü gibi bu durum, X_p 'ten Y 'ye okla temsil edilen, modelde yer alan araçlar aracılığıyla hareket etmeyen birincil etkidir. Diğerisi ise, bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisi olan ve yalnızca modele dahil edilen araçlar aracılığıyla görülen “dolaylı” etkidir (Sanderson, 2021).

Aracılık, iki yapı arasındaki ilişkinin sabit olmadığı, ancak “aracı değişken” olarak adlandırılan üçüncü bir değişkenin değerlerine bağlı olduğu bir durumu tanımlar. Aracı değişken (veya yapı), bir modeldeki iki yapı arasındaki ilişkinin gücünü ve hatta yönünü değiştirir. Araçlar, yapısal modellerde farklı şekillerde bulunabilir. Araçlar tek bir madde veya birden fazla madde ile yansıtıcı veya biçimlendirici göstergeler kullanılarak ölçülebilir. Ancak en önemli farklılık, kategorik (tipik olarak ikili) ve sürekli

aracilar arasında ayrim yapmayi iceren aracilarin olcüm ölçeğiyle ilgilidir (Hair ve ark., 2021). Yaptığımız çalışmada bu kritik noktalar göz önünde bulundurularak değişken seçimi yapılmıştır.

Araştırmada Türkiye İstatistik Kurumu 2021 yılına ait veriler kullanılmıştır (TÜİK, 2021). Araştırmanın değişkenleri; 81 ildeki bitkisel üretim değeri (bin TL), tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin üretim miktarı (ton) ve toplam işlenen tarım alanlarıdır (hektar).

Kullanılan değişkenlerden, bağımlı değişken (Y) bitkisel üretim değeri, bağımsız değişken (X_p) tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin üretim miktarı olurken, aracı değişken (X_M) ise toplam işlenen tarım alanı (hektar) değişkeni seçilmiştir. Burada aracı değişkenin (X_M), X_p ile Y arasındaki ilişkide aracılık etkisinin olup olmadığı araştırılacaktır. X_M 'nin aracı değişken olup olmadığını tespit etmek gerekir. Bazı ön şartlar sağlanmalıdır. Bunlar;

- 1- Model kurulmadan önce X_p 'in Y üzerinde anlamlı bir etkisi olmalıdır. Basit regresyon modeli kurularak bu etki belirlenebilir.
- 2- X_p 'in X_M üzerinde anlamlı bir etkisi olmalıdır. Bu etki basit regresyon analizi ile araştırılır.
- 3- X_p ve X_M 'nin Y üzerinde birlikte etkisi dikkate alındığında, X_M 'nin Y üzerinde anlamlı bir etkisi olmalıdır (çoklu regresyon analizi ile belirlenebilir).
- 4- Değişkenlerin tamamı, eşit oranlı veya eşit aralıklı ölçme düzeyinde olmalıdır.
- 5- Değişkenlerin tamamı normal dağılıma sahip olmalıdır.
- 6- Değişkenlerin arasında doğrusal ilişki olmalıdır.

Verilerin çözümlenmesinde basit ve çoklu doğrusal regresyon analizi uygulanmıştır. Analize başlamadan önce çoklu doğrusal regresyon analizinin varsayımları test edilmiştir. Çoklu doğrusal regresyon analizinin normallik ve doğrusallık varsayımlarının sağlandığı görülmüştür. Veri analizinde veriler aykırı değer açısından incelenmiş. Tolerans ve VIF (Varyans büyütme faktörü) değerlerinin kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu saptanmıştır.

VIF değeri bir açıklayıcı değişken için,

$$VIF = \frac{1}{1 - R_i^2}$$

şekindedir (Farrar ve Glauber, 1967). İncelenen modelde kaç tane açıklayıcı değişken varsa o kadar VIF değeri olacaktır (Güriş ve Çağlayan, 2010).

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon_i$$

şeklindeki bir çoklu doğrusal regresyon modelinde belirlilik katsayısı $R_{Y, X_1, X_2, \dots, X_p}^2$ olarak ifade edilir. P tane VIF değeri

$$VIF_1 = \frac{1}{1 - R_{X_1, X_2, \dots, X_p}^2}$$

$$VIF_2 = \frac{1}{1 - R_{X_2, X_1, \dots, X_p}^2}$$

...

$$VIF_p = \frac{1}{1 - R_{X_p, X_1, \dots, X_{p-1}}^2}$$

olarak hesaplanır. Değişkenler arasındaki otokorelasyon durumu Durbin-Watson katsayısı ile belirlenir. Durbin-Watson d istatistiği

$$d = \frac{\sum_{t=2}^n (\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n \varepsilon_t^2}$$

şeklinde tanımlanır (Gujarati ve Porter, 2009). Otokorelasyon için eşik değer olarak 1,5-2,5 aralığı kabul edilir (Field, 2009).

3. Bulgular ve Tartışma

Bu araştırmanın verileri arasındaki korelasyon değerleri 0,605-0,801 aralığında değişmektedir. Çoklu bağlantılılık durumu için regresyon analizi kapsamında VIF ve tolerans değerleri incelenmiştir. Çoklu bağlantılılık varsayımı için önce değişkenler arasında Pearson korelasyon katsayısı ile incelenir. Çokluk ve ark. (2012)'a göre değişkenler arasında 0.90 ve üzeri korelasyon ilişkisinin olması çoklu bağlantı probleminin neden olur. Çoklu bağlantılılık durumunu tespit etmek için ayrıca regresyon analizi kapsamında VIF ve tolerans değerleri incelenir. Analiz sonuçları değişkenlerin Varyans Büyütme Faktörü (VIF) değerlerinin 10'un altında, tolerans değerinin de eşik değer kabul edilen 0,10'nun üstünde olması gerekir (Tabachnick, 2007).

Analiz sonuçları değişkenlerin VIF değerlerinin ikisinin de 2,795 olduğu ve aşılmaması gereken eşik olarak kabul edilen 10 değerinin oldukça altında olduğunu göstermiştir. Benzer şekilde Tolerans değerinin de eşik değer kabul edilen 0.10'nun oldukça üstünde, 0,358 olduğu görülmüştür. Ayrıca verilerin normal dağılıma uygun olup olmadığı da Kolmogorov-Smirnov testi ile irdelenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Kolmogorov-Smirnov, otokorelasyon ve çoklu bağlantılılık testi sonuçları

Değişkenler	Kolmogorov-Smirnov istatistiği	sd	p	Koşul indeksi	Tolerans	VIF
UD	0,085	81	0,200	1,000		
UM	0,083	81	0,200	2,366	0,358	2,795
AL	0,087	81	0,197	4,614	0,358	2,795

UD: Üretim değeri, UM: Üretim miktarı, AL: Tarım alanı, sd: Serbestlik derecesi

Tablo 1'de görüldüğü gibi, Kolmogorov-Smirnov testine göre değişkenlerin test istatistikleri 0,083-0,087 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Önemlilik değerleri üretim miktarı (UM), tarım alanı (TA) ve üretim değeri (UD) için sırasıyla $p=0,200 > 0,05$, $p=0,200 > 0,05$ ve $p=0,197 > 0,05$ olup, istatistiksel olarak önemsizdir ve veriler normal dağılıma uygundur. Değişkenler arasındaki otokorelasyon durumu Durbin-Watson katsayısı ise 1,899 olarak bulunmuş ve eşik değer aralığı olarak kabul edilen 1,5-2,5 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla modelde otokorelasyon sorunu bulunmamaktadır.

Bu açıklamalardan sonra X_p ' in X_M aracı değişken üzerinden Y değişkeni üzerindeki etkisi belirlenebilir. Adım adım verilen bu işlemler aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

1) X 'in Y üzerinde anlamlı etkisi

X_p : Tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin üretim miktarı, Y: Bitkisel üretim değeri

X_p değişkeninin Y bağımlı değişkeni üzerindeki etkisini araştıran basit regresyon analizi sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. X ve Y değişkenleri arasındaki regresyon analizi sonuçları

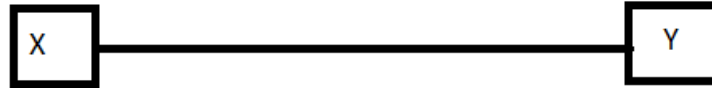
Değişkenler	B	Std. Hata	Beta	t	P
Sabit	1839141,57	473527,369		3,884	0,001
X	1,291	0,191	0,605	6,749	0,001

Tablo 2'de verilen basit doğrusal modeli sonucunda X_p değişkeninin Y üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmaktadır ($t=6,749$ ve $p<0,001$). Regresyon katsayısı $b=1,291$, standart hata= $0,191$ ve standartlaştırılmış regresyon katsayısı olan beta değeri= $0,605$ olarak hesaplanmıştır. Modelin genel anlamlılığı da incelenmiştir. Sonuçlar $F=45,544$ ve $p<0,001$ olduğundan model istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Bu durum Şekil 1'de net olarak sunulmuştur (Model 1).

Modele ait eşitlik

$$Y = 1839141,57 + 1,291X$$

şeklinde ifade edilmektedir. Modele ait belirleme katsayısı $R^2 = 0,366$ olarak hesaplanmıştır.



$$\beta = 0,605, b = 1,291 \pm 0,191, p = 0,001$$

Şekil 1. Model 1'e ait bilgiler

2) X_p 'in X_M üzerinde anlamlı etkisi

X_p : Tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin üretim miktarı, X_M : Toplam işlenen tarım alanı.

X_p değişkeninin X_M üzerindeki etkisini araştıran basit regresyon analizi sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

X_M aracı değişkeni burada bağımlı değişken gibi düşünülerek analiz edilmiştir.

Tablo 3. X ve M değişkenleri arasındaki regresyon analizi sonuçları

Değişkenler	B	Std. Hata	Beta	t	p
Sabit	80312,32	22807,12		3,521	0,001
X	0,11	0,009	0,801	11,907	0,001

Tablo 3'te verilen basit doğrusal regresyon modeli sonucunda X_P değişkeninin X_M aracı değişkeni üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmaktadır ($t=3,521$ ve $p<0,001$). Regresyon katsayısı $b=0,11$, standart hata= $0,009$ ve $\beta=0,801$ elde edilmiştir. Modelin genel anlamlılığı sonucunda, $F=141,782$ ve $p<0,001$ olduğundan model istatistiksel olarak önemlidir.

Modele ait eşitlik

$$M = 80312,32 + 0,11 X$$

şeklinde ifade edilmektedir. Modele ait belirleme katsayısı $R^2 = 0,642$ bulunmuştur.

3) X_P ve X_M 'nin Y 'ye etkisi

X_P bağımsız değişkeni ile X_M aracı değişkeninin Y bağımlı değişkeni üzerindeki etkisi belirlemek için çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Çoklu regresyon analizi sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. X ve M 'nin Y üzerindeki etkisinin çoklu regresyon analizi

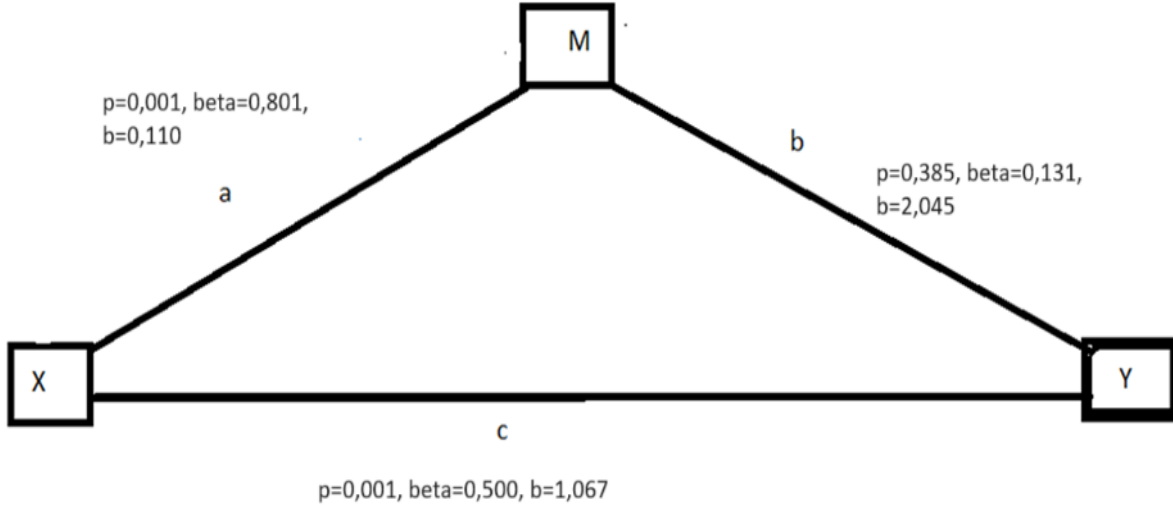
Değişkenler	B	Std. Hata	Beta	t	p
Sabit	1674927,53	510099,289		3,284	0,002
X_P	1,067	0,32	0,5	3,33	0,001
X_M	2,045	2,339	0,131	0,874	0,385

Tablo 4 incelendiğinde çoklu doğrusal modeli sonucunda X_P değişkeninin Y değişkeni üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmuştur ($t=3,33$ ve $p<0,001$). X_M 'nin ise Y üzerindeki etkisi istatistiksel olarak önemsizdir ($t=0,874$ ve $p>0,05$). Modele ait X_P için regresyon katsayısı $b=1,067$, standart hata= $0,32$ ve $\beta=0,5$ iken X_M için regresyon katsayısı $b=2,045$, standart hata= $2,339$ ve $\beta=0,131$ elde edilmiştir. Modelin genel anlamlılığı sonucunda, $F=23,086$ ve $p<0,001$ olduğundan model istatistiksel olarak önemlidir.

Şekil 2'de doğrudan etki ve dolaylı etkiler de verilmiştir (Model 2). Model 2'ye ait regresyon eşitliği

$$Y = 80312,32 + 1,067 X + 2,045 M$$

şeklindedir.



Şekil 2. Model 2'ye ait bilgiler

Şekil 2'de görüldüğü gibi X_P 'den X_M 'ye giden değişken istatistiksel olarak anlamlıdır ($p < 0,001$). Ancak X_M 'den Y'ye giden değişken anlamlı değildir. Bu nedenle, X_P üzerinden X_M 'ye, X_M 'den de Y'ye giden dolaylı bir etki yoktur. Dolayısıyla aracı değişken X_M (tarım alanı) önemli bir aracı rolü oluşturamamıştır. X_P 'den Y'ye olan etki doğrudan etki olup, bu doğrudan etki istatistiksel olarak önemlidir. X_P ve X_M birlikte ele alındığında X_P 'in Y üzerindeki doğrudan etkisi önemli bulunmuştur. İlk önce sadece X_P ile Y arasında regresyon yapıldığında X_P 'in etkisi önemli iken, X_P ve X_M 'nin birlikte Y'nin üzerine regresyon uygulandığında X_P 'in etkisi önemli ancak X_M 'nin etkisi önemsiz bulunmuştur. X_P 'in Y üzerindeki doğrudan önemliliği ortadan kalkmamış ve devam etmiştir. Fakat X_M 'nin Y üzerindeki etkisi önemsiz olduğundan X_M değişkeninin aracı rolü olmadığı söylenebilir. Standardize edilmiş β (Beta) katsayıları incelendiğinde ilk modelde yani X_P ve Y arasında bir başka deyişle tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin üretimi ile bitkisel üretim değeri arasında $\beta=0,605$ iken, ikinci modelde X_P ve X_M 'nin Y'ye etkisi yani tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin üretimi ve tarım alanının üretim değerine etkisi 0,5 olup, ikinci modelde β değeri azalmıştır. Standardize olmayan değerler (regresyon katsayıları-b) incelendiğinde ilk modelde $b=1,291$, ikinci modelde $b=1,067$ olmuştur. İkinci modelde regresyon katsayısı (b) değeri azalmıştır. İkinci modelde X_M 'nin (tarım alanı) Y (üretim değeri) üzerindeki etkisiz olduğu için X_M 'nin aracılık etkisinin olmadığı saptanmıştır. X_P üzerinden gelen ve X_M üzerinden geçen bir etki Y'ye ulaşmayacaktır. Burada doğrudan etki üzerinden işlem devam etmiş ve X_M değişkeni aracı değişken olmamıştır. Bir başka deyişle tarımda bitkisel üretim değeri üzerinde işlenen tarım alanı aracı değişken olamamıştır. Yani işlenen tarım alanı değişkeninin aracılık rolü olmadığı ortaya çıkmıştır. Adım 1'de üretim miktarın, üretim değerindeki değişimin %36,6'sını açıklamaktadır. Modelin genel anlamlılığı testinde $F=45,544$ ve $p < 0,001$ olduğundan modelin uygun olduğu görülmektedir. Adım 2 ve Adım 3'teki modellerin belirleme katsayıları sırasıyla 0,642 ve 0,372 bulunmuştur. Aracı değişkenin kullanıldığı regresyon modelleri çalışmalarından birinde, benlik kurgusunun romantik ilişki doyumunu anlamlı derecede açıklarken, yetişkin ayrılma anksiyetesi romantik ilişki doyumunu anlamlı derecede

açıklamamıştır ve $R^2=0,05$ elde edilmiştir (Özolcar, 2023). Bu çalışmada elde edilen belirleme katsayısı daha yüksektir. Bir diğer çalışmada, kamu yararına bağlılığın iş tatmini üzerindeki etkisinde kişi-örgüt uyumunun aracı değişken rolü incelendiğinde, kişi-örgüt uyumu ve iş tatmininin çıktı değişkeni olduğu modellerde belirleme katsayıları sırasıyla 0,1771 (%17,71) ve 0,3607 (%36,07) bulunmuştur (Gürsel, 2022). Yine bu çalışmada elde edilen belirleme katsayıları daha yüksektir. Odacı ve Berber Çelik (2017)'in, yalnızlık değişkeninin aracı rolünü belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmasında kendilik algısı değişkeninin saldırganlık toplam varyansının %1,2'sini ($R^2=0,012$) açıkladığı daha sonra yalnızlık değişkeninin yordamaya katılmasıyla, saldırganlık üzerinde açıklanan toplam varyans %8,3'e ($R^2=0,083$) yükselmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçtan daha düşük belirleme katsayısı değerleri elde edilmiştir. Aracılık ilişkisini gösteren bir diğer çalışmada, affetmenin akılcı olmayan inanç ile öz-anlayış arasındaki ilişkide aracılık etkisinin olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan regresyon analizi sonucunda $R^2=0,027$; akılcı olmayan inançların affetme ile birlikte öz-anlayış düzeylerinde gözlenen varyansı %43,2 açıklamıştır ($R^2=0,432$). Kendini affetmenin akılcı olmayan inanç ile öz-anlayış arasındaki ilişkide aracılık etkisinin olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan regresyon analizi sonucunda $R^2=0,048$ iken, akılcı olmayan inançların kendini affetme ile birlikte öz-anlayış düzeylerinde gözlenen varyansı %45,1 açıklamıştır (Kılıç ve Tunç, 2020). Bu çalışmaya ait belirleme katsayılarından farklıdır. Tüm bu anlatılanlar Tablo 5'de bir arada sunulmuştur.

Tablo 5. Tahıllar, bitkisel ürünler üretim miktarı ile üretim değeri ilişkisinde tarım alanının aracılık rolüne ilişkin regresyon analizi sonuçları

	Değişkenler	B	Std. Hata	Beta	t	P
Adım 1	Sabit	1839141,57	473527,369		3,884	0,001
ÜD (bağımlı değişken-Y)	X: ÜM	1,291	0,191	0,605	6,749	0,001
$r = 0.605, R^2 = 0,366, F = 45,544$						
Adım 2	Sabit	80312,32	22807,12		3,521	0,001
AL (bağımlı değişken-M)	X: ÜM	0,11	0,009	0,801	11,907	0,001
$r = 0,801, R^2 = 0,642, F = 141,782$						
Adım 3	Sabit	1674927,53	510099,289		3,284	0,002
ÜD (bağımlı değişken-Y)	X	1,067	0,32	0,5	3,33	0,001
ÜM (bağımsız değişken)	X	1,067	0,32	0,5	3,33	0,001
AL (aracı değişken)	M	2,045	2,339	0,131	0,874	0,385
$r = 0,610, R^2 = 0,372, F = 23,086$						

UD: Üretim değeri, UM: Üretim miktarı, AL: Tarım alanı.

Y (üretim değeri) üzerinde X_P (üretim miktarı) ve X_M (tarım alanı) değişkenlerinin doğrudan ve dolaylı etkileri söz konusudur. Model 2’de ayrıntılı olarak gösterilen bu etkiler aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\text{Dolaylı etki} + \text{Doğrudan etki} = \text{Toplam etki}$$

$$a.b + c = ab + c$$

Dolaylı, doğrudan ve toplam etki değerleri hesaplanmış ve Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Dolaylı, doğrudan ve toplam etki

Parametre	Dolaylı etki ($a.b$)	Doğrudan etki (c)	Toplam etki ($ab + c$)
b	$b = 0,110 * 2,045 = 0,225$	1,067	1,292
β	$\beta = 0,801 * 0,131 = 0,105$	0,500	0,605

Dolaylı ve doğrudan etkinin toplam etki içindeki oranı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{dolaylı etki (\%)} = \frac{a.b}{ab + c}$$

Gerek standardize edilmiş olan gerekse standardize olmayan katsayılar üzerinden hesaplandığında aynı sonuca ulaşılır.

$$\text{dolaylı etki (\%)} = \frac{a.b}{ab + c} = \frac{0,225}{0,225 + 1,067} = \frac{0,225}{1,292} = 0,174$$

veya

$$\text{dolaylı etki (\%)} = \frac{a.b}{ab + c} = \frac{0,105}{0,105 + 0,500} = \frac{0,105}{0,605} = 0,174$$

Hesaplanan dolaylı etki %17,4’tür.

Y değişkeni üzerindeki dolaylı etkinin %17,4’ü aracı etki üzerinden sağlamıştır.

Doğrudan etki ise $100 - 17,4 = 82,6$ yani $1 - 0,174 = 0,826$ ’dır.

Aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\text{doğrudan etki (\%)} = \frac{c}{ab + c} = \frac{1,067}{0,225 + 1,067} = \frac{1,067}{1,292} = 0,826$$

veya

$$\text{doğrudan etki (\%)} = \frac{c}{ab + c} = \frac{0,500}{0,105 + 0,500} = \frac{0,500}{0,605} = 0,826$$

Doğrudan etki %82,6’dır.

4. Sonuç

Çalışmada yapılan analizler sonucunda bitkisel ürünler üretim miktarı (X_P) ve bitkisel üretim değeri (Y) değişkenleri arasında tarım alanı (X_M) değişkeninin aracı değişken olmadığı tespit edilmiştir. Bitkisel üretim değeri üzerindeki dolaylı etkinin %17,4’ü aracı etki üzerinden sağlamıştır. Yani bitkisel üretim değeri üzerindeki dolaylı etkinin %17,4 ve doğrudan etkinin %82,6 olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmanın diğer önemli bir sonucu da, bitkisel ürünler üretim miktarı ile bitkisel üretim değeri arasında

olumlu bir ilişkinin bulunmasıdır. Benzer şekilde tarım alanı ile bitkisel üretim değeri arasındaki ilişki olumlu yönde olmuştur.

Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, Türkiye tarımında bitkisel üretim değerinde tahıllar ve diğer bitkisel üretim miktarının etkili olduğu, toplam işlenen tarım alanında da tahıllar ve diğer bitkisel üretim miktarının etkili olduğu saptanmıştır. Bitkisel üretim değerinde tahıllar ve diğer bitkisel üretim miktarı ile toplam işlenen tarım alanının birlikte etkisi incelendiğinde tahıllar ve diğer bitkisel üretim miktarı istatistiksel olarak önemli bulunurken, toplam işlenen tarım alanının istatistiksel olarak önemsiz olduğu saptanmıştır. Kısaca toplam işlenen tarım alanının aracılık rolünün olmadığı ortaya koymuştur. Regresyon modeli kullanılarak aracı değişken rolünün belirlenmesi diğer alanlarda olduğu gibi tarım alanında da uygulanabilir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranında katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Altaş Sevinç S. Çalışanların algıladıkları örgütsel desteğin duygusal bağlılık ve iş tatmini üzerindeki etkisi. *Journal of International Social Research* 2019; 12(64): 845-854.
- Bartone PT., Homish GG. Influence of hardiness, avoidance coping, and combat exposure on depression in returning war veterans: a moderated-mediation study. *Journal of Affective Disorders* 2020; 265: 511-518.
- Carter AR., Sanderson E., Hammerton G., Richmond RC., Davey Smith G., Heron J., Howe LD. Mendelian randomisation for mediation analysis: current methods and challenges for implementation. *European Journal of Epidemiology* 2021; 36(5): 465-478.
- Çokluk Ö., Şekercioğlu G., Büyüköztürk Ş. Sosyal bilimler için çok değişkenli SPSS ve LISREL uygulamaları. Ankara: Pegem A Yayıncılık, 2012.
- Demirkaya H., Kandemir AŞ. Örgütsel adaletin boyutları ile örgütsel güven arasındaki ilişkinin analizine yönelik bir işletme incelemesi. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 2014; 18(2): 263-279.
- Farrar DE., Glauber RR. Multicollinearity in regression analysis: the problem revisited. *The Review of Economic and Statistics* 1967; 92-107.
- Field A. *Discovering statistics using SPSS (third edition)* Los Angeles, London, New Delhi, Singapore and Washington DC: Sage; 2009.
- Gujarati DN., Porter DC. *Basic econometrics. Fifth Edition: The McGraw-Hill Companies, Inc., Americas, New York, NY; 2009.*

- Güriş S., Çağlayan E. Ekonometri-temel kavramlar. Genişletilmiş 3. Basım. Der Yayınları, 2010.
- Gürsel M. Kamu yararına bağlılığın iş tatmini ile ilişkisinde kişi-örgüt uyumunun aracı değişken rolü. Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri Ana Bilim Dalı, Denizli, Türkiye, 2022.
- Hair Jr JF., Hult GTM., Ringle CM., Sarstedt M., Danks NP., Ray S. Mediation analysis. Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) using R: A workbook, Springer Nature; 2021
- Kılıç D., Tunç E. Genç yetişkinlerde akılcı olmayan inanç ile öz-anlayış arasındaki ilişkide affetmenin aracı rolü. Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi 2020; 10(6): 6244-6270.
- Korkut Öİ., Akyol A., Altaş D. Marka değeri yaratmada bütünleşik pazarlama iletişiminin rolü ve şirket performansına etkisi: İçecek sektöründe uygulamalı bir araştırma. Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 2005; 7(2): 13-32.
- Odacı H., Berber Çelik Ç. Kendilik algısı ve saldırganlık arasındaki ilişki: yalnızlığın aracı rolü. Journal of Mood Disorders 2017; 7(4): 219-225. 6244-6270.
- Ohrnberger J., Fichera E., Sutton M. The relationship between physical and mental health: A mediation analysis. Social Science & Medicine 2017; 195: 42-49.
- Özolcar M. Benlik kurgusu ile romantik ilişki doyumunda ayrılık anksiyetesinin aracı rolünün incelenmesi. İstanbul Gedik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 2023.
- Preacher KJ., Kelley K. Effect size measures for mediation models: Quantitative strategies for communicating indirect effects. Psychological Methods 2011; 16(2): 93-115.
- Sanderson E. Multivariable mendelian randomization and mediation. Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine 2021; 11(2): 1-11.
- Tabachnick BG., Fidell LS. Using multivariate statistics (5th ed.). Boston: Pearson, Allyn & Bacon, 2007.
- Thompson B. What future quantitative social science research could look like: Confidence intervals for effect sizes. Educational Researcher 2002; 31: 25-32. doi:10.3102/0013189X031003025
- TÜİK. Türkiye İstatistik Kurumu. Bitkisel üretim istatistikleri. Tahıllar ve diğer bitkisel ürünler. 2021. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> (Erişim tarihi: 06.07.2023).
- TÜİK. Türkiye İstatistik Kurumu. Tarımsal ürün fiyatları ve üretim değerleri. 2021. <http://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=110&locale=tr> (Erişim tarihi: 11.07.2023).
- Wang P., Yu P., Lu J., Zhang Y. The mediation effect of land surface temperature in the relationship between land use-cover change and energy consumption under seasonal variations. Journal of Cleaner Production 2022; 340, 130804.
- Wen Z., Ye B. Analyses of mediating effects: the development of methods and models. Advances in Psychological Science 2014; 22(5): 731-745.
- Wilcox R. Introduction to robust estimation and hypothesis testing (2nd ed.). San Diego, CA: Academic Press, 2005.

Bir Fabrika Mutfağı Örneği: Kapsamlı Risk Analizi ve İyileştirme Önerileri

Filiz ARICAK^{1*}, Evren ÇAĞLARER²

¹Trakya Üniversitesi, Edirne Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, 22030, Edirne

²Kırklareli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 39000, Kırklareli

¹<https://orcid.org/0000-0002-0356-2602>

²<https://orcid.org/0000-0002-1343-4751>

*Sorumlu yazar: filizkuzu@trakya.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 17.01.2024

Kabul tarihi: 17.06.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Endüstriyel mutfak

İş sağlığı ve güvenliği

Risk analizi

Tehlike ve risk

ÖZ

Fabrika, hastane, askeriye gibi yüksek kapasitede yiyecek ve içecek üretimi ve servisinin yapıldığı yerlerde ciddi iş kazalarının gerçekleşmesi muhtemeldir. Bu yüzden bu alanlardaki ısıtma işlemleri, elektrikli ekipmanlar, havalandırma sistemleri ve hijyen gibi durumlar iyi yönetilmelidir. Proaktif yaklaşımlarla her türlü kaza ve meslek hastalıklarına karşı hazırlıklı olunabilir. Risk değerlendirmeleri potansiyel tehlikenin yönetimi için yol gösterici olup proaktif yaklaşımın hayata geçirilmesinde etkili bir süreçtir. İş sağlığı ve güvenliği esas alınarak hazırlanan risk analizleri ile en olası mutfak kazaları öngörülebilir ve zarar görmeden önlenir. Böylece özellikle hijyen beklentisinin en üst düzeyde olduğu bu tür alanlarda sağlıklı ve güvenli çalışma ortamları sağlanmış olur. Çalışmamız Trakya bölgesinde 1985 yılından beri faaliyet yapan ve NACE kodu itibarıyla tehlikeli sınıfa ait bir fabrikanın mutfağında gerçekleştirilmiştir. Amacımız mutfakta yer alan durum ve faaliyetlerin potansiyel tehlikelerini tanımlayarak bu tehlikelerin olasılık ve etkilerini değerlendirmek ve uygun önlemleri belirleyebilmektir. Yöntem olarak L tipi Matris analizi kullanılmıştır. Yöntem tek bir analistin kendi başına yapabileceği türde olduğundan sıklıkla tercih edilen yöntemlerden birisidir. Risk analizi sonucunda toplamda 25 tehlikeye ait 31 risk belirlenmiştir. Risk analizinde risk puanı 16 ve üzerinde olan tehlikelerin yönlendirme levhalarının eksikliği, depolardaki saklanma koşulları ile elektrik tehlikesi olduğu belirlenmiştir. Tespit edilen risklerin minimuma indirilmesi için önerilerde bulunulmuştur.

An Example of A Factory Kitchen: Comprehensive Risk Analysis and Improvement Suggestions

Research Article

Article History:

Received: 17.01.2024

Accepted: 17.06.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

Industrial kitchen

Occupational health and safety

Risk analysis

Danger and risk

ABSTRACT

Serious occupational accidents are likely to occur in places where high-capacity food and beverage production and service are carried out, such as factories, hospitals, and the military. Therefore, situations such as heat treatments, electrical equipment, ventilation systems and hygiene in these areas must be managed well. With proactive approaches, you can be prepared for all kinds of accidents and occupational diseases. Risk assessments guide the management of potential danger and are an effective process for implementing a proactive approach. With risk analyses prepared based on occupational health and safety, the most likely kitchen accidents can be predicted and prevented without harm. Thus, healthy and safe working environments are provided, especially in such areas where hygiene expectations are at the highest level. Our study was carried out in the kitchen of a factory that has been operating in the Thrace region since 1985 and belongs to the hazardous class according to the NACE code. We aim is to

identify the potential hazards of situations and activities in the kitchen, evaluate the probability and effects of these hazards, and determine appropriate precautions. L type Matrix analysis was used as the method. Since the method can be done by a single analyst on his own, it is one of the frequently preferred methods. As a result of the risk analysis, 31 risks belonging to 25 dangers were identified in total. In the risk analysis, it was determined that the hazards with a risk score of 16 and above were the lack of direction signs, storage conditions in warehouses and electrical hazards. Recommendations have been made to minimize the identified risks.

To Cite: Arıçak F., Çağlar E. Bir Fabrika Mutfağı Örneği: Kapsamlı Risk Analizi ve İyileştirme Önerileri. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(5): 2244-2262.

1. Giriş

Endüstriyel mutfaklar ham maddenin mutfak içerisine girişinden başlayarak taşınması, depolanması, pişirilmesi, servis edilmesi ve atık sürecine bağlı havalandırması olan, sıhhi alan ve enerji sistemlerini kitlesel gıda üretimine uygun olarak planlanmış olan ticari kaygı güden veya gütmeyen tüm mutfakları kapsamaktadır (Arman,2019). Bu alanda dikkate alınması gereken önemli bir husus, üretilen yemeklerin ve içeceklerin lezzetli olduğu kadar sağlıklı ve güvenilir olmasıdır. Bu da ortamın sağlık ve güvenliğine bağlıdır. Çalışanlar açısından bakıldığında kesici delici aletler kullanımı, pişirme esnasında kızgın yağ veya su sıçraması durumu, ortamın çok sıcak, soğuk, kuru veya nemli olması, zaman baskısı, işi yetiştirememeye kaygısı, malzeme taşınması ve depolanması sürecindeki fiziksel zorlanmalar gibi durumlar mevcuttur. Kaçınılmaz olarak küçük veya büyük çapta yaralanmalı kazaların gerçekleşebileceği, sonuçlarının bazen önemsiz bazen ise çok ciddi sonuçlar doğurabileceği bir ortamda tüm çalışmaların disiplin gerektiren bir çerçevede ele alınması gerekir. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Çalışma Bakanlığının çalışma istatistikleri bürosuna göre aşçılar tüm meslek dalları içerisinde %5,67 ile en yüksek yaralanmaya sahiptir (Bureau of Labor Statistics, 2022). Bu yaralanmaların çoğunluğu bıçak gibi kesici alet kullanımı, kırık bardak veya tabak, cam veya porselen eşyalar ile bıçaklı donanıma sahip ekipmanlardan (öğütücü, dilimleyici gibi) kaynaklanan cilt kesikleri veya yırtılmalarıdır (Restaurant Technologies, 2016).

Literatürde mutfaklarda gerçekleşen iş kazaları ve meslek hastalıklarına dair birçok çalışma mevcuttur. Bindu ve Reddy (2016), mutfaklardaki kızartma vb. ısı işlemler ve kaynar su kaynaklı yanıklar ile zeminden kaynaklı kayma ve düşmelerin de yaralanmaların sebeplerinden olduğunu belirtmişlerdir. Jeong (2015), ticari restoran mutfaklarında gerçekleştirdiği anket ve kaza analizine göre kaza riski en yüksek safhaların sırasıyla hazırlık, pişirme, malzemelerin işlenmesi ve depolanması olduğunu belirlemiştir. Haruyama ve ark. (2014) tarafından mutfak ortamındaki kesik ve yanık oluşumu ile iş stresi arasındaki ilişkinin belirlenmesi için bir anket çalışması yapılmıştır. Çalışmanın elde edilen bulgularına göre iş stresi ne kadar yüksekse mutfak çalışanlarındaki yanık ve kesik sıklığı da o derece yüksektir. Bindu ve Reddy (2016), Hindistan'daki otel aşçılarının karşılaştıkları mesleki sağlık tehlikelerini anket ve görüşme yoluyla incelemeyi amaçlamış ve en belirgin sağlık tehlikesinin sırt ağrısı olduğu sonucuna varmışlardır. Pei ve ark. (2022), anket yoluyla Malezya'daki bir Çin restoranı çalışanlarının mesleki yaralanmalarını belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışmanın bulgularına göre mutfak çalışanlarının çoğu yanık, kesik-yırtılma ve kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları (KİSR) açısından yüksek

risk grubundadır. Pekkarinen ve ark. (1996) tarafından anket formu kullanılarak yapılan çalışmada kantin mutfaklarında en sık yaralanmanın bıçaklardan kaynaklı parmak yaralanmaları, en büyük kaza riskinin de yanıklar olduğu belirtilmiştir. Subramaniam ve Murugesan (2015), Güney Hindistan yemek endüstrisindeki erkek mutfak çalışanlarının işle ilgili kas-iskelet sistemi bozukluklarının yaygınlığını ve risklerini ölçmeyi anket yoluyla ve doğrudan gözlemleyerek şef aşçıların, aşçı yardımcılarını ve mutfak yardımcılarını nazaran daha çok KİSR sorunu yaşadıklarını belirlemişlerdir. Saad ve ark. (2022), yeni işçilerin mutfaklardaki riskleri tespit edebilmeleri için geliştirdikleri VR (virtual reality=sanal gerçeklik) uygulamasının etkinliğinin olumlu sonuç verdiğini belirtmiştir. Dzah (2021), çalışmasında Gana'daki seçilmiş bazı liselerde mutfak personelinin İSG konusundaki bilgi düzeyi ve anlayışını değerlendirdiği çalışmada mutfak çalışanlarının tamamının İSG konusunda bilgi sahibi olmadıklarını ve okul mutfaklarındaki güvenlik konusunda memnuniyetsiz oldukları sonucuna varmıştır. Martins ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada mutfaklarda kayma riskinin önlenmesi için en etkili çözümlerin belirlenmesi amacıyla PRISMA beyan yönergelerine göre, 28 anahtar kelime kombinasyonu ile 15 veri tabanı üzerinde kısa bir inceleme yapılmıştır. Çalışmaya göre ıslak, yağlı gibi kontamine zeminde kaymaya dayanıklı ayakkabıların kullanılması ve zemin temizleme prosedürünün belirlenmesi kayma vakalarını azaltabilir.

Ierardi ve Pavilonis (2020), New York City devlet okulu mutfaklarındaki ısı stresinin boyutunu ölçmek ve ısıyla ilgili hastalık ve/veya akut yaralanma riskini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Çalışmanın verilerine göre mutfak personeli iç mekânda yüksek ısı seviyelerine maruz kalabilmektedir. Olcay (2019), mutfaklarda çalışmalarda iş sağlığı ve güvenliği konusunda alınması gereken sağlık ve güvenlik önlemleri değerlendirilmiştir. Şahin ve Erkal (2010), konaklama işletmelerinde çalışan mutfak personelinin iş kazası geçirme durumları ile yaş, cinsiyet ve meslek arasında istatistiksel bir fark olduğu sonucuna varmışlardır.

Endüstriyel mutfakların standart bir ölçüsü olmamakla birlikte, belli tasarım kriterleri çerçevesinde barındırdığı ekipmanlar ile hizmet verdiği alana göre çeşitlilik gösterir (Arman,2019). Bununla birlikte yapılan işin çalışanlar ve hedeflendiği kitle için sağlık ve güvenlik kriterlerini sağlaması gerekir. Arman ve Nizamlioğlu (2020)'e göre mutfak alanının yapılan işe uygun büyüklükte olması, her personele uygun metreküp hava alanı sunulması, koridorların uygun genişlikte olması, kokuların tahliyesi için yeterli havalandırma, çalışanlar için elverişli bir aydınlatma seviyesi, çalışma tezgâhlarının belirli bir mesafede olması, tezgâhların kolay temizlenebilir mikroorganizma üretmeyen nitelikte olması, üretim ve verimliliği artırırken çalışanların performansını da olumlu etkiler (Arman ve Nizamlioğlu,2020).

Endüstriyel mutfaklarda çiğ gıdaların pişirilme safhasında yönetilmesi gereken faktörler ısı, buhar, duman ve kokudur. Yemek hazırlama sırasında ortamın havasına bu ürünler eklenir. Etkin bir tahliye ile bu faktörlerin ortamdaki çekilmesi veya uzaklaştırılması gerekir. Mekanik tesisat müteahhitleri derneği (MTMD) sadece endüstriyel mutfakları kapsayan "Mutfak Havalandırma Sistemleri Şartnamesi" DW/172 adı altında uluslararası kuruluşlara paralel bir çalışma hazırlamıştır (MTMD, 2018). Buna göre pişirme aşamasının getirdiği kirliliğin ortadan kaldırılması için işverenin bilgi sahibi olması, çekiş işlemi

için şartname oluşturulması, periyodik bakım ve işletim ile hizmetin uzun süreli olması birincil hedefler arasındadır.

Endüstriyel mutfaklar aydınlatma sisteminden bazı beklentileri içerir. Bu beklentiler enerji ve ekolojik verimliliğinin yanı sıra çalışanların görsel konforunu da içerir. Özellikle kesme, doğrama, dilimleme, gibi dikkat gerektiren işlemlerin yapıldığı safhalarda yaşanacak iş kazalarını önlemek için belirli bir parlaklık seviyesi gerekir. Mevzuatımızda yer alan İşyeri Bina ve Eklentilerinde Alınacak Sağlık ve Güvenlik Önlemlerine İlişkin Yönetmelikte işyerleri aydınlatması hususunda işyerlerinin gün ışığı ile aydınlatılmış olması esas alınmış, gün ışığından yeterince yararlanılamayan durumlar için suni ışık ile uygun ve yeterli aydınlatma sağlanması ifade edilmiştir (Resmî Gazete, 2013).

2. İş Sağlığı ve Güvenliğinde Risk Değerlendirmesi

İş sağlığı ve güvenliği (İSG), çok disiplinli bir bakış açısıyla işyeri çalışanlarını ve çalışma alanlarının korunmasını, iş kazalarının azaltılmasını ve çalışanların farkındalığının artırılmasını hedeflemektedir (Gül, 2020). Risk değerlendirmesi İSG'nin olmazsa olmaz basamaklarından biridir. Risk değerlendirmesi bir işletmede var olan tehlikelerin tanımlanıp belirlenmesini ve sonra da tehlikenin oluşturacağı risklerin kapsamının değerlendirilmesini içeren bir süreçtir (Lele, 2012). İSG açısından da çalışana, işyeri ve çevresine gerek maddi gerekse de manevi anlamda zarar verici bir niteliğe sahip olan veya olma ihtimali mevcut olan tehlikelerin tespit edilmesi ve bu tehlikelere karşı önlem alınması için yapılması gerekenlerin belirlenmesi sürecidir (Yazıcı, 2019). 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği ile tüm işyerlerinin risk değerlendirmesi yapması veya yaptırılması zorunlu hale getirilmiştir. Bununla birlikte risk değerlendirilmesi için kullanılacak metotla ilgili bir bilgiye ilgili yönetmelikte yer verilmeyip nicel, nitel ya da karma yöntemlerden birinin seçilebileceği belirtilmiştir.

Literatürde farklı sektörlerle ilişkin farklı risk değerlendirmesi yapılan çalışmalar mevcuttur. Risk değerlendirmesi için kullanılan 150'den fazla metodun varlığından söz edilse de (Kahya ve ark.,2021) bu metotların sayısı yeni metotların geliştirilmesi veya güncellenmesi ile değişebilir. İş sağlığı ve güvenliğinde sıklıkla kullanılan risk değerlendirme metotları; Fine-Kinney (Kahya ve ark.,2021; Seyfioğlu ve Kadem, 2022; Şimşek, 2020; Ateş, 2023; Yalçın ve ark., 2018), Tehlike ve İşletilebilirlik Analizi (HAZOP) (Qureshi ve ark., 2013; Penelas ve Pires, 2021; Noh ve ark., 2020; Sari ve ark., 2022; Suryadi ve ark., 2023), Hata Türleri Ve Etki Analizi (FMEA) (Purnatimur ve Rifai, 2023; Çağlarer ve Arıcak, 2023; Altın ve ark., 2018, Kangavari ve ark., 2015), Hata ağacı analizi (FTA) (Gökçe ve Zorluer, 2022; Yalçınkaya ve ark., 2020; Erdoğan ve Eraslan, 2021; Töz ve ark., 2022, Wang ve ark., 2020), Olay Ağacı Analizi (ETA) (Taşdemir ve Çetinyokuş, 2023; Singh ve Kumar, 2022; Özfırat ve ark., 2017), L tipi Matris Analizi (Gür ve ark., 2021; Özbakır, 2023; Jusoh ve ark., 2016; Colak ve ark., 2018; Çelenk Kaya ve ark., 2020), Balık Kılıcı (Neden-Sonuç) Analizi (Atalay ve Kılıç, 2015; Sur ve ark., 2022; Koç ve ark., 2019; Bingöl, 2022)'dir.

Çalışmada saha uygulamalarında pratikliği, kolaylığı ve bir analist tarafından gerçekleştirilebilir olması sebebiyle L tipi matris analizi tercih edilmiştir. L tipi matris analizi de diğer yöntemlerde olduğu gibi avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Risk seviyesini anlama ve gözlemlemeyi kolaylaştıran bir yaklaşıma sahip olması, hesaplama yöntemlerinin kolay ve anlaşılabilir olması, sıklık ölçümüne gerek olmaması, uygulanması gereken önlemin maliyetinin hesaplanmaması avantajları arasındadır. Risklerin değerlendirilmesinin kişisel görüşe dayanması, bu yüzden aynı niceliksel riskler için farklı kullanıcının zıt derecelendirmeler yapabilmesi, maliyet-fayda analizinin yapılmaması nedeniyle kontrol önlemlerinin uygulanmasını zorlaştırması ise dezavantajları arasındadır (Ramona, 2011).

Literatürde L tipi matris analizi ile yapılmış farklı sektörlerle ilişkin çalışmalar yapılmış olsa da fabrika mutfaklarına has risk değerlendirme çalışmalarının yeterli sayıda olmaması bu çalışmanın başlıca motivasyonunu oluşturmuştur.

3. Yöntem ve Bulgular

Çalışma kapsamında öncelikle fabrika yönetiminden gerekli izin alınarak;

- başlangıçta fabrika mutfağında detaylı saha gözlemleri gerçekleştirilmiş,
- bu gözlemlerde var olan potansiyel tehlikelerin belirlenmesi amaçlanmış,
- belirlenen tehlikelerin ne tür risklere dönüşebileceği ve olası sonuçları incelenmiştir.

L tipi matris analizinde 5x5matris diyagramı hazırlanarak tehlike kaynağı belirlenir ve bu doğrultuda riskin gerçekleşme olasılığı ile oluşturacağı şiddeti derecelendirilerek Risk Puanı (RP) hesaplanır (Yazıcı,2019). Risk puanı için;

$$RP = \text{Riskin gerçekleşme olasılığı} \times \text{Meydana getireceği etkinin şiddeti}$$

matematik ifadesi kullanılır. RP'nin sayısal sonucuna göre tehlikelerin önem sırası, önlem aciliyeti tespit edilebilir. Riskin gerçekleşme olasılığı Tablo 1'de gösterildiği gibi sırasıyla 1'den başlayarak çok küçük, küçük, orta seviye, yüksek, çok yüksek şeklinde 5'e kadar puanlanır. Riskin değerlendirmesi risk puanından elde edilecek sonuca göre incelenir.

Tablo 1. Riskin gerçekleşme olasılığı için olasılık tablosu

Değer	Basamak	Sıklık
1	Çok küçük	Yılda 1
2	Küçük	Üç ayda 1
3	Orta	Ayda 1
4	Yüksek	Haftada 1
5	Çok yüksek	Her gün

Tablo 2. Meydana getireceği etkinin şiddeti için şiddet derecesi tablosu

Değer	Sonuç	Derecelendirme
1	Çok hafif	İş saati kaybı yok, ilkyardım gerektirir
2	Hafif	İş günü kaybı yok, ilk yardım gerektirir.
3	Orta	Hafif yaralanma, tedavi gerektirir
4	Ciddi	Ciddi yaralanma veya meslek hastalığı veya ölüm
5	Çok ciddi	Sürekli iş göremezlik, birden fazla ölüm

RP formülüne göre olasılık ve şiddet için uygun görülen değerlerin çarpılmasıyla her bir riskin puanı Tablo 3'teki gibi yerleştirilir.

Tablo 3. Risk Puanı tablosu

Risk Puanı	Etki Şiddeti				
	1(çok hafif)	2 (hafif)	3 (orta)	4 (ciddi)	5(çok ciddi)
Olasılık					
1(çok düşük)	1	2	3	4	5
2 (düşük)	2	4	6	8	10
3 (orta)	3	6	9	12	15
4 (yüksek)	4	8	12	16	20
5(çok yüksek)	5	10	15	20	25

Öncelikli sırada yer alan tehlikelerin değerlendirilmesinde renklendirmeler doğrultusunda karar verilir (Yazıcı, 2019):

Kırmızı alanlar ($RP \geq 16$): Öncelik sırası ilk olan tehlikelerdir, hemen gerekli önlemler alınmalıdır. Gerekirse tehlike kontrol altına alınıncaya kadar işin durdurulması düşünülmelidir. Kontroller sonucu tehlikelerin kabul edilir seviyelere indirilmesi hedeflenir.



Sarı alanlar ($10 < RP < 15$): Tehlike kontrol altına alınır, kontrol amacıyla prosedürler dokümanite edilir. İzleme takip yapılarak, tehlikelerin kabul edilebilir seviyelere indirilmesi hedeflenir, iyileştirici faaliyetler belirlenir.



Mavi alanlar ($5 < RP < 9$): Önlemler alınarak uygulamaların kontrolleri yapılır. Personel eğitimi, planlama ve diğer gerekli önlemler alınarak tehlikelerin kabul edilebilir seviyelere indirilmesi hedeflenir.




Yeşil alanlar ($1 < RP < 4$): Öncelik sırası en sonda olan tehlikelerdir. Yine de ileriki zamanda ciddi bir risk oluşturmaması için kontrol altında tutulmalıdırlar.

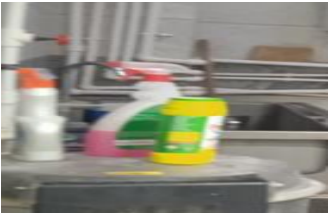



Tablo 4 ve Tablo 5’te sırasıyla mutfak alanına ilişkin risk analizi ile mutfak çalışanlarına ilişkin risk analizi sunulmuştur.





Tablo 4: Mutfak alanında gözlemlenen Tehlike ve risklere ait risk analizi


Durum	TEHLİKE	RİSK	OLASILIK	ŞİDDET	RİSK PUANI	MEVCUT DURUM	ÇÖZÜM ÖNERİSİ
1	 <p>Bozuk zeminler</p>	Takılma, düşmeye bağlı kırık çıkık burkulma,	3	4	12	Zarar görmüş hasarlı, düzensiz zeminler mevcut	Deforme olmuş zemin onarılması amacıyla yönetime bildirilmelidir. Zemin onarımı yapıncaya kadar uyarı levhası ile tehlikeye dikkat çekilmelidir.
		Mikroorganizma üremesi	3	4	12	Drenaja eğimli zemin hasarlı olduğundan ıslak, nemli kalıyor	Zemindeki kaplama tamir edilirken mantar ve küf oluşumuna engel olacak özellikte malzeme kullanılmalı, zeminlerin temizliği konusunda personele eğitim verilmeli
2	 <p>Kimyasalların açık alanda olması</p>	Gıda kontaminasyonu	3	2	6	Deterjan bidonunun üzerinde etiketi yok ve temiz tencere rafına yerleştirilmiş.	Deterjanlar mutfakta gelişigüzel bırakmamalı, uygun şart ve ortamlarda bulundurulmalı ve mutlaka etiketlenmeli.

Durum	TEHLİKE	RİSK	OLASILIK	ŞİDDET	RİSK PUANI	MEVCUT DURUM	ÇÖZÜM ÖNERİSİ
3	 <p>Kuru gıda deposundaki eksiklikler ve düzensizlik</p>	Uygun olmayan sıcaklık ve nemde gıdanın bozulması	3	4	12	Kuru gıdaların depolandığı yerde sıcaklık ve nem ölçer eksikliği mevcut	Depo içinde ortam derecesi ve nem düzeyini gösteren termometre ve nemölçer bulundurulmalı ve düzenli olarak kayıtları tutulmalıdır
		Rafların düzensiz yerleşimi ve tarihlendirme sisteminin kurulmamış olması	3	2	6	Raflar sabitlenmemiş ve rastgele bir yerleştirme yapılmış	Daha fazla raflandırma yapılarak düzenli bir yerleşim sağlanmalıdır. İlk giren ilk çıkar ilkesine uyulmalıdır.
4	 <p>Gıdalarda istiflemenin uygun olmaması</p>	Gıda güvenliğinin sağlanmamasından dolayı biyolojik riskler	3	3	9	Gıdalar duvara temas ediyor, yerle teması engellemek için altlarına tahta paletler konulmuş, gıda haricinde malzemeler de aynı depoda bulunuyor	Gıda güvenliği gereği gıdalar zemine veya duvara temas etmemeli, aralarında hava geçişini sağlayacak kadar mesafe olmalı, gıda depolarında tahta malzeme yer almamalıdır.
5	 <p>Yönlendirme ve işaretleme eksikliği</p>	Acil durumlarda yaralanma	4	4	16	Mutfakta Acil çıkış levhası yok	Acil durumlarda binanın terk edilmesi için izlenmesi gereken yolu tarif eden herhangi bir elektrik kesintisinde en az 60 dk. ışık veren şarjlı levhalandırma yapılmalıdır.

Durum	TEHLİKE	RİSK	OLASILIK	ŞİDDET	RİSK PUANI	MEVCUT DURUM	ÇÖZÜM ÖNERİSİ
6	 <p>Kişisel Koruyucu Donanım (KKD) kullanmama</p>	Hijyen eksikliğine bağlı hastalık bulaşması	2	4	8	Pişirme esnasında maske ve eldiven kullanılmıyor	Yemekle yakın mesafe çalışanlara bone, eldiven, maske temini edilmeli. Tüm mutfak çalışanlarına hijyen eğitimleri verilmeli
7	 <p>Etlere uygun saklanma koşullarının olmaması</p>	Bakteriyel kontaminasyon	3	4	12	Çiğ kırmızı et yere temas ediyor	Etin yer ile teması kesilmeli, platform yükseltilmeli koruma önlemleri iyileştirilmeli Ayrıca et kaldırıldıktan sonra zemin dezenfekte edilmeli
		Et ürünlerinin uygun olmayan sıcaklıkta muhafaza edilmesi sonucu bakteri gelişmesi	4	4	16	Soğuk deponun sıcaklık ve nem göstergesi yok, etin geliş tarihi ve saatine dair etiket yok	Etlere depolandığı yer gıda güvenliği yönetmeliğine uygun sıcaklıkta olmalıdır.
		Çapraz bulaşma	3	4	12	Aynı depoda çiğ et ile farklı türdeki gıdalar bulunmakta	Çapraz bulaşma riskine karşın çiğ etler diğer gıdalarla temas etmemelidir. Ayrıca ambalajı olmayan kırmızı etin üzeri folyo vb. malzeme ile örtülmeli.
8	 <p>Makine koruyucusunun bulunmaması</p>	El, kol yaralanması, uzuv kaybı	4	5	20	Hamur karıştırma makinesi çalışırken otomatik durmasını sağlayacak tertibat yok	Sırasıyla yenisiyle değiştirme, ikame veya teknik önlemler alınmalı. Herhangi bir tehlike anında sistemi tamamen durduracak bir acil stop butonu monte edilerek ergonomik açıdan uygun yere takılmalıdır.

Durum	TEHLİKE	RİSK	OLASILIK	ŞİDDET	RİSK PUANI	MEVCUT DURUM	ÇÖZÜM ÖNERİSİ
9	 <p>Kimyasalların açık alanda olması</p>	Gıda güvenliğine engel teşkil edecek kimyasal maruziyeti	2	4	8	Temizlik amaçlı kimyasallar mutfağın herhangi bir yerinde bırakılmış	Temizlik kimyasalları etiketlerine uygun bir şekilde saklanmalı ve kaldırılmalıdır. Kimyasalların saklanacağı bir dolap yapılarak orada muhafaza edilmeli.
10	 <p>Kaygan zemin</p>	Islak zeminde kaymaya bağlı düşme, çarpma	3	4	12	Zeminde biriken sıvı mevcut	Mutfağın tümünde akışın sağlanması için zemin drenaja eğimli olmalıdır. Drenajın açık ve temiz olması, zemindeki ıslaklık hemen temizlenmeli. Zemin kaplaması özel vernikleme yoluyla yapılabilir. Çalışanlara kaymayan ayakkabı verilmelidir
11	 <p>Seyyar kablo kullanımı</p>	Elektriğe maruz kalma, çarpılma	4	5	20	Elektrikli cihazların kabloları çalışanların temas edeceği yerlerde bulunuyor	Elektrik kabloları kapalı sisteme alınmalı ve gereksiz ara kablo kullanımı engellenmeli
12	 <p>Talimat eksikliği</p>	Yangın	3	4	12	Yangın söndürücü kullanma talimatı yok	Mutfak alanında yer alan söndürücülerin kullanma talimatının asılması gerekir. Ayrıca yangın konusunda çalışanlara eğitim verilmelidir.

Durum	TEHLİKE	RİSK	OLASILIK	ŞİDDET	RİSK PUANI	MEVCUT DURUM	ÇÖZÜM ÖNERİSİ
13	 <p>Makine tertibatının olmaması</p>	Çalışanın elini kaptırması sonucu yaralanma	4	5	20	Kıyma makinesinin besleme kısmı alçak	Ağız kısmı ile malzeme besleme kısmı arasında ara parça ilave edilerek monte edilmelidir, ayrıca acil durum için bir stop butonu monte edilmelidir.
14	 <p>Ortamın tertip düzen eksikliği</p>	Takılıp düşmeye bağlı yaralanma	3	4	12	Bulaşıkhaneye yürüme alanındaki hortum gelişigüzel bırakılmış	Zemin temiz ve yürüme yolu engelsiz olmalıdır. Temizlik İşlemin ardından hortum düzenli bir şekilde kaldırılmalı
15	 <p>Hijyen eksikliği ve yanlış çalışma</p>	Hijyen eksikliği yüzünden meslek hastalığı	2	4	8	Eldiven ve maske kullanmama durumu mevcut	Çalışan için eldiven temin edilmeli ve hijyen eğitimi verilmelidir.
		Uygunsuz çalışmasından kaynaklı iş kazaları	2	3	6	Uygunsuz çalışma prosesi mevcut	Sebze doğramada çalışma tezgâhi tercih edilmeli
16	 <p>Soğutma deposundaki uygunsuz şartlar</p>	Çalışanın içerde mahsur kalması ve durumun farkedilememesi	4	4	16	Soğutma ünitesinde içeride kilitli kalma durumuna yönelik kapısında bir alarm sistemi yok	Kapıya bir alarm sistemi kurularak uzak noktadaki çalışanlara ulaşabilmek için santral uyumlu bir telefon monte edilmeli ve manuel olarak da açmayı sağlayan kapı kolu takılmalı

Durum	TEHLİKE	RİSK	OLASILIK	ŞİDDET	RİSK PUANI	MEVCUT DURUM	ÇÖZÜM ÖNERİSİ
17	 <p>Uygunsuz saklanan kapların gıdyla teması ve elektrik</p>	Elektrik şoku, yaralanma	3	4	12	Kullanılmadığı halde ekmek dilimleme makinesinin fişi çekilmemiş,	Makine üzerinde kullanım talimatları yer almalı ve çalışanlara potansiyel tehlikeler hakkında bilgi verilmeli
		Ekmek dilimlerinin konulduğu plastik kapların üst üste konulması yüzünden kontamasyon, biyolojik risk	3	2	6	Ekmek sepetleri üstüste konulmuş	Ekmeklerin konulduğu sepetler üst üste gelmeyecek şekilde bir düzenleme oluşturulmalıdır.

Tablo 5. Mutfak çalışanlarına ait risk analizi

Faaliyet	TEHLİKE	RİSK	OLASILIK	ŞİDDET	RİSK	MEVCUT DURUM	ÇÖZÜM ÖNERİSİ
Hazırlık aşaması	Kesme, doğrama, dilimleme işlemlerinde kullanılan keskin veya sivri madde kullanımı	Bıçak kesiklerine bağlı yaralanma, kopma, uzuv kaybı	2	5	10	Yanlış bıçak kullanımı, körelmiş bıçak kullanımı, eğitim eksikliği	Bıçakların bakımlı ve keskin olması, amaca uygun olması, kullandıktan sonra hemen çantasına konulmalı ve işlem esnasında işe odaklanılmalı, et kesmede çalışanlara deri önlük, çelik eldiven temin edilmeli
Yürüme alanı	Düzensiz, hasarlı, kaygan zemin	Takılma, kayma düşmeye bağlı yaralanma	3	3	9	Pürüzlü veya bozuk zemin, yürüme yolundaki engeller	Islak alanlar için levha konulmalı, dökülenler derhal temizlenmeli, yürüme yolu açık ve temiz olmalı, kaymaz tabanlı ayakkabı temin edilmeli

Faaliyet	TEHLİKE	RİSK	OLASILIK	ŞİDDET	RİSK	MEVCUT DURUM	ÇÖZÜM ÖNERİSİ
Pişirme aşaması	Sıcak yüzeyler, buhar ve kızgın yağ	Yanmaya bağlı yaralanma	3	4	12	Sıcak tencere tava ellemeye bağlı yanık, kızgın yağa veya buhara maruz kalma sonucu yanık	Yağ sıçramalarına karşı koruyucu giysi, ısıya dayanıklı eldiven, gözlük temin edilmeli
Teslimat ve stoklama	Kaldırma, uzatma, vücudu zorlama	Mutfak için getirilen et, sebze kuru gıdaların taşınmasıyla ilgili hareketlere bağlı yaralanma, incinme, kas-iskelet hasarı	2	3	6	Depoya getirilen et, sebze kuru gıdaların kaldırılmasında, tencerelerin yerleştirilmesinde yanlı hareket yapma, uzanma, tekrarlayan hareketler	Çalışanlara kaldırma işlemleri için eğitim verilmeli, işlemleri kolaylaştırmak için merdiven veya amaca uygun bir ekipman kullanılmalı
Elektrikli cihazlar kullanma	Mutfakta yer alan elektrikle çalışan aletler	Elektrik çarpmasına bağlı şok, yaralanma, ölüm	3	5	15	Arızalı ekipman, kablolu hatası, elektrikli aletlerin sıvıya maruz kalması, çalışanın eğitim eksikliği	Islak ellerle ekipmanın fişe takılmamalı, güç kabloları ortalıkta olmamalı, hasar görmüş ekipman kullanılmamalı ve elektrik çarpmalarına karşı ilk yardım eğitimi verilmeli
Mutfak alanı genel	Gürültü	İşitme kaybı	2	5	10	Mutfak ekipmanları ve personel arası iletişim gürültü seviyesini artırır	Mutfak ortamında gürültü seviyesinin ölçülmesi, sınır değerlerin üzerinde çıkması halinde koruyucu tedbirler alınması gerekir
Pişirme alanı	Havalandırma yetersizliği	Hava kirliliği	2	4	8	Pişirme esnasında yağ buharları, koku ve duman çıkması	Ortam havasını temizleyen uygun sistem (Cebri havalandırma) veya kaynağında yakalamak için davlumbaz kullanılmalı

Faaliyet	TEHLİKE	RİSK	OLASILIK	ŞİDDET	RİSK	MEVCUT DURUM	ÇÖZÜM ÖNERİSİ
Mutfak alanı genel	Yetersiz aydınlatma	Düşme, çarpma, yaralanma, uzuv kopması	2	4	8	Yetersiz ışık durumunda engelleri fark edememe ve besinlerin kesme doğrama işleminde kesici madde yaralanması	Aydınlatma ölçümü yapılmalı, arızalı lambalar derhal değiştirilmeli, alana yönelik doğal ışıktan faydalanılamıyorsa, gözü yormayan türden aydınlatma tercih edilmeli

Öneriler ve Sonuç

İSG kapsamında yapılacak çalışmalarla çalışan ve işyeri güvenliği olumlu bir şekilde etkilenir. Bu kapsamdaki en önemli basamaklardan birisi risk değerlendirmesidir. Her türden işyerinde potansiyel tehlikelerin belirlenip önlem alınması çalışanlar için hayati öneme sahiptir. Ayrıca işletmenin verimliliğinin artmasında da risk değerlendirmesi büyük rol oynar. Ancak risk değerlendirmeleri tek başına yeterli değildir.

Özellikle sayıca çok olan topluluklara yeme- içme faaliyetlerinin hazırlandığı endüstriyel mutfaklarda mutfak personeline hijyen ve acil durumlar konusunda düzenli eğitim verilerek çalışanların bilinçlendirilmesi önemlidir. Yemeklerin sunulması aşamalarına kadar gıdalarla yakın temasta olan çalışanlara mutlaka maske, eldiven, saç bonesi yanı sıra zeminden kaynaklı iş kazalarının önüne geçilmesi için kaymaz tabanlı ayakkabı, terlik gibi kişisel koruyucu donanımların (KKD) işverence temin edilmesi gerekir (Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik, Madde 5). Mutfakta gerçekleşebilecek iş kazası ve meslek hastalıklarına karşı çalışanlarda farkındalık oluşturulması İSG kültürünün geliştirilmesine de yardımcı olur.

Çalışmada Trakya Bölgesinde üretim yapan bir fabrikanın mutfağında gerçekleştirilmiştir. Fabrikanın mutfağındaki tehlike ve oluşturabileceği riskleri öngörmek ve önleyebilmek için İSG açısından değerlendirmeler yapılmış ve önerilerde bulunulmuştur. Yapılan risk değerlendirmesinde yemeklerin hazırlandığı, pişirildiği, bulaşıkların yıkandığı, ürünlerin depolandığı alanlarda 17 tehlikeye ilişkin 23 risk belirlenmiştir. Tablo 4'te risk skorlarının puanlanması sonucu 6 adet birinci öncelikli tehlike, 10 adet ikinci öncelikli tehlike, 7 adet üçüncü öncelikli tehlike belirlenmiştir. Risk analizine göre başlıca çözüme kavuşturulması gereken tehlikeler yönlendirme levhalarının eksikliği, çiğ etlerin saklanma koşullarındaki yetersizlikler, ekipmanların tertibat eksiklikleri ve elektrik tehlikesidir. Tablo 5'teki mutfak faaliyetlerine dair risk değerlendirmesinde ise 4 adet ikinci öncelikli tehlike ve 4 adet üçüncü öncelikli tehlike belirlenmiştir. Tablo 5'te hazırlık aşamasındaki kesici delici aletler, pişirme aşamasında ortaya çıkan zararlı ürünler, elektrikli aletler ve gürültü tehlikesi en yüksek risk skorlarına sahiptir.

Değerlendirmeler fabrikanın ilgili birimleriyle paylaşılmış ve görüş bildirilmiştir. Yapılan risk analizinin sonuçları kabul edilebilir seviyelerde olsa bile işletme koşullarının değişebileceği ve yeni risklerin ortaya çıkabileceği unutulmamalıdır. Düzenli takip ve gözden geçirme ile ortaya çıkabilecek olumsuzlukların önüne geçilebilir. Çalışmamız gıdaların hazırlanması ve servis edilmesi aşamalarının yer aldığı herhangi bir işletme için genişletilebilir.

Araştırmanın Etik Yönü

Araştırmanın yapılması için Edirne ilinde bulunan Murat Yapı Tekstil İplik fabrikasından 01.12.2022 tarihinde gerekli izin alınmıştır.

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

- Altın ZG., Dag M., Oz A., Aydogmus E. Risk analysis by FMEA method in hotel. *Physical Chemistry and Functional Materials (JPCFM)* 2018; 11): 59-65.
- Arman A. Endüstriyel mutfak tasarım ölçütlerinde işlevselliğe bağlı parametrelerin değerlendirilmesi ve tasarıma yönelik öneriler. Necmettin Erbakan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Doktora Tezi. Sayfa no:22. Konya, Türkiye. 2019.
- Arman A., Nizamlıoğlu HF. Endüstriyel mutfakların planlanmasında etkili olan faktörler. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies* 2020; 8(4): 2682-2702.
- Atalay O., Kılıç Ö. Balık kılıçığı yöntemi ile mobil vinç kazası olası nedenlerinin incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2015; 30(1): 73-78
- Ateş KT. Bir enerji şirketinin sargı kısmında yüksek risklerin fine-kinney yöntemi ile belirlenmesi ve olası risklerin ortadan kaldırılması. *Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Dergisi* 2023; 7 (2):62-71.
- Bindu ESH., Reddy MV. Occupational hazards among cooks in commercial kitchens. *International Journal of Science and Research (IJSR)* 2016; 5(6): 970-974.
- Bingöl Ü. Acil servise iş kazası ile başvuran sağlık çalışanlarının değerlendirilmesi. *İzmir Eğitim ve Araştırma Hastanesi Tıp Dergisi* 2022; 26(2): 161-166.
- Bureau of Labor Statistics. Occupational outlook handbook: cooks. 2022. <https://www.bls.gov/ooh/food-preparation-and-serving/cooks.htm#tab-3>.

- Colak M., Aygurler C., Cetin T. Madencilik sektöründe iş sağlığı ve güvenliği açısından risk analizi. *Pap.* 2018; 7(1): 285-299.
- Çağlarer E., Arıçak F. Geçici hayvan bakımevleri için hata türleri ve etkileri analizi (FMEA) örneği. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences* 2023; 8(3): 313-321.
- Çelenk Kaya E., Ölmezoğlu İri N., Pedis K. Ahşap ve mobilya imalatı yapan bir işyerinde risklerin belirlenmesi ve örnek risk analizi çalışması. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi* 2020; 9(1): 25-35.
- Dzah EK. Assessment of knowledge level of kitchen workers on occupational health and safety in senior high schools in Ghana. *Asian Journal of Applied Science and Technology* 2021; 05(2): 01-09.
- Erdoğan F., Eraslan E. Yüksek radyoaktif maddelerin taşınmasında hata ağacı analizi yönteminin uygulanmasının incelenmesi. *JTOM.* 2021; 5(1): 688-702.
- Gökçe Ş., Zorluer İ. İnşaat sektöründeki iş kazalarının hata ağacı analizi ile değerlendirilmesi. *Teknik Dergi* 2022; 33(6): 12817-12846.
- Gül M. Application of pythagorean fuzzy AHP and VIKOR methods in occupational health and safety risk assessment: the case of a gun and rifle barrel external surface oxidation and colouring unit. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* 2020; 26(4): 705-718.
- Gür B., Yavuz Ş., Çakır AD., Köse AD. Determination of hazards and risks in a solar power plant using the matrix risk analysis. *European Journal of Science and Technology* 2021; 23: 497-511
- Haruyama Y., Matsuzuki H., Tomita S., Muto T., Haratani T., Muto S., Ito A. Burn and cut injuries related to job stress among kitchen workers in Japan. *Ind Health* 2014; 52(2): 113-120.
- Ierardi AM., Pavilonis B. Heat stress risk among New York City public school kitchen workers: a quantitative exposure assessment. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2020; 17(7-8): 353-363.
- Jeong BY. Cooking processes and occupational accidents in commercial restaurant kitchens. *Safety Science* 2015; 80: 87-93.
- Jusoh Z., Abd Shattar N., Abd Majid HAM., Adenan ND. Determination of hazard in captive hotel laundry using semi quantitative risk assessment matrix, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 2016; 222: 915-922.
- Kangavari M., Salimi S., Nourian R., Askarian A. An application of failure mode and effect analysis (FMEA) to assess risks in petrochemical industry in Iran. *Iranian Journal of Health, Safety and Environment* 2015; 2(2): 257-263.
- Kahya E., Ada G., Çetinkaya Ö. Büyük ölçekli bir üretim işletmesinin ofislerinde risk değerlendirmesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Ve Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2021; 29(1): 97-109.

- Koç Z., Tezcan B., Eraydin C. Hasta düşmelerinin değerlendirilmesinde balık kılıçığı yöntemi ile kök neden analizi. *Sağlık ve Hemşirelik Yönetimi Dergisi* 2019; 6(3): 266–272.
- Lele DV. Risk assessment: A neglected tool for health, safety, and environment management, *Indian J Occup Environ Med.*2012; 16(2): 57-58.
- Martins RP., Duarte J., Marques AT. How to prevent the risk of slipping in kitchens?—A short review. In: Arezes P., et al. *Occupational and Environmental Safety and Health. Studies in Systems, Decision and Control.* Springer 2019; 202: 89-96.
- MTMD. Mutfak havalandırma sistemleri şartname DW/172. 2018. retrieved from: https://www.mtmd.org.tr/data/mtmd2017/upload_download/DW_172.pdf
- Noh H., Park S., Cho SG., Kang K., Kim H. A case study on the risk assessment for offshore plant solid desiccant dehydration package by using HAZOP. *Journal of the Korean Society of Industry Convergence* 2020; 23(4_2): 569-581.
- Olçay ZF. Mutfakta iş sağlığı ve güvenliği. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi* 2019; 14(53): 21-34.
- Özbakır O. Evaluating occupational health and safety risks in the textile sector: A Textile Workshop Case Study in Iğdır. *Iğdır Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 2023; 10: 48-58.
- Özfirat M., Özkan E., Kahraman B., Şengün B., Yetkin M. Integration of risk matrix and event tree analysis: a natural stone plant case. *Sādhanā: Academy Proceedings in Engineering Sciences* 2017; 42(10): 1741–9.
- Pei L., Ruslan R., Ahmad M., Abdul Hamid N., Ahmad ANA. Occupational injury profiling among Chinese restaurant kitchen workers in Malaysia. *10th International Conference On Applied Science And Technology* 2022; 2644(1): 30034.
- Pekkarinen A., Anttonen H., Niskanen J. Assessment of health risks in canteen kitchens. *International Journal of Occupational Safety Ergonomics : JOSE* 1996; 2(3): 262-267.
- Penelas ADJ., Pires JC. Hazop analysis in terms of safety operations processes for oil production units: A case study. *Applied Sciences* 2021; 11(21): 10210.
- Purnatimur NA., Rifai M. Analysis of occupational safety and health risk in emergency installations with hospital x yogyakarta using the failure mode effect and analysis (FMEA) Method. *MASHIJO: Medical Science and Hospital Journal* 2023; 2(1): 6-27.
- Qureshi MA., Shakeel S. Risk assessment and HAZOP study of oil and gas sector. *American Journal of Environment, Energy and Power Research* 2013; 1(7): 151-158.
- Ramona SE. Advantages and disadvantages of quantitative and qualitative information risk approaches. *Chinese Business Review* 2011; 10(12): 1106-110.

Resmî gazete. İşyeri bina ve eklentilerinde alınacak sağlık ve güvenlik önlemlerine ilişkin yönetmelik.2013.

<https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=18592&mevzuatTur=KurumVeKurulYonetmeligi&mevzuatTertip=5>

Restaurant Technologies. Commercial kitchen safety 101: How To Prevent Costly Restaurant Injuries.2016. retrieved from: https://www.rti-inc.com/wp-content/uploads/2017/06/KitchenSafety101_Whitepaper_October2016.pdf

Saad M., Mohamad Najib MDH., Pratt TJ. Valid virtual reality applications for commercial kitchen safety training. Environment-Behaviour Proceedings Journal 2022; 7(19): 403-409.

Sari S., Husna H., Novitasari LA., Kirana AP., Munir MS., Zain AZL., Tsabitah TA. Analysis of occupational health and safety at skin cracker factory using Hazard and Operability Study (HAZOP). Journal Industrial Servicess 2022; 8(2):164-169.

Seyfioğlu İ., Kadem FD. Bir ayakkabı işletmesinin fine-kinney yöntemi ile risk değerlendirmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi 2022; 37(4): 925-936.

Singh AK., Kumar RS., Pusti A. Consequence analysis of most hazardous initiating event in electrical energy storage systems using event tree analysis. Journal of Failure Analysis & Prevention. 2022; 22(4): 1646-1656.

Subramaniam S., Murugesan S. Investigation of work-related musculoskeletal disorders among male kitchen workers in South India. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics 2015; 21(4): 524-531.

Sur U., Bingöl N., Şahin O. Bir sıcak iş kazasının olayları ve nedensel faktörler analizi ile araştırılması ve balık kılıcı diyagramı ile kök sebeplerinin bulunması: Dupont Tedlar üretim tesisi örneği. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi 2022; 37(4): 863–874.

Suryadi A., Islami MCP., Ramadhan G. Safety assessment approach of hazard and operability (HAZOP) In A Power Plant Sector. Nusantara Science and Technology Proceedings 2023; (36): 245-251.

Şahin H., Erkal S. Konaklama işletmelerinde çalışan mutfak personelinin iş kazası geçirme durumlarının ve kaza nedenlerinin belirlenmesi. Sağlık ve Toplum 2010; 20(2): 40-48.

Şimşek S. İş sağlığı ve güvenliği kapsamında risk değerlendirme metotlarından Fine Kinney metodunun bir örnekle değerlendirilmesi. İSG Akademik 2020; 2(2): 91-99.

Taşdemir O., Çetinyokuş S. Kimyasal depolama tesisinde risk analizi: bağımsız koruma katmanlarının etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 2023; 39(1): 497-508.

Töz A., Büber M., Köseoğlu B., Şakar C. Analysis of collision accidents in maritime transportation by FTA method. Türk Denizcilik ve Deniz Bilimleri Dergisi 2022; 8(1): 15-30.

- Wang Y., Zhang L., Ren S., Ren B., Chen B., Lu J. Identification of potential CO2 leakage pathways and mechanisms in oil reservoirs using fault tree analysis. *Greenhouse Gases: Science & Technology*. 2020; 10(2): 331-346.
- Yalçın ZG., Dağ M., Aydoğmuş E. Risk analysis by Fine Kinney method in a laboratory. *Journal of Physical Chemistry and Functional Materials* 2018; 1(1): 57-62.
- Yalçınkaya NM., Demirel E., Peker Say N. Tehlikeli maddelerin karayolu ile taşınması sürecinde ortaya çıkan çevresel risklerin hata ağacı analizi (HAA) ile değerlendirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım* 2020; 8(4): 973-984.
- Yazıcı M. İş sağlığı ve güvenliğinde risk yönetimi. Beta Yayınları; 2019.

Orta Karadeniz Bölgesi Yağış Değişimlerinin İstatistiksel ve Grafikselsel Yaklaşımlarla Analizi

Taner Mustafa CENGİZ^{1*}

¹Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü 59850, Tekirdağ

¹<https://orcid.org/0000-0003-1752-8875>

*Sorumlu yazar: tcengiz@nku.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 03.11.2023

Kabul tarihi: 10.06.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Yıllık toplam yağış

Grafikselsel yaklaşım

Orta Karadeniz bölgesi

Yenilikçi trend değişim kutuları yöntemi

ÖZ

Hidrolojik değişkenler arasında en önemlilerinden biri yağışlardır. Yağışın değişkenliğinin belirlenmesi, su yapılarının tasarımı, inşası ve işletilmesi, ayrıca tarım açısından büyük önem taşır. Bununla birlikte, kuraklık analizlerinde hidrolojik verilerin, özellikle de yağış değişkenliğinin belirlenmesi gereklidir. Hidrolojik değişkenlerin trend analizleri, geleceğe yönelik çeşitli çalışmalar için önemli bir faktördür. Hidrolojik değişkenlerin zaman serilerinde meydana gelen tarihsel değişikliklerin incelenmesinde birçok istatistiksel teknik kullanılmaktadır. Klasik istatistiksel yöntemler, incelenen zaman serilerine dayanan bir dizi varsayıma dayanmaktadır. Zaman serilerindeki değişiklikleri analiz etmek için kullanılan istatistiksel yöntemlerdeki varsayımları azaltmanın ve istatistiksel yaklaşımların güvenilirliğini artırmanın bir yolu, grafikselsel ve istatistiksel yöntemleri bir arada kullanmaktır. Bu çalışmada, Orta Karadeniz bölgesinde bulunan Samsun, Ordu, Çorum, Amasya ve Tokat istasyonlarının 1960-2015 yılları arasındaki yıllık toplam yağış trend analizi, hem klasik istatistiksel yöntemlerle hem de grafikselsel yöntemlerle yapılmıştır. Bu çalışmada, tarihsel yağış değişikliklerini analiz etmek için klasik istatistiksel Mann-Kendall yöntemi yanında, veri noktalarının aşma ve aşmama sayıları arasındaki farkın rafine edilmiş kümülatif toplamı (CSD) yöntemi ile Şen ve modifiye edilmiş Yenilikçi Şen Trend Değişim Kutuları (ITA-CB) grafik yöntemleri kullanılmıştır. Mann-Kendall yönteminde tespit edilemeyen gizli trendlerin, CSD yöntemi ve ITA-CB grafik yöntemleri ile değişik aralıklarda belirlenebildiği gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda, grafikselsel ve istatistiksel yöntemler arasında uyumlu bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, grafikselsel trend yöntemleri ile ekstrem yağışların eğilimlerinin daha detaylı bir şekilde incelenebileceği sonucuna varılmıştır. Bu çalışma, yağışlardaki değişkenliklerin yüksek olduğu durumlarda, bu yeni yöntemlerin farklı trendleri daha hassas bir şekilde belirleyebildiğini göstermektedir.

Analysis of Precipitation Changes in the Central Black Sea Region with Statistical and Graphical Approaches

Research Article

Article History:

Received: 03.11.2023

Accepted: 10.06.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

Annual total precipitation

Graphical approach

Central black sea region

Innovative trend analyses change

boxes method

ABSTRACT

One of the most important hydrological variables is precipitation. Knowing the variability of precipitation is very important for the planning, constructing and operation of water structures as well as for agriculture. In addition, it is necessary to determine hydrological data and especially precipitation variability in drought analyses. Trend calculations of hydrological variables are an important factor in various studies about the future. Numerous statistical techniques have been developed and used to analyse historical changes in time series of hydrological variables. Classical statistical methods are based on many assumptions about the time series to be analysed. One way to reduce the assumptions in statistical methods used to analyse changes in time series and to make the results of

statistical approaches more reliable may be to use a combination of graphical and statistical methods. In this study, annual total precipitation trend analyses of Samsun, Ordu, Çorum, Amasya and Tokat stations located in the Central Black Sea region between 1960-2015 were carried out by both classical statistical and graphical methods. For this purpose, the classical statistical Mann-Kendall method as well as the refined cumulative sum of the difference between exceedance and non-exceedance counts of data points, the innovative Sen and Innovative Sen's modified Innovative Trend Change Boxes graphical methods were used to analyze historical rainfall changes. As a result of the study, it was observed that there was a good match between graphical and statistical methods. In addition, it is understood that the orientations of extreme precipitation can be analysed in more detail with graphical trend methods. In this study, it was found that these new methods can identify various trends in precipitation in different groups more precisely, especially when the variability of the data is high.

To Cite: Cengiz TM. Orta Karadeniz Bölgesi Yağış Değişimlerinin İstatistiksel ve Grafiksel Yaklaşımlarla Analizi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(5): 2263-2283.

1. Giriş

Yaşadığımız dünyada, iklimlerin doğal süreçlerinin bozulmasına ve değişmesine çeşitli faktörler neden olmaktadır. Bunlar arasında, enerji kullanımının artmasıyla ortaya çıkan sera gazları, aşırı endüstrileşme, orman ve tarım alanlarının tahrip edilmesi gibi insan kaynaklı etkenler bulunmaktadır. Küresel iklim değişikliği, yağış desenlerinde önemli değişikliklere neden olmaktadır ve bu değişiklikler dünyanın her bölgesinde hissedilmektedir. Son yıllarda birçok bölgede ani ve şiddetli yağışlar görülmektedir. Yağışlardaki bu değişikliklerin hem kurak hem de yağışlı dönemler açısından incelenmesi önemlidir. Son yıllarda yaşanan iklim değişiklikleri, tarım, sanayi ve su kullanımı gibi alanlarda olumsuz etkilere neden olan yağış desenindeki değişikliklere yol açmaktadır. İklimde uzun yıllar boyunca gözlemlenen yavaş değişimler, son yıllarda hızlı bir değişime işaret etmektedir (Karabulut, 2012). Bu durum, tarımsal üretimi olumsuz etkileyecektir. Yağışların azalması ve hava sıcaklığının artmasıyla ortaya çıkan kuraklık, tarımı ve su kaynaklarını olumsuz etkilemekte, bitkilerin büyümesi için gerekli suyun toprakta bulunmamasına neden olmaktadır (Mishra ve Singh, 2010).

Hidrolojik değişkenler arasında önemli bir yere sahip olan yağış ve bu değişkenin doğrudan etkilerini belirlemek, çevresel su miktarı, su kullanımı ve suyun zararlı etkilerinden korunma açısından önemlidir. Yağış, bir ülkenin sürdürülebilir ekonomik kalkınmasını sağlayan su kaynaklarının varlığını değerlendirmek için hayati bir hidrolojik değişkendir (Akınanola ve Ogunjobi, 2017). Son yıllarda sıkça karşılaşılan ani ve şiddetli yağışlar, taşkın afetlerinin sayısını artırmaktadır. Yağışlardaki azalma ise ciddi su kıtlığı ve kuraklık sorunlarına yol açabilir, bu da mahsul veriminin ve gıda güvenliğinin azalmasına neden olabilir (Pendergrass ve ark., 2017). Bu amaçlar doğrultusunda zamanla çeşitli istatistiksel yöntemler geliştirilmiş ve kullanılmıştır. İstatistiksel yöntemlerin kullanımında bazı zaman serileri için kısıtlamalar aranırken, diğerlerinde ise neredeyse hiç kısıtlama olmayabilir (Tabari ve ark., 2019). Gelecekteki su kaynakları projelerinin planlanması ve işletilmesi için, geçmiş hidrolojik değişkenlerin gözlemlenen değerleri incelenerek trendlerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Başlangıçtaki trend testleri, farklı araştırmacıların ortak çalışmalarına dayanmaktadır (Mann, 1945; Kendall, 1975; Lehmann, 1975; Sen, 1968; Haan, 1977). Daha sonra, Helsel ve Hirsch (2002) ile Sonali

ve Kumar (2013), çeşitli başka trend analizi yöntemlerini önermişlerdir. Bu yöntemler, bir çok araştırmacı tarafından farklı hidrometeorolojik değişkenlere uygulanmıştır (Yue ve ark., 2002; Yue ve ark., 2003; Birsan ve ark., 2005; Chowdhury ve Beecham, 2010; Sayemuzzaman ve Jha, 2014; Caporali ve ark., 2021). Türkiye'de, yağış, akım, sıcaklık, göl su seviyesi gibi değişkenler üzerinde yapılan trend analizi çalışmaları önemli bir yoğunluğa sahiptir (Bayazıt ve ark. 2002; Kahya ve Kalaycı, 2004; Yenilmez ve ark., 2011; Haktanir ve Citakoglu, 2014; Türkes ve Erlat, 2018; Yagbasan ve ark. 2020; Çıtakoğlu ve Minarecioğlu, 2019; Çeribaşı, 2019; Citakoglu ve Minarecioğlu, 2021; Dabanli ve ark., 2021).

Şen (2012) tarafından önerilen Yenilikçi Şen Yöntemi (ITA), parametrik olmayan (veri serisinin uzunluğuna, verinin dağılımına ve içsel bağımlılığına bağlı olmayan) grafiksel trend tanımlama yöntemidir. Son yıllarda bu yöntem farklı hidrometeorolojik zaman serilerine birçok araştırmacı tarafından uygulanmıştır (Caloiero, 2018; Ali ve ark., 2019; Alifujiang ve ark., 2020; Pour ve ark., 2020; Boudiaf ve ark., 2021; Gul ve Ren, 2022; Talukdar ve ark., 2023; Agbo ve ark., 2023). Türkiye'de, yağış, akım, sıcaklık gibi farklı hidrometeorolojik değişkenler üzerinde yapılan ITA çalışmaları önemli bir yoğunluğa sahiptir (Kisi, 2015; Öztopal ve Şen, 2017; Tokgöz ve Partal, 2020; Çeribasi ve ark., 2021; Mersin ve ark., 2022; Esit, 2023). Klasik trend yöntemleriyle ITA'yı birlikte kullanan pek çok çalışma bulunmaktadır (Saplıoğlu ve ark., 2014; Kisi, 2015; Şen, 2017; Dabral ve Hangshing, 2017; Öztopal ve Şen, 2017; Güçlü, 2020; Şan ve ark., 2021; Gümüş ve ark., 2022; Buyukyildiz, 2023).

Son zamanlarda geliştirilen bir diğer görsel niceliksel trend analizi yöntemi, toplam farkın birikimi (CSD) testidir. CSD, veri noktalarının aşma ve aşmama sayıları arasındaki farka dayanan bir grafiksel-istatistiksel yaklaşımdır (Onyutha, 2020). Bu metodoloji ile, son yıllarda hidrometeorolojik verilerin değişkenliğini araştıran çalışmalar yaygınlaşmıştır (Onyutha, 2021; Mubialiwo ve ark., 2021; Mubialiwo ve ark., 2023). Alashan (2018), ITA yönteminin görsel açıdan daha iyi anlaşılması için ITA-Değişim Kutuları (ITA-CB) yöntemini önerdi. Bu yöntem, farklı bölgelerden sıcaklık, yağış ve akım verilerinin trend olasılıklarının daha iyi yorumlanması ve detaylı bir şekilde sınıflandırılması amacıyla geliştirilmiş olup ITA-CB yönteminin etkinliğini göstermektedir. Son zamanlarda, ITA-CB yöntemi, farklı hidrometeorolojik zaman serilerinin trend analizlerinde başarıyla uygulanmıştır (Cengiz, 2020; Pandey ve ark., 2021; Anık ve ark., 2021).

Bu çalışma, tarihsel zaman serilerini analiz etmek için tek başına kullanılan yöntemler yerine grafiksel ve istatistiksel yaklaşımların bir arada kullanılmasını önermektedir. Ana amaç, yağıştaki değişimleri çeşitli yöntemler kullanarak anlamaya çalışmaktır. Bu yaklaşım, farklı yöntemlerin sonuçlarını birbirleriyle karşılaştırarak doğrulamayı mümkün kılabilir. Özellikle istatistiksel anlamlılık kavramının yanlış anlaşılması olasılığı göz önünde bulundurularak. MK, ITA, CSD ve ITA-CB yöntemleri, Türkiye'nin Orta Karadeniz bölgesinde 1960-2015 yılları arasındaki yağış değişikliklerini incelemek için kullanılmıştır. Bölge, kış aylarında soğuk, kuru ve stabil hava kütlelerinin; yaz aylarında ise sıcak, nemli ve dengesiz hava kütlelerinin etkisi altındadır. Orta Karadeniz'in kıyı bölgesindeki yamaç yağışları, bölge üzerinden geçen hava kütlelerinin nem topladığı zamanlarda oluşur (Deniz ve ark.,

2011). Bölgedeki yağışın karmaşık doğası, çeşitli hava kütleleri ve karmaşık topografya etkileşimleri nedeniyle grafiksel ve istatistiksel yaklaşımların birlikte kullanılmasının faydalı olacağı düşünülmüştür. Diğer çalışmalarla kıyaslandığında, bu makalenin ana yeniliği, Orta Karadeniz bölgesinin yağış trendlerini belirlemek için son zamanlarda geliştirilen farklı yaklaşımlara dayanmasıdır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışmada, Orta Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Samsun, Ordu, Çorum, Amasya ve Tokat (Şekil 1) şehirlerinin yıllık toplam yağış verileri kullanıldı. Veriler, 1960 ile 2015 yılları arasındaki 55 yıllık dönemi kapsamaktadır. Karadeniz iklimi genel olarak yazları serin, kışları ılıman ve her mevsim yağışlı bir yapıya sahiptir. Bu durumda en büyük etken, dağların kıyıya paralel uzanmasıdır. Orta Karadeniz'in kıyı kesimlerinde bulunan Samsun ve Ordu'nun kıyı bölgeleri, dağların kıydan uzaklaşarak yüksekliklerinin azalması nedeniyle Doğu Karadeniz Bölgesi'nden daha az yağış almaktadır. Samsun ve Ordu illerinde genel olarak ılıman bir iklim görülürken, sahil şeridinde ve iç kesimlerde farklı iklim özellikleri göstermektedir. Karadeniz ikliminin etkisi sahil şeridinde belirgindir; kışları ılık ve bol yağışlı, yazları ise sıcak geçer. İç kesimlere doğru ilerledikçe ise kara iklimi etkisi gözlenir. Orta Karadeniz Bölgesi'nin iç kesimlerinde bulunan Çorum, Amasya ve Tokat illerinde hem Karadeniz hem de Yarı Kurak İç Anadolu iklimi özellikleri gözlenir. Bu bölgelerde kışlar soğuk, yazlar ise ılık ve denize yakın bölgelerde etkisi görülür (Ünal, 2006; Hekimoğlu ve ark., 2007; Gülersoy, 2013; Yılmaz, 2020). Çalışmada kullanılan 5 adet yağış istasyonuna ait istasyon numarası, yıllık toplam yağış verilerinin ortalamaları, standart sapmaları, çarpıklık katsayıları, değişim katsayıları ve basıklık katsayılarının istatistikleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Orta Karadeniz bölgesi ve istasyonların yerleri.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan istasyonlarının yıllık toplam yağış istatistikleri.

İst.	İst. no	Ort. (mm)	St.sap. (mm)	Çarp. K.	Değ. k.	Bas. k.
Samsun	17030	706,39	107,50	0,59	0,15	0,79
Ordu	17033	1029,88	126,38	0,29	0,12	0,51
Çorum	17084	443,39	77,40	0,12	0,18	0,20
Amasya	17085	462,42	80,63	0,77	0,17	0,30
Tokat	17086	435,69	67,43	0,21	0,16	-0,48

2.2. Mann-Kendall (MK) Testi

Parametrik olmayan bu testte veri değerlerinden daha çok verilerin birbirlerine göre sıralanışı yani büyüklük-küçüklük halleri önemlidir. Zaman serisinde her bir değer kendinden önceki değerlerin farkı alınır. MK testinde, zamana göre sıralanmış (X_1, X_2, \dots, X_n) verileri H_0 sıfır hipotezine göre “trend yok” yani veriler zamandan bağımsız ve benzer dağılmış rasgele değişkenlerdir. H_1 hipotezine göre ise $(k \neq j)$ ve $n \geq k, j$ olmak üzere seride X_k ve X_j peş peşe veri değerlerinin dağılımı benzer değildir (Mann, 1945; Kendall, 1975), kısaca veri setinde lineer bir trend olduğudur. Burada; n ; veri sayısı, x_i ve x_j ve j zaman serilerindeki $(j > i)$ veri değerleri $sgn(x_j - x_i)$; işaret fonksiyonu olup aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$S = Sgn(X_j - X_k) \quad (1)$$

$$Sgn(X_j - X_k) = \begin{cases} 1; E\ddot{g}er(X_j - X_k) > 0 \\ 0; E\ddot{g}er(X_j - X_k) = 0 \\ -1; E\ddot{g}er(X_j - X_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$Var(S) = n(n - 1)(2n + 5)/18 \quad (3)$$

Varyans ve Z_{MK} standart normal değişken değeri aşağıdaki formülle hesaplanarak kritik z değeri ile kıyaslanır;

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{Var(S)}} & ; S > 0 \\ 0 & ; S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{Var(S)}} & ; S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

2.2. Kümülatif Sıralama Fark Toplamı Trend Testi ve Teşhisi (CSD)

Kümülatif Sıralama Farkı (Cumulative Sum of Difference) trend testi ve teşhisi yardımıyla, veri noktalarının aşılabilir ve aşılma sayıları arasındaki kümülatif fark toplamına dayalı yaklaşım kullanılarak alt seriler için trend analizi yapılabilir (Onyutha, 2016). Geleneksel olarak, trend analizi, MK testinin tüm zaman serisine uygulayarak sıfır hipotezi H_0 'ın (trend yok) test edilmesini içerir. Bu, verilerdeki gizli kısa süreli artan veya azalan trendler (veya alt trendler) hakkında bilgi eksikliğine yol açar. Alt trendlerden faydalanmak için, hidrolojik zaman serilerindeki trend ve değişkenlik analizleri için CSD geliştirilmiştir (Onyutha ve Kerudong, 2022). Trend analizlerinin CSD'ye dayalı yaklaşımları hem grafiksel tanı hem de

istatistiksel test içermektedir (Onyutha, 2016; Cengiz ve ark., 2020). X, n örneklem büyüklüğü ile seçilmiş verileri temsil ediyorsa ve Y onun kopyasıysa, veri noktalarının aşılma ve aşılmama sayıları açısından dönüştürülmüş bir seri (d) şu şekilde elde edilebilir:

$$d_i = 2 \sum_{j=1}^n sgn_1(y_j - x_i) - \left[n - \sum_{j=1}^n sgn_2(y_j - x_i) \right] \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$sgn_1(y_j - x_i) = \begin{cases} 1 & \text{eğer } (y_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{eğer } (y_j - x_i) \leq 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$sgn_2(y_j - x_i) = \begin{cases} 1 & \text{eğer } (y_j - x_i) = 0 \\ 0 & \text{eğer } (y_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (7)$$

Serideki değişikliklerin grafiksel teşhislerini yapmak için, d'nin kümülatif toplamı olan (c_i), aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir. Aşağıdaki eşitlik ve CSD grafiğini elde etmek için gözlem süresine (örneğin yıl) göre çizilir,

$$c_i = \sum_{j=1}^i d_j \quad 1 \leq i \leq n \quad (8)$$

Burada d, yukarıda tanımlandığı gibidir. CSD grafiğinde, c=0 çizgisi, tamamen trendin olmadığı durumu belirten referans olur. Verinin pozitif (negatif) bir trendi varsa, CSD grafiğindeki dağılım noktaları tipik olarak referansın çoğunlukla üstüne (veya altına) düşen bir eğri oluşturacaktır. Veride herhangi bir trend yoksa dağılım noktaları CSD grafiğinde referansı rastgele keser. Trendlerin önemini grafiksel olarak değerlendirmek için, yukarıdaki eşitliğin c değişkenine başka bir q serisi elde etmek için adım adım bir toplam uygulanır.

$$q_k = \sum_{j=1}^k c_j \quad 1 \leq k \leq n \quad (9)$$

Trendin grafiksel teşhisi için q_k, k veya gözlem zamanına karşı çizilir. Pozitif ve negatif trendler, sırasıyla referansın üstünde ve altında (q_k=0 çizgisi) dağılım grafiğinin sağ kuyruğu ile gösterilir. Pozitif ve negatif trendler, sırasıyla referansın (q_k=0 çizgisi) üstünde ve altında dağılım grafiğinin sağ kuyruğu ile gösterilir. Ayrıca, seçilen bir α, % (100-α) Güven aralığı sınırları oluşturulur ve q_k'ya karşı k grafiğine dahil edilir. Herhangi bir dağılım noktası % (100-α) sınırlarının dışına çıkarsa, H₀ (trend yok) reddedilir, aksi halde H₀ reddedilmez. İstatistiksel olarak, trend istatistiği T_{CSD} kullanılarak hesaplanır (Onyutha, 2016; Cengiz ve ark., 2020).

$$T_{CSD} = \frac{6}{(n^3 - n)} i = 1 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^i d_j \quad (10)$$

$$V_a = \frac{1}{n-1} \left(1 - \frac{10}{17} e^2 - \frac{7}{17} e \right) \quad (11)$$

v_a eşitliğindeki e verilerdeki ilişkinin bir ölçüsüdür. Ortalaması sıfır varyansı bir olan standart normal dağılımı izleyen standartlaştırılmış trend testi istatistiği Z_{CSD} şu şekilde hesaplanır (Onyutha, 2016):

$$Z_{CSD} = T_{CSD} \times \left[V_a \times \left| 1 + \frac{2}{n(n^2-3)} \times \sum_{k=1}^{n-2} (n-k)^3 r_k^\alpha \right| \right]^{-0.5} \quad (12)$$

Son eşitlikteki (12) r_k^α seçilen α 'da önemli gecikme-k seri korelasyon katsayısıdır. $Z_{\alpha/2}$, seçilen bir α 'deki standart normal değişkeni göstermek üzere, α 'de $|Z| > Z_{\alpha/2}$ sıfır hipotez H_0 (trend yok) reddedilir; aksi takdirde H_0 reddedilmez.

2.3. ITA ve ITA-CB Trend Belirleme Yöntemi

ITA yöntemi, zaman serisini iki eşit parçaya ayırarak ardışık iki zaman dilimi arasındaki değişimleri incelemeyi amaçlar (Şen, 2012). Bu yöntemde, veriler ilk veriden başlayarak eşit uzunlukta iki farklı gruba ayrılır ve ardından sıralanır. Sonrasında, ilk grup verileri yatay eksen, ikinci grup verileri ise dikey eksen göstermek üzere bir grafik oluşturulur. Oluşan grafik üzerine 1:1 (45°) doğrusu çizilir ve verilerle bu doğru karşılaştırılır. Eğer grup verileri 1:1 (45°) doğrusu üzerinde dağılıyorsa, incelenen zaman serisinde herhangi bir trend olmadığı anlaşılır. Ancak, eğer dağılım 1:1 (45°) doğrusunun üstünde ise artan bir trend, altında ise azalan bir trend olduğu sonucuna varılır (Alashan ve ark., 2015). Şen'in yönteminin yenilikçi yönü, grafiksel olarak tüm veri aralıklarında trendlerin gözlemlenebilmesidir. ITA yönteminin üstünlüğü analizi yapılan bir zaman serisindeki verileri düşükten yükseğe doğru farklı sınıflara ayırıp bu farklı sınıftaki değişimlerin incelenebilmesidir. (Şekil 4). Düşük, orta ve yüksek değerlerdeki trendler ayrı ayrı analiz edilir. Böylelikle yapılan araştırma ile uç değerlerin trendleri tespit edilebilmektedir. Mesela taşkın için önemli olan yüksek değerlerdeki trendler ya da kurak dönemdeki düşük değerlerdeki trendler şekil üzerinden yorumlanabilmektedir. Şen (2015) tarafından bu yöntem eklenen istatistiksel süreç, sonuçların istatistiksel olarak denetlenmesini sağlamıştır. Bu istatistiksel sürecin işlem adımları aşağıdaki denklemlerde gösterilmiştir.

$$S = \frac{2(\bar{Y} - \bar{X})}{n} \quad (13)$$

$$\sigma_s = \frac{2\sqrt{2}}{n\sqrt{n}} \sigma \sqrt{1 - \rho_{\bar{Y}\bar{X}}} \quad (14)$$

$$\rho_{\bar{Y}\bar{X}} = \frac{E(\bar{Y}\bar{X}) - E(\bar{Y})E(\bar{X})}{\sigma_{\bar{Y}\bar{X}}} \quad (15)$$

Denklemlerde; (\bar{X}) birinci veri grubunun ortalamasını, (\bar{Y}) ikinci veri grubunun ortalamasını, (ρ) birinci ve ikinci veri grubu arasındaki korelasyon katsayısını, s trend eğim değerini, n tüm veri sayısını, σ tüm verilerin standart sapmasını, σ_s eğim standart sapmasını göstermektedir.

$$CL_{(1-\alpha)} = 0 \pm S_{kritik} \sigma_s \quad (17)$$

S_{kritik} belirli bir güven aralığında standart normal dağılımdaki z değeridir. Her istasyonun eğim değeri, s 'nin alt ve üst güven sınırlarının dışındaysa, zaman serisinde bir trend olduğu kabul edilir. Trendin yönü, s 'nin işaretine bağlı olarak (+ ise artan, - ise azalan) belirlenmiş olur.

Ayrılan düşük, orta ve yüksek değerli veri grup trendlerinin sayısal değişimleri Alashan (2018) tarafından ITA-CB Trend Belirleme Yöntemi ile belirlenebilmektedir. Düşük, orta ve yüksek veri grubun aralıkları sırasıyla aşağıdaki şekilde belirlenir.

$$\begin{aligned} X_{düşük} &\rightarrow X < \bar{X} - \sigma_X \\ X_{orta} &\rightarrow \bar{X} - \sigma_X < X < \bar{X} + \sigma_X \\ X_{yüksek} &\rightarrow X > \bar{X} + \sigma_X \end{aligned} \quad (18)$$

Alashan (2018) her grup için değişiklikleri sayısal olarak elde etmek için ITA yöntemine değişim kutularını eklemiştir. ITA-CB yöntemindeki ilk veri seti x , ikinci veri seti y olarak tanımlanır ve yüzdelik değişimleri $((y_i - x_i) / x_i * 100)$ eşitliği ile her grup için hesaplanır. Grupların yüzdelik değişimleri hesaplandıktan sonra minimum, ortalama ve maksimum yüzdelik değişim değerleri her grup için kutu grafiklerinde gösterilir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada incelenen istasyonlarda ölçülen yıllık toplam yağış verilerine göre, beş istasyon arasında en yüksek yıllık toplam yağış ortalaması Ordu'da, en düşük ise Tokat yağış istasyonunda tespit edilmiştir (Tablo 1). Ordu istasyonunu sırasıyla Samsun, Amasya ve Çorum istasyonları izlemektedir. Samsun ve Ordu istasyonlarının standart sapmaları birbirine çok yakınken, Tokat istasyonunun standart sapma değeri bölgede en küçük olarak belirlenmiştir. Çarpıklık katsayısı göz önüne alındığında, istasyonlara ait serilerin tamamı pozitif yönlü çarpıktır. En yüksek çarpıklık Amasya iline ait yağış serileri için hesaplanmış olup, Amasya'yı sırasıyla Samsun, Ordu, Tokat ve Çorum yağış serileri izlemiştir. Değişkenlik katsayısı verilerin değişkenliğini ölçmek için kullanılır. Bu katsayıya göre, en fazla değişkenlik Çorum iline ait yıllık toplam yağışlarda gözlemlenmiştir ve Çorum'u Amasya, Tokat, Samsun ve Ordu istasyonları takip etmiştir. İstasyonlar arasında değişkenlik oldukça benzerdir. Basıklık katsayısı incelendiğinde, Tokat istasyonunun yıllık toplam yağış serilerine ait histogram, diğer tüm istasyonlardan farklı olarak normal dağılıma göre daha basık bir yapı göstermektedir. Çorum yağış serisinin histogramı ise, normal dağılımın histogramına en yakın olanıdır.

3.1. Mann-Kendall Testi

Yıllık toplam yağış verilerinin tam serisi ile birinci ve ikinci yarısını oluşturan alt serilerinin Mann-Kendall (MK) testi ile elde edilmiş olan Z değerleri Tablo 2’de verilmektedir. Tablo 2 incelendiğinde %95 güven aralığında Ordu ve Tokat istasyonlarında yıllık toplam yağışlarında önemli artış trendi belirlenmiştir Zaman serisinin ilk ve ikinci yarısını göz önünde bulundurarak, çoğu yıllık trendin ortadan kalktığı gözlemlenmektedir; sadece Ordu istasyonu, ilk yarısında artan bir trende sahipken, Amasya istasyonu yıllık yağış serisinin ikinci yarısında önemli ölçüde artan trende sahiptir. Diğer istasyonların alt serilerinde anlamlı herhangi bir trend tespit edilmemiştir. Daha evvel 1971-2010 arası yıllık toplam yağışların eğim analizini yapan (Saplıoğlu ve Çoban, 2013) MK testinde Amasya ve Tokat için artan trend tespit etmiştir. MK testi sonucu, aynı zaman aralığında daha önce yapılan çalışmaların sonuçları ile tam olarak uyuşmaktadır (Demir, 2018; Partal ve Yavuz, 2020).

3.2. Kümülatif Sıralama Farkı (CSD)

Yıllık toplam yağışlardaki zamansal farklılıkların kümülatif etkileri, Şekil 2’de bir CSD grafiği olarak gösterilmektedir. Şekil 2 (a–e)’deki yukarı/aşağı oklar pozitif/negatif alt-trendleri göstermektedir. Referans olarak $c = 0$ yatay bir çizgisi alınmıştır. Tablo 3, yıllık yağışların CSD yöntemine göre trend sonuçlarını göstermektedir. Yıllık toplam yağış sonuçlarına göre tüm istasyonlarda H_0 (trend yok) reddedilmemiştir ($p > 0,05$). Zaman serisinin ilk ve ikinci yarısındaki trendler dikkate alındığında, sadece Amasya istasyonunun ikinci yarım serisinde istatistiksel anlamlı artan trend bulunmuştur. CSD grafiğinden, bölgedeki Çorum hariç tüm istasyonların dağılım noktalarının, referansın üzerinde bir eğri oluşturduğu aşikârdır. Bu durum, Samsun, Ordu, Amasya ve Tokat istasyonlarda yıllık yağışta monotonik bir artışın genel olarak tüm veri dönemi boyunca hâkim olduğu anlamına gelmesidir. Bu bulgu, istatistiksel CSD testi sonuçları ile tutarlıdır. Samsun ve Amasya yağış istasyonlarda (Şekil 2a ve d), dağılım noktaları referansın üstünde ve altında küçük eğriler oluşturmuştur. Bu durum, bu iki istasyon için yıllık yağış verilerinde hem pozitif hem de negatif alt trendlerin var olduğu anlamına gelmektedir. Bu bulgu, istatistiksel CSD testinin sonuçlarıyla uyumludur (Tablo 3). Grafiklerde dikkat çeken bir husus, alt trendlerin uzunluklarının istasyonlar arasında değişkenlik göstermesidir ki bu durum, yağışın mekânsal değişkenliğinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 2. Mann-Kendall test sonuçları (%95 güven aralığı için $z_{kr} = \pm 1,96$)

İstasyonu	Tam seri	İlk yarım alt seri	İkinci yarım alt seri
Samsun	1,32	-1,01	1,05
Ordu	2,11	1,97	0,48
Çorum	0,41	1,03	-0,38
Amasya	1,36	0,30	2,04
Tokat	2,03	1,63	-0,54

Tablo 3. Yıllık toplam yağışların CSD yöntemi sonuçları ($p < 0.05$ için $z = \pm 1.96$)

İstasyon	Tüm zaman serisi	İlk yarım alt seri	İkinci yarım alt seri
Samsun	0,97	-1,00	0,86
Ordu	1,88	1,93	0,92
Çorum	0,79	1,00	-0,19
Amasya	1,22	0,35	1,94
Tokat	1,80	1,60	-0,62

Tablo 4'deki istatistiksel sonuçlarda dikkate alınması gereken önemli bir nokta da verilerin birinci ve ikinci yarısının tamamında alt trendlerin meydana geldiği varsayımıyla elde edilmiş olmasıdır. Bununla birlikte, CSD grafikleri, artan ve azalan alt trendlere sahip alt dönemlerin, veri döneminin bilinmeyen zamanlarında ortaya çıkabileceğini açıkça göstermektedir. Şekil 3'te çalışma alanında, yıllık yağış trendlerinin grafiksel olarak tespit edilen sonuçları gösterilmiştir. Bölgedeki tüm istasyonların yağışlarında artışlar görülmektedir. Ancak yağışlarda görülen bu artışlar istatistiksel olarak anlamlı bulunamamıştır. Yani H_0 (trend yok) hipotezi reddedilmemiştir (Şekil 3a-e).

3.3. ITA ve ITA-CB Yöntemi ile Trend Analizi

Orta Karadeniz Bölgesi'nde bulunan 5 istasyona ait yıllık toplam yağış verilerine uygulanan Şen'in ITA yöntemi ile elde edilen saçılma grafikleri Şekil 4'de verilmiştir. Araştırılan bölgedeki 5 istasyon için yıllık toplam yağış verileri, ITA yöntemine göre 0,05 anlamlılık seviyesinde incelenmiş ve eğim değerleri ile kritik Z değerleri Tablo 5'te sunulmuştur. Samsun, Çorum ve Amasya istasyonlarındaki yağış verilerinin ITA yöntemiyle hesaplanan s değerleri, %95 güven düzeyinde hesaplanan kritik değerlerin aralığında bulunmaktadır. Bu durum, istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde anlamlı bir trendin olmadığını göstermektedir. Ancak, Ordu ve Tokat istasyonlarında, Tablo 5'te hesaplanan s değerleri %95 güven düzeyindeki kritik değerlerin dışındadır, bu da istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde anlamlı ve artan bir trendin olduğunu göstermektedir. Şekil 4'teki saçılma diyagramlarında yıllık toplam yağış değerlerine göre, veriler 1:1 doğrusuna göre değerlendirilmiş, düşük, orta ve yüksek değerler olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Bu gruplara dayanarak ITA yöntemiyle trend analizleri gerçekleştirilmiştir. Verilerin 1:1 doğrusuna göre incelenmesi sonucunda, artan, azalan veya herhangi bir trendin olmadığına karar verilmiştir. Samsun istasyonu için Şekil 4.a'da saçılma grafiklerinde, 1:1 çizgisine göre yıllık toplam yağış değişkeninin düşük ve orta değerli veri gruplarında artan trend, yüksek değerli veri grubu için azalan bir trendin olduğu söylenebilir. Ordu için ise Şekil 4.b'de düşük ve orta değerli veri gruplarında artış trendi varken yüksek değerli veri grubunda trend olmadığı görülmektedir. Çorum yağışları için düşük veri grubunda artan trend, orta veri grubunda trend olmadığı, yüksek veri gruplarında artan trend gözlemlenmektedir (Şekil 4.c). Şekil 4.d'de Amasya yağışlarının düşük veri grubunda artan trend, orta veri grubunda trendin olmadığı ve yüksek grubunda artan trendin olduğu tespit edilmiştir. Tokat yıllık toplam yağışlarında ise tüm veri gruplarında artış trendi bulunmuştur.

ITA değişim kutusu (ITA-CB) trend yöntemi sonuçları, düşük, orta ve tüm yağış değerli veri gruplarının değişim oranlarını gösteren kutu grafikler Şekil 5'te ve değişim oran hesaplamaları Tablo 6'da sunulmuştur. ITA-CB yönteminin, yağış değerlerindeki değişim oranlarını düşük, orta ve tüm değerli veri grupları için kutu grafikleri şeklinde gösteren trend analizi grafik sonuçları da Şekil 5'te yer almaktadır. İncelenen bölgedeki tüm istasyonlarda düşük değerli veri gruplarında artış trendi gözlemlenmektedir. Samsun, Ordu, Çorum, Amasya ve Tokat istasyonlarında düşük değerli yağış grubunda sırasıyla %9,61, %18,00, %4,81, %1,68 ve %9,67 artış trendi gözlenmiştir. Bu grupta, Ordu ve Tokat istasyonlarının artış oranları dikkat çekicidir. Yüksek değerli yağış veri gruplarında, sadece Ordu istasyonunda azalış trendi gözlenirken diğer istasyonlarda artış trendi belirlenmiştir. Yağışların yüksek veri grubunda, Ordu istasyonunda -%1,04 azalış trendi gözlenirken, Samsun, Çorum, Amasya ve Tokat istasyonlarında sırasıyla %6,64, %6,69, %4,56 ve %6,64 artış trendleri tespit edilmiştir. Yağışların tüm değerli veri gruplarında, tüm istasyonlarda artan trendler saptanmıştır. Samsun, Ordu, Çorum, Amasya ve Tokat istasyonlarında sırasıyla %8,18, %6,06, %1,75, %2,29 ve %8,18 değişim oranlarıyla artış trendindedir. Bu yöntemin en büyük avantajı, trend değişim oranlarının belirlenmesi ve her yağış verisi için düşük ve yüksek veri değerlerindeki değişim oranlarının görsel olarak kolayca görülebilmesidir. Örneğin; Çorum istasyonunun düşük veri grubuna yakından incelendiğinde, bu düşük grubun artan trend değişim oranının %4,81 olduğu belirlenmiştir. Bu düşük veri grubunda değişimlerin -%21,80 ile %17,53 arasında olduğu gözlemlenmiştir. Uygulanan tüm yöntemlerde, zaman serisinin yıllık ve iki eşit yarım bölümüne göre trend değişimlerinin farklılık gösterdiği açıktır. Örneğin, CSD analizinde Tokat'ın yıllık yağış serisi pozitif trendine (1,80) sahipken, birinci ve ikinci yarı alt serileri sırasıyla pozitif ve düşük negatif trendler (1,60 ve -0,62) göstermektedir.

MK testinde de Tokat'ın ilk ve ikinci yarı alt serileri sırasıyla pozitif ve düşük negatif trendlere (1,63 ve -0,54) sahipken, tüm yıl yağış serileri anlamlı artış trendindedir (2,03). Bu durum, tam zaman serisini dikkate alan trend sonuçlarının, veri döneminin her yarısı içindeki veri noktalarının kullanıldığı durumdan farklı olabileceğini göstermektedir. Bu şekilde, bu çalışmada da olduğu gibi trendlerin kararlılığı da tespit edilebilmekte veya gözlemlenebilmektedir. Güçlü (2018) tarafından da önerildiği gibi kısmi MK veya diğer yöntemler kullanılarak, seçilen verilerden trend değişkenliği ve istikrarı hakkında daha fazla bilgi elde edilebilir. Burada dikkate alınması gereken bir diğer önemli konu, özellikle 1980'lerden sonra Türkiye'de yaşanan sanayileşmenin iklim üzerindeki etkisidir. Bazı şehirlerde (örneğin Samsun), yaklaşık olarak 1985'ten sonra iklimde ve dolayısıyla yağış miktarı ve süresinde büyük değişkenlikler gözlemlenmektedir. Bu da sel ve kuraklık gibi istenmeyen doğal afetlere neden olmuştur (Baglee ve ark., 2017). Bu tür etkiler, insan etkisi gibi, trend analiz çalışmalarında dikkate alınmalıdır. Yöntemler arasındaki farklılıklar, veri düzensizliklerinin analiz sonuçları üzerindeki etkisiyle ilgilidir. Bu nedenle, çeşitli yöntemlerle belirlenen trendler, nihayetinde belirli bir yöntemin seçilmesi gerektiğine yönelik tercihlerdir. Sadece istatistiksel yaklaşımlara güvenmek, trend analizleri için doğru olmayan sonuçlara yol açabilir (Kundzewicz ve ark., 2000). Grafikselsel bir yaklaşım ise veriyi daha iyi anlamak için daha fazla araştırmaya ilham verebilecek çekici veya gizli özellikleri ortaya

çıkabilir (Onyutha, 2015). Örneğin, CSD çizimi verinin ortalama değerindeki adım atlama gibi detayları gösterebilir; bu tür detaylar, ITA veya MK testi gibi yöntemlerle tespit edilemeyebilir. MK ve istatistiksel CSD testlerinin en büyük avantajı, doğası gereği parametrik olmamalarıdır, yani verinin normal dağılım göstermesi gerekmemektedir. Ancak, MK ve CSD testlerinin dezavantajı, bazı varsayımlar altında yapılmalarıdır; bu varsayımların ihlali sonuçların doğruluğunu etkileyebilir. Belirli bir analizde ITA yaklaşımı, değişkenin yüksek, orta veya düşük veri değerlerine göre artıp artmadığını gösterir, ki bu durum hem MK hem de geliştirilmiş CSD testi tarafından ortaya konmaz. Öte yandan, ITA yöntemi uygulanırken, alt trend uzunluğunun veri döneminin yarısı olduğu varsayılır. Ancak, CSD yöntemi ile ortaya çıkabilecek birçok durum bulunmaktadır. Örneğin, tüm veri seti pozitif veya negatif bir trend tarafından domine edilebilir ve dolayısıyla alt trend yoktur. Ayrıca, veri döneminin yarısından daha kısa olan birkaç alt dönemde de alt trendler olabilir. Özetlemek gerekirse, verideki trendler gibi değişiklikleri analiz etmek için uygulanan çeşitli yöntemler, birbirini tamamlayan sonuçlar üreterek, sadece bir yöntemle karşılaştırıldığında daha anlamlı bir sonuca yol açar (Tang ve ark., 2018; Onyutha, 2018; Vido ve ark., 2019).

Tablo 4. Yıllık toplam yağışlardaki doğrusal trendlerin büyüklüğü (mm / yıl).

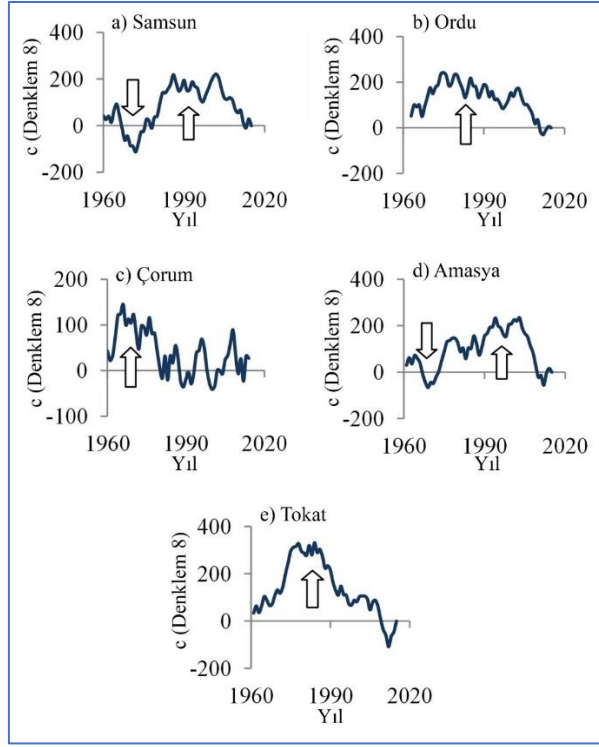
İstasyon	Tüm zaman serisi	İlk yarım alt seri	İkinci yarım alt seri
Samsun	1,20	-3,65	2,61
Ordu	2,22	9,24	1,33
Çorum	0,30	1,88	-0,71
Amasya	0,83	0,71	4,26
Tokat	1,27	3,34	-1,25

Tablo 5. Yıllık toplam yağışların ITA'nın 0,05 anlamlılık seviyesindeki sonuçları.

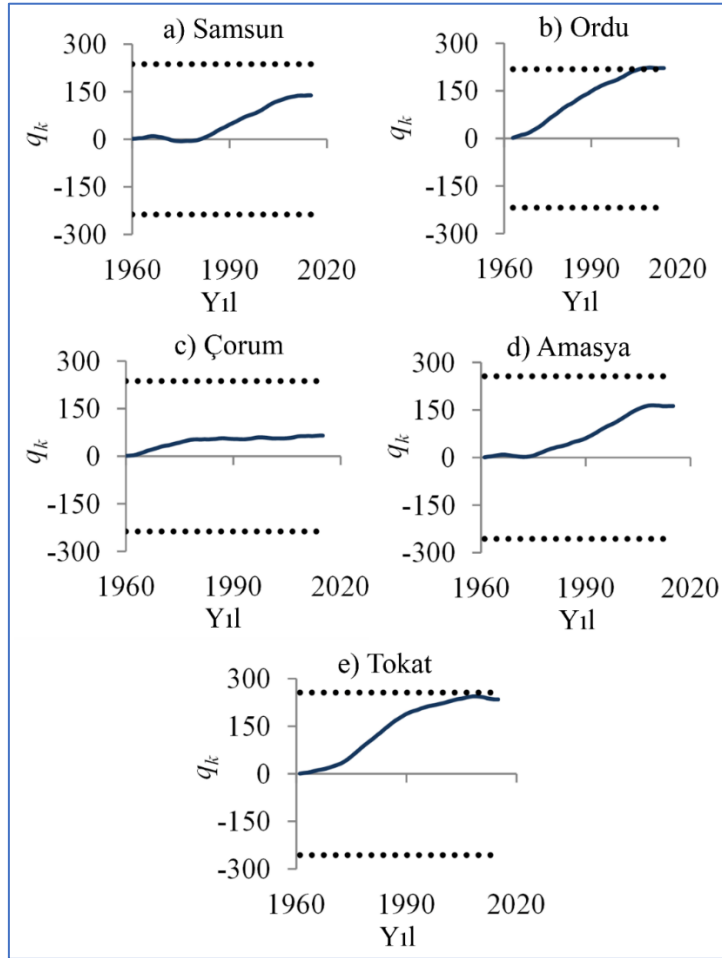
İst.	σ (mm)	ρ	σ_s	s	Sınır	
					değerleri	Trend
Samsun	107,50	0,01	0,72	1,35	-1,42/+1,42	Trend yok
Ordu	126,38	0,13	0,90	1,89	-1,76/+1,76	Artan
Çorum	77,40	-0,27	0,59	0,26	-1,16/+1,16	Trend yok
Amasya	80,63	0,07	0,52	0,38	-1,03/+1,03	Trend yok
Tokat	67,43	0,22	0,50	1,35	-0,99/+0,99	Artan

Tablo 6. Yıllık toplam yağış verileriyle ITA-CB yöntemi değişim oranları (%).

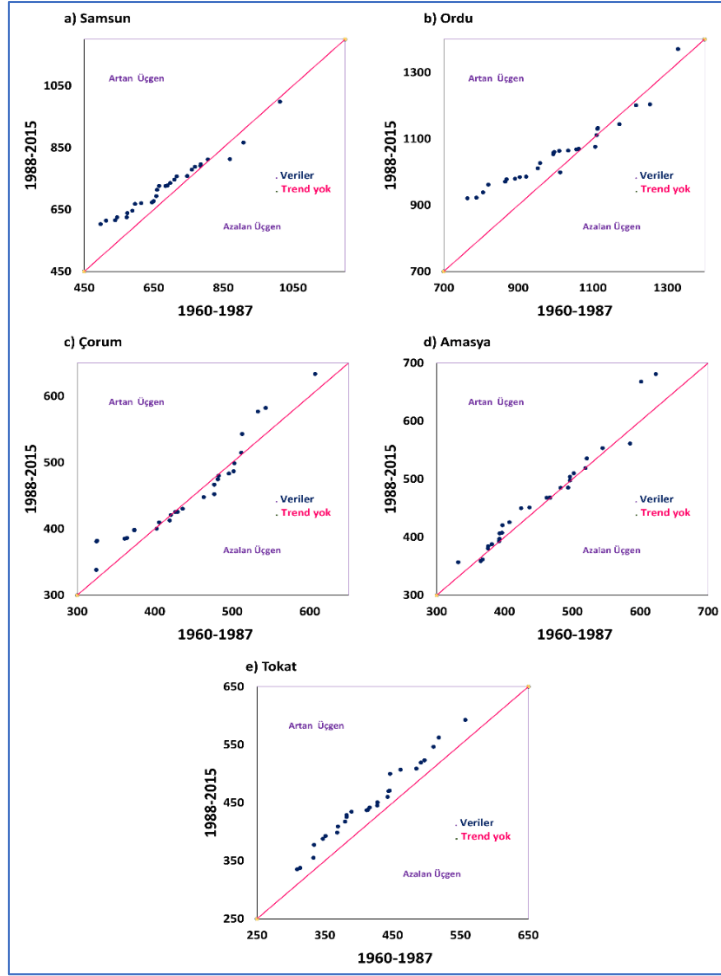
İstasyon	Düşük			Yüksek			Tümü		
	Min	Ort	Maks	Min	Ort	Maks	Min	Ort	Maks
Samsun	6,64	9,61	13,08	5,33	6,64	8,18	13,09	8,18	13,09
Ordu	16,69	18,00	20,69	-3,90	-1,04	3,22	-3,90	6,06	20,69
Çorum	-21,80	4,81	17,53	4,47	6,69	8,29	-21,80	1,75	17,53
Amasya	-1,60	1,68	7,73	-4,00	4,56	2,29	-4,00	2,29	11,15
Tokat	6,64	9,61	13,08	5,33	6,64	8,18	13,09	8,18	13,09



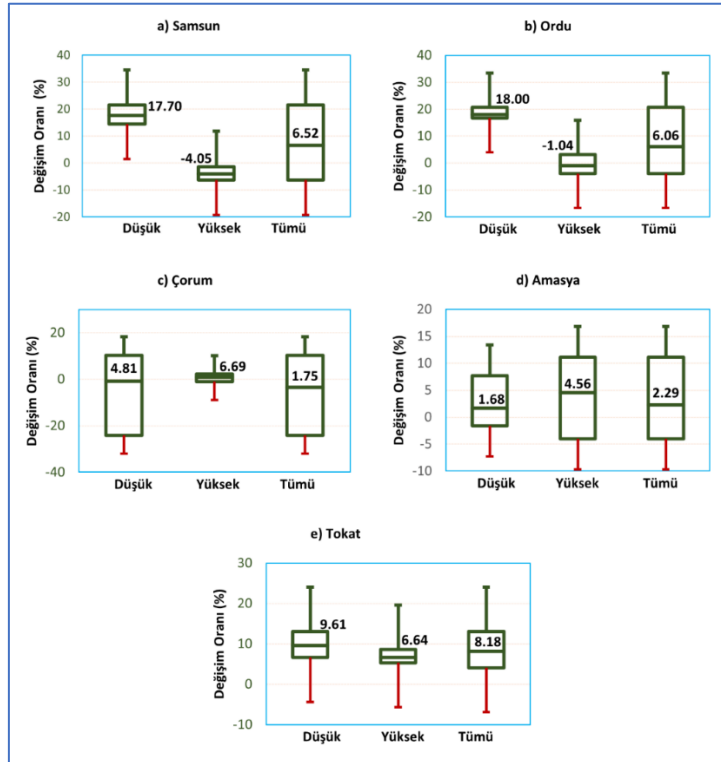
Şekil 2. Çalışma alanı boyunca seçilen istasyonlarda yıllık toplam yağış için CSD grafiği.



Şekil 3. Yıllık toplam yağış için trend önemini belirlemek için CSD tabanlı grafiksel Analiz.



Şekil 4. Yıllık toplam yağış verilerinin ITA yöntemi sonuçları



Şekil 5. Yıllık toplam yağış verilerinin ITA-CB kutu grafikleri

4. Sonuçlar

Bu alışma, 1960'dan 2015'ya kadar Orta Karadeniz Bölgesi'ndeki yıllık toplam yağışların zaman içindeki değişiminin kapsamlı bir incelemesini sunmaktadır. Türkiye'nin Orta Karadeniz bölgesinin 1960-2015 yılları arasında 5 yağış istasyonunda yıllık toplam yağış serilerindeki trendleri analiz etmek için hem CSD hem de ITA ve ITA-CB değişim kutularının grafiksel yöntemleri ve MK'nin istatistiksel yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, genel olarak istasyonların aynı coğrafi bölgede olmasına rağmen yağış trendlerinin değişken olduğu söylenebilir. İncelenen beş istasyonun çoğunda anlamlı olmayan artan trendlerin varlığını gösterirken, Ordu ve Tokat istasyonları anlamlı artan trendlerle belirginleşmiştir. Ayrıca, analiz edilen zaman aralığının kısa olması, bölgenin topografik yapısının oldukça değişken olması ve bölgenin iklim özelliklerinin kısa mesafelerde değişken olması da farklı trendlerin tespit edilmesinde etkili olabileceği düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlar istatistiksel ve grafik yöntemlerin arasında tutarlık olduğunu fakat kısmen de olsa bazı değişiklikler olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmadan çıkarılan sonuç grafiksel ve istatistiksel yöntemleri birlikte kullanarak, grafiksel trend yöntemlerinin, istatistiksel trend yöntemi kullanılarak tespit edilemeyen yağış zaman serilerindeki gizli trendleri belirleyebilme yeteneğine sahip olduğudur. Sonuçlar ayrıca, tam zaman serisinin trend yönü ve büyüklüğünün, trendin kısa bir dönemde tespit edildiği durumdan (veri döneminin her yarısında) farklı olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, tarihsel iklim değişikliği analizleri için yeterince uzun zaman serilerinin kullanılması gerekmektedir, nk kısa zaman serileri doğal iklim döngülerinin yüksek veya düşük dönemlerini yanlış bir şekilde temsil edebilir. Sonuç olarak, bu durum iklim değişikliğinin hidrometeorolojik etkisi hakkında yanılıcı bilgiler sağlayabilir. Geleneksel trend analizi, kayıt dönemi boyunca sürekli bir trendin varlığına odaklanarak nicel açıklamalar sağlar. Zaman serisindeki karmaşık veya dönemsel desenler, test sonuçlarını etkileyebilir veya testin güvenilirliğini azaltabilir. Geçmiş yıllarda hidrolojik değişenler için sıkça kullanılan geleneksel istatistik trend yöntemlerinin önemli bir tamamlayıcısı olarak grafik odaklı trend analizlerinin ilave edilmesinin yeni katkı getirdiği yapılan bu çalışmada da görülmüştür. Grafiksel ve istatistiksel yöntemlerin karşılaştırılması, grafiksel CSD ve ITA yöntemlerinin, istatistiksel MK yöntemi kullanılarak tespit edilemeyen yağış zaman serilerindeki gizli trendleri belirleme yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. Bu şekilde, nicel ve nitel analizlere dayanan bölgesel hidrometeorolojik değişikliklerin daha ayrıntılı ve kapsamlı bir resmi çizilebilmektedir. Hidrolojik değişikliklerin grafik yönelimli trend teşhisi titiz ancak her zaman uygun olmayan geleneksel istatistiksel yöntemlerin hayati bir tamamlayıcısı olarak önerilir. Türkiye genelindeki rasat istasyonlarının sayısının artırılması, teknolojik ekipmanlarla donatılmış yeni rasat istasyonların kurulması ve araştırmacıların gözlem verilerine daha kolay erişim sağlanması, hidrometeorolojik değişkenlikler ile küresel iklim değişikliği olgusunun daha etkili bir şekilde analiz edilmesini sağlayacaktır. Bu girişimlerle daha güvenilir sonuçların elde edilmesine katkı sağlayacaktır. Türkiye gibi hem sel baskınlarına hem de kuraklığa karşı mücadele eden ülkelerde yağış değişikliklerinin ciddi sonuçları olabilir. Sonuçlar, alışma alanındaki sel ve kuraklık felaketleri ile ilişkili riskleri tahmin etme ve yönetme konusunda yer alan su kaynakları

ve tarımsal yöneticiler için faydalı olacağı düşünülmektedir. Farklı iklim bölgelerine sahip olması nedeniyle, Türkiye'de yağış değişiminin etkilerini bölgesel olarak analiz etmek ve potansiyel etkilerini azaltmak için gerekli önlemlerin alınması kıymetlidir.

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

- Agbo EP., Nkajoe U., Edet C. Comparison of Mann–Kendall and Şen’s innovative trend method for climatic parameters over Nigeria’s climatic zones. *Climate Dynamics* 2023; 60(11): 3385-3401.
- Akinsanola AA., Ogunjobi KO. Recent homogeneity analysis and long-term spatio-temporal rainfall trends in Nigeria. *Theoretical and Applied Climatology* 2017; 128: 275-289.
- Alashan S. An improved version of innovative trend analyses. *Arabian Journal of Geosciences* 2018; 11(3): 50-57.
- Alashan S., Toprak F., Şen Z. İklim değişikliğinin Murat nehri su gücü potansiyeline etkisi. 4. Su Yapıları Sempozyumu, 19-20 Kasım 2015, sayfa no:31-30, Antalya.
- Ali R., Kuriqi A., Abubaker S., Kisi O. Long-term trends and seasonality detection of the observed flow in Yangtze River using Mann-Kendall and Sen’s innovative trend method. *Water* 2019; 11(9): 1855.
- Alifujiang Y., Abuduwaili J., Maihemuti B., Emin B., Groll, M. Innovative trend analysis of precipitation in the Lake Issyk-Kul Basin, Kyrgyzstan. *Atmosphere* 2020; 11(4): 332.
- Anderson JE., Shiau SY., Harvey D. Preliminary investigation of trend/patterns in surface water characteristics and climate variations. *Using Hydrometric Data to Detect and Monitor Climatic Change* 1991; 8: 189-201.
- Anık EM., Akçay F., Kankal M., Murat Ş. Doğu Karadeniz Havzası yıllık anlık maksimum akımların eğilim analizi. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology* 2021; 3(1): 1-22.
- Ay M., Kisi O. Estimation of dissolved oxygen by using neural networks and neuro fuzzy computing techniques. *KSCE Journal of Civil Engineering* 2017; 21: 1631-1639.
- Ay M., Kisi O. Investigation of trend analysis of monthly total precipitation by an innovative method. *Theoretical and Applied Climatology* 2015; 120: 617-629.
- Baglee A., Connell R., Haworth A., Rabb B., Acclimatise WB., Uluğ G., Laugesen FM. Pilot climate change adaptation market study. Turkey. *Disclosure* 2017.
- Bayazıt M., Cıgızoğlu HK., Önöz B. Türkiye akarsularında trend analiz. *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi* 2002; 420-422.

- Birsan MV., Molnar P., Burlando P., Pfaundler M. Streamflow trends in Switzerland. *Journal of Hydrology* 2005; 314(1-4): 312-329.
- Boudiaf B., Şen Z., Boutaghane H. Climate change impact on rainfall in north-eastern Algeria using innovative trend analyses (ITA). *Arabian Journal of Geosciences* 2021; 14(6): 511.
- Burn DH., Soulis ED. The use of hydrologic variables in detecting climatic change: possibilities for single station and regional analysis. *Using Hydrometric Data to Detect and Monitor Climatic Change. Proceedings of NHRI Workshop* 1992; 8: 121-130.
- Buyukyildiz M. Evaluation of annual total precipitation in the transboundary Euphrates–Tigris River Basin of Türkiye using innovative graphical and statistical trend approaches. *Applied Water Science* 2023; 13(2): 38.
- Caloiero T. SPI trend analysis of New Zealand applying the ITA technique. *Geosciences* 2018; 8(3): 101.
- Caporali E., Lompi M., Pacetti T., Chiarello V., Fatichi S. A review of studies on observed precipitation trends in Italy. *International Journal of Climatology* 2021; 41: E1-E25.
- Cengiz TM., Tabari H., Onyutha C., Kisi O. Combined use of graphical and statistical approaches for analyzing historical precipitation changes in the Black Sea region of Turkey. *Water* 2020; 12(3): 705.
- Ceribasi G., Ceyhunlu AI. Analysis of total monthly precipitation of Susurluk Basin in Turkey using innovative polygon trend analysis method. *Journal of Water and Climate Change* 2021; 12(5): 1532-1543.
- Chowdhury RK., Beecham S. Australian rainfall trends and their relation to the southern oscillation index. *Hydrological Processes: An International Journal* 2010; 24(4): 504-514.
- Citakoglu H., Minarecioglu N. Trend analysis and change point determination for hydro-meteorological and groundwater data of Kizilirmak basin. *Theoretical and Applied Climatology* 2021; 145(3): 1275-1292.
- Çeribasi G., Ceyhunlu A. Analysis of total monthly precipitation of Susurluk Basin in Turkey using innovative polygon trend analysis method. *Journal of Water and Climate Change* 2021; 12(5): 1532-1543.
- Çeribaşı G. Şen Yöntemi ve trend yöntemleri kullanılarak doğu Karadeniz havzasının yağış verilerinin analiz edilmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology* 2019; 9(1): 254-264.
- Çıtakoğlu H., Minarecioglu N. Trend analysis of monthly average flows of Kızılırmak basin. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences* 2019; 4(3).
- Dabanli I., Şişman E., Güçlü YS., Birpınar ME., Şen Z. Climate change impacts on sea surface temperature (SST) trend around Turkey seashores. *Acta Geophysica* 2021; 69: 295-305.
- Dabral PP., Hangshing L. Analysis of change point of rainfall and its trend in Doimukh (Itanagar), Arunachal Pradesh. *Journal of Soil and Water Conservation* 2017; 16(4): 370-379.

- Demir V. Karadeniz bölgesi yağışlarının trend analizi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:16-20, Samsun, Türkiye, 2018.
- Deniz A., Toros H., Incecik S. Spatial variations of climate indices in Turkey. *Int. J. Clim.* 2011; 31: 394–403.
- Esit M. Investigation of innovative trend approaches (ITA with significance test and IPTA) comparing to the classical trend method of monthly and annual hydrometeorological variables: a case study of Ankara region. Turkey. *Journal of Water and Climate Change* 2023; 14(1): 305-329.
- Gul S., Ren J. Application of non-parametric innovative trend analysis of different time scale precipitation during (1951–2016) in Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Acta Geophysica* 2022; 70(1): 485-503.
- Gumus V., Avsaroglu Y., Simsek O. Streamflow trends in the Tigris river basin using Mann– Kendall and innovative trend analysis methods. *Journal of Earth System Science* 2022; 131(1): 34.
- Güçlü YS. Improved visualization for trend analysis by comparing with classical Mann-Kendall test and ITA. *Journal of Hydrology* 2020; 584: 124674.
- Güçlü YS. Multiple Şen-innovative trend analyses and partial Mann-Kendall test. *Journal of Hydrology* 2018; 566: 685-704.
- Gülersoy EA. Çorum merkez ilçede arazi kullanımının zamansal değişimi (1987-2011) ve çevresel etkileri. *Coğrafi Bilimler Dergisi* 2013; 11(2): 169-194.
- Haan CT. *Statistical methods in hydrology*. The Iowa State University Press, Iowa, 1977.
- Haktanir T., Citakoglu H. Trend, independence, stationarity, and homogeneity tests on maximum rainfall series of standard durations recorded in Turkey. *Journal of Hydrologic Engineering* 2014; 19(9): 05014009.
- Hekimoğlu B., Altindeğer M., Demirbaş AR. Samsun ilinin fiziki durumu ve avantajları. *Samsun Tarım İl Müdürlüğü Yayını* 2007; 13-25.
- Helsel DR., Hirsch RM. *Statistical methods in water resources*. Chapter A3, techniques of water resources, investigations, book 4. U.S. Geological Survey, Shenandoah, 2002.
- Kahya E., Kalaycı S. Trend analysis of streamflow in Turkey. *Journal of Hydrology* 2004; 289(1-4): 128-144.
- Karabulut M. Doğu Akdeniz’de ekstrem maksimum ve minimum sıcaklıkların trend analizi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi* 2012; (Özel Sayı): 37-44.
- Kendall MG. *Rank correlation methods*. Oxford University Press, New York. 1975.
- Kisi O. An innovative method for trend analysis of monthly pan evaporations. *Journal of Hydrology* 2015; 527: 1123-1129.
- Kundzewicz ZW., Robson A. *Detecting trend and other changes in hydrological data*. World Climate Program-Water, 2000, p. 157; Geneva, The Netherlands.
- Lehmann EL. *Statistical methods based on ranks*. Nonparametrics, San Francisco, CA, Holden-Day, 1975; 2.

- Libiseller C., Grimvall A. Performance of partial Mann–Kendall tests for trend detection in the presence of covariates. *Environmetrics, The Official Journal of the International Environmetrics Society* 2002; 13(1): 71-84.
- Mann HB. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society* 1945; 245-259.
- Mersin D., Tayfur G., Vaheddoost B., Safari MJS. Historical trends associated with annual temperature and precipitation in Aegean Turkey, where are we heading?. *Sustainability* 2022; 14(20): 13380.
- Mishra AK., Singh VP. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology* 2010; 391(1-2): 202-216.
- Mubialiwo A., Abebe A., Onyutha C. Changes in extreme precipitation over Mpologoma catchment in Uganda, East Africa. *Heliyon* 2023; 9(3).
- Mubialiwo A., Chelangat C., Onyutha C. Changes in precipitation and evapotranspiration over Lokok and Lokere catchments in Uganda. *Bulletin of Atmospheric Science and Technology* 2021; 2: 1-23.
- Onyutha C. Analyses of rainfall extremes in east Africa based on observations from rain gauges and climate change simulations by cordex rcms. *Climate Dynamics* 2020; 54(11-12): 4841-4864.
- Onyutha C. Graphical-statistical method to explore variability of hydrological time series. *Hydrology Research* 2021; 52(1): 266-283.
- Onyutha C. Identification of sub-trends from hydro-meteorological series. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess* 2015; 30: 189-205.
- Onyutha C. Statistical uncertainty in hydrometeorological trend analyses. *Advances in Meteorology* 2016; 1-26.
- Onyutha C. Trends and variability in African long-term precipitation. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 2018; 32(9): 2721-2739.
- Onyutha C., Kerudong PA. Changes in meteorological dry conditions across water management zones in uganda. *KSCE Journal of Civil Engineering* 2022; 26(12): 5384-5403.
- Öztopal A., Şen Z. Innovative trend methodology applications to precipitation records in Turkey. *Water Resources Management* 2017; 31: 727-737.
- Pandey BK., Khare D., Tiwari H., Mishra PK. Analysis and visualization of meteorological extremes in humid subtropical regions. *Natural Hazards* 2021; 108: 661-687.
- Partal T., Ercan Y. Orta Karadeniz ve Doğu Karadeniz Bölgesinde kuraklık indisleri üzerine trend analizi uygulanması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi* 2020; 11(2): 851-861.
- Partal T., Kahya E. Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes An International Journal* 2006; 20(9): 2011-2026.
- Partal T., Yavuz E. Orta Karadeniz ve Doğu Karadeniz Bölgesinde kuraklık indisleri üzerine trend analizi uygulanması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi* 2020; 11(2): 851-861.

- Pendergrass G., Knutti R., Sanderson B. Precipitation variability increases in a warmer climate. *Scientific Reports* 2017; 7(1): 17966.
- Pour SH., Abd Wahab AK., Shahid, S., Ismail ZB. Changes in reference evapotranspiration and its driving factors in peninsular Malaysia. *Atmospheric Research* 2020; 246: 105096.
- Saplıoğlu K., Çoban E. Karadeniz bölgesi yağış serilerinin trend analizi. VII. Ulusal Hidroloji Kongresi Bildirileri 2013: 500-512, İsparta.
- Saplıoğlu K., Kilit M., Yavuz BK. Trend analysis of streams in the Western Mediterranean Basin of Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin* 2014; 23(1): 313-327.
- Sayemuzzaman M., Jha MK. Seasonal and annual precipitation time series trend analysis in North Carolina, United States. *Atmospheric Research* 2014; 137: 183-194.
- Sen PK. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association* 1968; 63: 1379-1389.
- Sonali P., Kumar Nagesh D. Review of trend detection methods and their application to detect temperature changes in India. *Journal Hydrology*. 2013; 476: 212-227.
- Sutgibi S. Variations and trends in temperature, precipitation and stream-flow series in the Buyuk Menderes River Basin. *Marmara Geog. Rev.* 2015; (31): 398-414.
- Şan M., Akçay F., Linh N. Kankal M., Pham QB. Innovative and polygonal trend analyses applications for rainfall data in Vietnam. *Theoretical and Applied Climatology* 2021; 144: 809-822.
- Şen Z. Innovative trend analysis methodology. *Journal of Hydrologic Engineering* 2012; 17(9): 1042-1046.
- Şen Z. Innovative trend significance test and applications. *Theoretical and Applied Climatology* 2015; 127(3): 39-47.
- Şen Z. Trend identification simulation and application. *Journal of Hydrologic Engineering* 2014; 19(3): 635-642.
- Tabari H., Hosseinzadehtalaei P., Aghaouchak A., Willems P. Latitudinal heterogeneity and hotspots of uncertainty in projected extreme precipitation. *Environmental Research Letters* 2019; 14(12): 124032.
- Talukdar S., Pal S., Shahfahad Naikoo MW., Parvez A., Rahman A. Trend analysis and forecasting of streamflow using random forest in the Punarbhaba River basin. *Environmental Monitoring and Assessment* 2023; 195(1): 153
- Tang L., Yongbo Z. Considering abrupt change in rainfall for flood season division: A case study of the Zhangjia Zhuang reservoir, based on a new model. *Water* 2018; 10(9): 1152.
- Tokgöz S., Partal T. Karadeniz Bölgesinde yıllık yağış ve sıcaklık verilerinin yenilikçi Şen ve Mann-Kendall yöntemleri ile trend analizi. *Journal of the Institute of Science and Technology* 2020; 10(2): 1107-1118.

- Türkeş M., Erlat E. Variability and trends in record air temperature events of Turkey and their associations with atmospheric oscillations and anomalous circulation patterns. *International Journal of Climatology* 2018; 38(14): 5182-5204.
- Ünal Ç. Tokat'ın iklim özellikleri. *Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi* 2006; (2): 171-197.
- Vido J., Nalevanková P., Valach J., Sustek Z., Tadesse T. Drought analyses of the Horne Pozitavie region (Slovakia) in the period 1966–2013. *Advances in Meteorology* 2019; 1-11.
- Yagbasan O., Demir, V. Yazicigil H. Trend analyses of meteorological variables and lake levels for two shallow lakes in central Turkey. *Water* 2020; 12(2): 414.
- Yenilmez F., Keskin F., Aksoy A. Water quality trend analysis in Eymir Lake, Ankara. *Physics and Chemistry of the Earth* 2011; Parts a/b/c, 36(5-6): 135-140.
- Yılmaz Y. Amasya Şehri'nin iklim yapısı ve özellikleri. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 2020; 24(Özel Sayı): 167-186.
- Yue S., Hashino M. Long term trends of annual and monthly precipitation in Japan 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 2003; 39(3): 587-596.
- Yue S., Pilon P., Cavadias G. Power of the Mann–Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology* 2002; 259(1-4): 254-271.



Enhancing Aorta Segmentation in Contrast CT Images: A Novel Deep Architectural Approach

Ömer Faruk BOZKIR^{1*}, Ataberk URFALI², Azer CELIKTEN³, Semih DEMIREL⁴, Abdulkadir BUDAK⁵, Hakan KARATAS⁶, Murat CEYLAN⁷

^{1,7}Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Konya Technical University, Konya, Türkiye

²Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Konya Technical University, Konya, Türkiye

^{3,4,5,6}Akgun Computer Inc., Department of Artificial Intelligence and Image Processing, Ankara, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0002-3696-3613>

²<https://orcid.org/0000-0001-5709-6718>

³<https://orcid.org/0000-0002-6804-737X>

⁴<https://orcid.org/0000-0002-3454-3631>

⁵<https://orcid.org/0000-0002-0328-6783>

⁶<https://orcid.org/0000-0002-9497-5444>

⁷<https://orcid.org/0000-0001-6503-9668>

*Corresponding author: bozkiromerfaruk@gmail.com

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 23.03.2024

Accepted: 08.07.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

Aortic segmentation

AKG-UNet

Computer tomography angiography

Deep learning

Image Processing

Manual segmentation of patient CT images is both time-consuming and labor-intensive. Additionally, classic image processing techniques are insufficient in CT images due to the close pixel values of tissues. Automatic segmentation of the aorta in human anatomy can reduce healthcare workers' workload in preoperative planning. This study compares the performance of the AKG-Unet segmentation model with other models (U-Net, Inception UNetv2, LinkNet, SegNet, and Res-Unet) on thoracic aorta, abdominal aorta, and iliac arteries segmentation in contrast CT images. Initially, pixel intensities in the Kits and Rider datasets were recalibrated. Then, 2D axial images underwent resizing and grayscale normalization. Segmentation models have been trained and tested with 5-fold cross-validation. 2D prediction masks were stacked to generate a 3D output, and spatial information was transferred to the predicted mask. In the 3B aortic segmentation, small objects adjacent to it were removed using image processing techniques. In our study, the AKG-UNET model achieved the highest segmentation results on the AVT dataset with a Dice score of 91.2%, Intersection-Over-Union (IoU) score of 85.6%, sensitivity of 90.9%, and specificity of 99%. A method has been proposed that helps physicians analyze the aortic structure, and segments the aortic structure so that they can intervene in the correct location and make a preoperative evaluation.

Aort Segmentasyonunu Kontrastlı Bilgisayarlı Tomografi Görüntülerinde Geliştirme: Yenilikçi Derin Mimari Yaklaşımı

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 23.03.2024

Kabul tarihi: 08.07.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Aortik segmentasyon

AKG-UNet

Bilgisayarlı tomografi anjiyografisi

Derin öğrenme

ÖZ

Hasta bilgisayarlı tomografi (BT) görüntülerinin manuel segmentasyonu hem zaman alıcı hem de emek yoğun bir işlemdir. Ayrıca, doku piksel değerlerinin yakınlığı nedeniyle BT görüntülerinde klasik görüntü işleme teknikleri yetersizdir. İnsan anatomisinde aortun otomatik olarak segmentasyonu, ameliyat öncesi planlamada sağlık çalışanlarının iş yükünü azaltabilir. Bu çalışma, kontrastlı BT görüntülerinde torasik aorta, abdominal aorta ve iliak arterlerin segmentasyonunda AKG-Unet segmentasyon modelinin diğer modellerle (U-Net, Inception UNetv2, LinkNet, SegNet ve Res-Unet) performansını karşılaştırır. İlk olarak, Kits ve Rider veri kümelerinde piksel yoğunlukları

yeniden kalibre edildi. Daha sonra, 2B eksenel görüntüler yeniden boyutlandırıldı ve gri tonlaması normalleştirildi. Segmentasyon modelleri 5 katlı çapraz doğrulama yöntemi ile eğitilip test edilmiştir. 2B tahmin maskeleri üst üste eklenilerek 3B bir çıktı elde edildi ve tahmin edilen maskeye mekansal bilgi aktarıldı. 3B aortik segmentasyonun yanındaki küçük nesnel görüntü işleme teknikleri ile kaldırıldı. Çalışmamızda, AKG-UNET modeli, AVT veri setinde Dice skoru %91.2, IoU skoru %85.6, hassasiyet %90.9 ve özgüllük %99 ile en yüksek segmentasyon sonuçlarını elde etti. Doktorların aortik yapıyı analiz etmelerine yardımcı olacak ve doğru konumda müdahale edebilmeleri ve ameliyat öncesi değerlendirme yapabilmeleri için aortik yapının segmentasyonunu yapacak bir yöntem önerilmiştir.

To Cite: Bozkır ÖF., Urfalı A., Celikten A., Demirel S., Budak A., Karatas H., Ceylan M. Enhancing Aorta Segmentation in Contrast CT Images: A Novel Deep Architectural Approach. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(5): 2284-2303.

1. Introduction

The aorta, the most significant arterial blood channel in the human body, carries blood from the heart to all other organs. Aneurysms, dissections, stenoses, and calcification diseases that occur in the aorta can be detected using 3D medical imaging and if not diagnosed early, can lead to death (Otaki et al., 2020). Therefore, creating a fully automatic system that efficiently and accurately segments the aorta to detect these abnormalities earlier may be advantageous. This procedure is important for understanding the structure and function of the aortic structure and for the diagnosis, preoperative treatment planning, and postoperative monitoring of aortic diseases.

Today, doctors use radiological imaging techniques such as Computer Tomography (CT) and Magnetic Resonance (MR) to examine the body's anatomy, which is displayed in PACS (Picture Archiving and Communication System). Manual vessel analysis in CT images is both difficult and time-consuming for physicians. Additionally, in CT images, 2D-3D segmentation of the anatomical structure is performed using image processing methods such as level-set, fast marching, region growing, and threshold (Lin et al., 2004; Forcadel et al., 2008; Pratondo et al., 2014; Maolood et al., 2018). However, it is difficult to distinguish the vessel and other tissues in contrast-free CT images because the Hounsfield Unit value of the structures is very similar. As a solution to these problems, deep learning-based automatic segmentation studies are conducted.

The initial stage in image analysis is often segmentation. Segmentation is to divide an image into meaningful regions where different features are held (Zhou et al., 2017). In short, tags are created for each pixel and some inferences are made by making predictions about these tags. Image segmentation in medical images is a critical component for preoperative pathology location, treatment planning, and early diagnosis. Manual segmentation in CT scans is expensive for hospitals and time-consuming for physicians. By performing fully automatic segmentation studies in the medical field the workload of physicians is reduced. In recent years, deep learning techniques have been used in face recognition, autonomous vehicles, and the defense industry (Mendi, 2023). Studies on the segmentation of kidney and stones, brain tumors, polyps, blood vessel segmentation in retinal images, liver segmentation, and other organs have been conducted utilizing deep learning approaches in the field of health (Jin et al.,

2018; Bilic et al., 2019; Aldoj et al., 2020; Onthoni et al., 2020; Ter-Sarkisov, 2020; Ranjbarzadeh et al., 2021; Jha et al., 2023).

Many recent studies have also been carried out on aortic segmentation in CT images using deep learning methods.

Dasgupta et al., (2017) proposed an automatic aortic segmentation algorithm of the thorax region, both with and without contrast, from 120 CT images collected from the National Taiwan University Hospital. In this study, Circular Hough Transform (CHT) is applied to determine the localization of the descending and ascending aorta, then active contour is applied to segment the aortic region. They achieved a dice score of 0.88 in the test results.

Zheng et al., (2018) proposed a fully automated method for Abdominal Aortic Aneurysm (AAA) segmentation using little data in their study. They strengthened the data by applying gray value variation and rotation to prevent memorization as a preprocessing. Then they trained the aortic region in the U-Net model to segment it and finally 3D rendered the data obtained as a result of the segmentation. They provided 82.4% Dice Similarity Coefficient (DSC) in the test results.

Noothout et al., (2018) proposed an extended CNN for aortic segmentation with Deep learning methods using 24 low-dose chest CT scans obtained from the National Lung Screening Trial (NLST). In this study, images from three planes were averaged and yielded a dice score of 0.91 in aortic segmentation. Lareyre et al., (2019) proposed a method for detecting Vascular and AAA. In their study, they performed it in four steps using 40 CT scan data. In the first step, they applied window/level and noise reduction as preprocessing. In the second step, they performed the segmentation of the aortic lumen by determining a contour with the threshold-based method. Finally, they performed segmentation of thrombus and segmentation of calcifications using lumen segmentation. In the test results, the mean sensitivity for segmentation of the aortic lumen was 0.90 ± 0.06 , the mean specificity was 0.9997 ± 0.0004 , the mean Jaccard index was 0.87 ± 0.07 ; they provided an average DSC of 0.93 ± 0.04 .

Morris et al., (2020) proposed a segmentation method with a 3D U-Net model using CT and MR images to segment the heart. In the study, they provided a 0.85 dice score in aortic segmentation.

Fantazzini et al., (2020) proposed a deep learning approach for a spatially compatible segmentation of the thoracic aorta, abdominal aorta, and iliac arteries in their study. First, they performed segmentation with 2D U-Net in axial view to determine the localization of the aorta. They divided the localized aorta into axial, coronal, and sagittal planes and performed resizing, data augmentation (rotation, width shift, height shift), and set the window level and width on the images to 800-200, respectively, as preprocessing. During the training phase, axial, coronal, and sagittal data were trained with three separate U-Net architectures. Finally, they rendered the resulting 2D three segmentation regions in 3D. In their test results, they achieved a DSC of 0.92 ± 0.01 .

Bonechi et al., (2021) in their study, proposed a fully automatic method for segmentation of the abdominal aorta. They presented an automated method for segmentation of the aorta based on 2D CNN using 3D CT scans as input. In the study, they used a dataset consisting of 153 CT images. They analyzed

it using three 2D segmentation meshes, one for each of the axial, sagittal, and coronal planes in the image scan. In the study, they compared two different network architectures, U-Net and LinkNet, by applying ResNet V2 and ResNet34 architectures as backbones. In this study, they applied cropping and adaptive histogram equalization to image dimensions as preprocessing. As a result of the training, they showed that the LinkNet+ResNetV2 model gave the best result. In the test results for the three planes, they obtained an axial 83.45%, coronal 77.11%, and sagittal 76.75% IoU Score.

Wang et al., (2022) proposed a two-stage deep learning method consisting of contrast enhancement and segmentation model to overcome the difficulty in segmentation of non-contrast CT images of the aorta and pulmonary arteries. They used the contrast enhancement model to increase the success of segmentation of the aorta and pulmonary arteries. Applying five-fold cross-validation in training, they obtained Dice coefficients of 0.97 ± 0.66 and 0.93 ± 0.16 in the segmentation results of the aorta and pulmonary artery, respectively.

In their study, researchers presented an approach to improve the performance of aortic segmentation in 18 CT scans (Benčević et al., 2022). In the study, as a preprocess, the image dimensions were 256×256 , the window range of CT scans was 200-500 HU, and they performed normalization on the data in the range of $[-0.5, 0.5]$. Data augmentation methods were applied to these obtained data. They first roughly segmented the training-ready axial data in the U-Net model. The segmentation data they obtained were passed through polar transform networks separately by determining the center points for each object. They inverted the weighted pole estimates they obtained as a result of the network and combined them into a single image. Finally, they performed aortic segmentation by setting a threshold of 0.4. As a result, they obtained a 0.932 ± 0.027 Dice score and 0.895 ± 0.033 mIoU score in aortic segmentation.

Brutti et al. (2022) proposed a method for automatic partitioning of intraluminal thrombi within the aorta and subsequent analysis of abdominal aortic aneurysm (AAA) geometry using CT angiography (CTA) images. The dataset used in their study comprised 85 CTA scans provided by IRCCS Ospedale Policlinico San Martino (Genoa, Italy). They performed lumen segmentation using a U-Net model and, for thrombus segmentation, they initially localized the aortic structure in three separate planes using a U-Net model and then conducted the segmentation process. The obtained results yielded a Dice score of 0.89 ± 0.04 for thrombus segmentation.

In this study, deep learning algorithms were used to segment the aortic structure extending from the left ventricle to the abdominal region in contrast to CT image scans, and 3D visualization was performed. The study aims to achieve full automatic segmentation of the thoracic aorta, abdominal aorta, and iliac arteries. This will enable 3D analysis of the aortic lumen and assist doctors in preoperative planning and periodic follow-up.

It has been observed that models in the literature are inadequate for aortic segmentation and particularly for segmenting small objects. To address this issue, the AKG-Module was developed, leading to the

creation of the novel AKG-Unet model. AKG-Unet not only improves performance but also significantly reduces computational cost.

The high number of parameters in existing models, the need for training separate models for each plane, and the use of 3D CNN structures prolong both training and prediction times. To overcome these challenges, AKG-Unet integrates Depth-Wise and SE blocks. These blocks enhance the model's efficiency by reducing the number of parameters while improving performance.

The unique architecture of AKG-Unet is notable for its ability to simultaneously extract both low-level and high-level features. In the encoder section, the use of 7×7 depthwise separable convolutions and SE blocks optimizes performance and increases efficiency. These features ensure that AKG-Unet maintains its efficiency even when working with large datasets and high-resolution images.

In conclusion, AKG-Unet has the capacity to create more complex structures and produce more precise results compared to traditional U-Net and Inception U-Net models. These characteristics make AKG-Unet a reliable model that demonstrates superior performance, particularly with complex and detailed image data.

The main contributions of this study are presented below:

- We took advantage of a brand-new dataset of contrast CT imaging scans from, published in 2022 (Radl et al., 2022).
- A new AKG-UNet segmentation network was designed to improve the success of aortic segmentation.
- In the new dataset, the AKG-UNet, U-Net, Inception U-Netv2, LinkNet, SegNet and Res-UNet segmentation algorithms were tested, and the results are presented comparatively (Ronneberger et al., 2015; Badrinarayanan et al., 2017; Chaurasia et al., 2017; Delibasoglu et al., 2020; Diakogiannis et al., 2020; Urfali et al., 2023).
- Results were obtained with a 2D Convolutional Neural Network (CNN) using axial images. Afterward, 3D segmentation results were visualized with the Medical Imaging Interaction Toolkit (MITK) interface program and post-preprocessing methods.

The remaining parts of this article are organized as follows. In the second part, related studies are given. In the second part, the data set used, the methods followed, the newly designed AKG-UNet model used in the study and finally the performance criteria are explained. In Chapter 3, the results of the study are compared and presented. In Chapter 4, the result of the study is explained briefly and concisely.

2. Material and Method

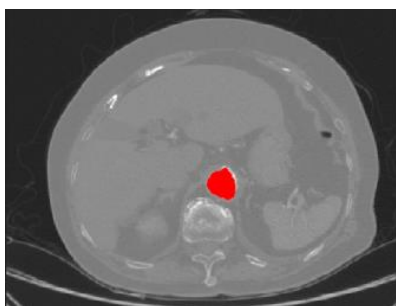
In this section, the dataset is explained in detail in section 2.1. In Section 2.2, preprocessing done on the dataset is explained. The system architecture is explained in detail in Section 2.3. In Section 2.4, the designed AKG module and AKG-Unet structure are explained. Section 2.5 describes the performance criteria used in the study to compare the models.

2.1. Dataset

The AVT dataset consists of the combination of Dongyang Kits Rider datasets, and this dataset was published by Radl et al. (2022). The AVT dataset was also used our study. This dataset comprises contrast-enhanced scans of the aorta and its branches, including the thoracic aorta, abdominal aorta, and iliac artery, specifically designed for segmentation in deep learning algorithms. As seen in Table 1, information for the Dongyang, Kits, and Rider datasets is provided. In this study, a total of 22,753 axial sections from 56 CT scans were utilized across the Dongyang, Kits, and RIDER datasets. The RIDER dataset encompasses not only normal image scans but also includes pathologies such as AAA and Aortic Dissection.

Table 1. Dataset properties (Yuan et al., 2023).

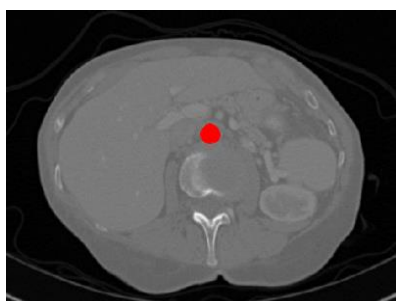
Image Information	DONGYANG	KITS	RIDER
Image Size	512×666	512×512	512×512
Number of Axial Scans	2840	5394	14519
Number of Cases	18	20	18
Slice thickness	2/3/3 mm	0.5/5/5 mm	0.625/0.625/2.5 mm
Pathologies	None	None	AD, AAA



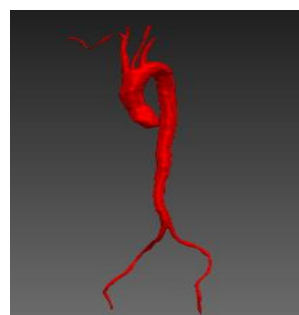
(a)



(b)



(c)



(d)

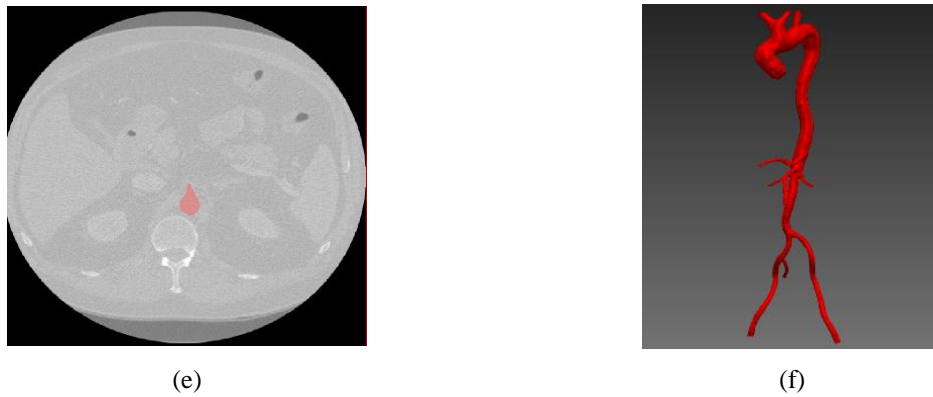


Figure 1. 2D images and 3D ground truth masks from different dataset (Radl et al., 2022) (a) 2D axial view in Dongyang dataset, (b) 3D axial view in Dongyang dataset, (c) 2D axial view in Kits dataset, (d) 3D axial view in Kits dataset, (e) 2D axial view in Rider dataset, (f) 3D axial view in Rider dataset

2.2. Preprocessing

To successfully train deep learning networks, data preprocessing is essential. Below, all the steps related to data preprocessing are explained in order.

- In axial slices in the Dongyang, Kits, and Rider datasets, 512×666 and 512×512 image sizes were resized to 256×256 .
- The central intensities of the aorta, which are clinically significant in the Kits and Rider datasets, are approximately 1024 units higher compared to the D dataset. This pixel difference may lead to the inability to obtain HU values in the same range across all datasets, potentially causing a decrease in training success. Therefore, we adjusted all pixel values in the Kits and Rider datasets by reducing them by 1024 units (Yuan et al., 2023).
- The HU range in the Dongyang, Kits, and Rider datasets were set to 200-500.
- 0-1 grayscale normalization process was applied to the images.

2.3. Aortic Segmentation

The recommended approach for 3D segmentation of the aorta from 2D CT scans is as shown in Figure 2. As seen in the system architecture, the contrasted images are first preprocessed. After preprocessing, the data were trained with AKG-UNet, U-Net, Inception U-Netv2, LinkNet, SegNet, and Res-UNet models. At the end of the training, the test process was carried out and the obtained axial mask images were converted to nii format by overlapping. The location header information of the original image series was transferred to the resulting 3D prediction masks. By applying the method of removing small-area objects on the predicted series, the false negative objects that were segmented around the vessel as a result of prediction were cleaned and improved. 3D prediction masks were visualized in 3D in the MITK application (MITK-Diffusion, 2023). Finally, the 3D prediction masks obtained from AKG-UNet, U-Net, Inception U-Netv2, LinkNet, SegNet and Res-UNet were compared using performance metrics.

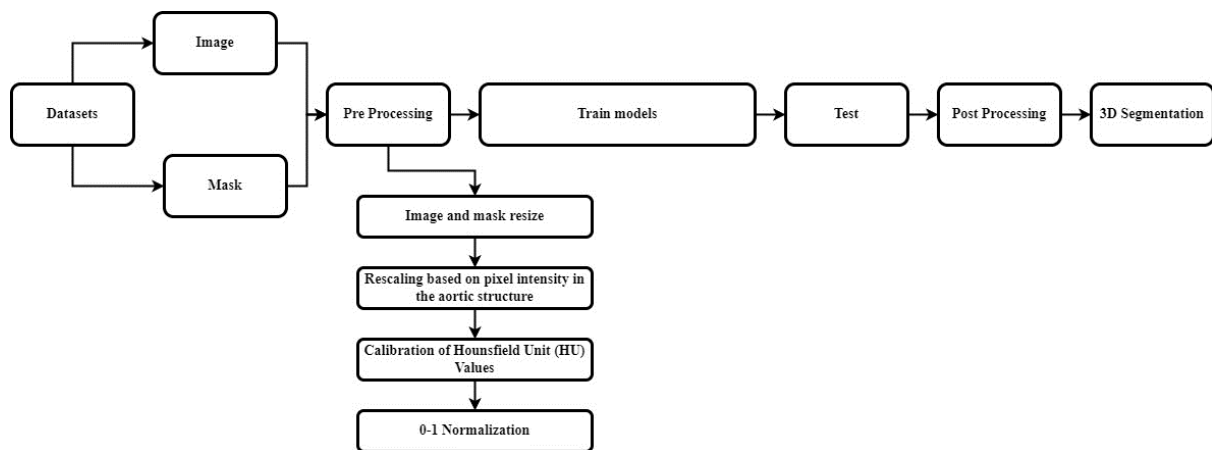


Figure 2. System architecture

2.4. AKG-Unet

When compared to the conventional U-Net and Inception U-Net, AKG-Unet exhibits a distinct architectural design, as seen in Figure 3. This differentiation is most pronounced in the configuration of the encoder section. The principal departure from Inception U-Net lies in the incorporation of specialized components referred to as the “AKG Module” within the encoder module of AKG-Unet (Urfali et al., 2023). A notable innovation introduced by this unique module is its capacity to amalgamate filters of varying dimensions. The distinctive architecture of AKG-Unet not only enhances performance but also reduces computational costs and power consumption. This advantage becomes particularly prominent when juxtaposed with similar models such as Inception U-Net and the conventional U-Net. Notably, the utilization of the AKG Module enables the construction of more intricate structures while necessitating fewer input parameters. Consequently, the model operates at an accelerated pace and requires less memory. AKG-Unet maintains its operational efficiency even when processing extensive datasets and high-resolution images, thanks to reduced computational overhead. The encoder section plays a pivotal role in data processing and feature extraction. Unlike the conventional U-Net, AKG-Unet employs a unique approach in its encoder component. It commences with the conventional 3×3 binary convolution process as the initial step in the extraction of crucial information. Subsequently, the AKG Module is seamlessly integrated, facilitating the model’s efficient construction of increasingly intricate structures. This integration enhances the network’s ability to accurately represent data, resulting in more precise outcomes. In contrast to the conventional U-Net architecture, the decoder section of AKG-Unet adopts a different strategy. While traditional U-Net models frequently employ binary 3×3 convolutions, we opt for the more efficient “depthwise separable convolutions” in the decoder section (Chollet, 2017). This preference is founded upon a fundamental principle in U-Net architecture: essential features are extracted in the encoder section and subsequently relayed to the decoder section. Depthwise separable convolutions effectively reduce the number of parameters, eliminating the need for superfluous weights

and diminishing pixel-level dependencies. Consequently, a lighter and more computationally efficient model is achieved. In the case of AKG-UNET's decoder section, the objective is not only parameter reduction but also the preservation of performance. Compared to conventional convolutions, depthwise separable convolutions can achieve similar performance with fewer parameters. This translates to reduced computational costs, expedited training, and swifter results. The incorporation of the AKG Module within the framework of AKG-UNET equips it with the capability to express more intricate features, constituting a significant advantage. This attribute contributes to the model's capacity to produce more accurate results. AKG-UNET exhibits the potential to yield superior outcomes compared to conventional U-Net and Inception U-Net models, particularly when dealing with complex and detailed image data. The unique encoder design of AKG-UNET empowers the model to efficiently generate more intricate structures, culminating in outcomes that are notably precise and accurate.

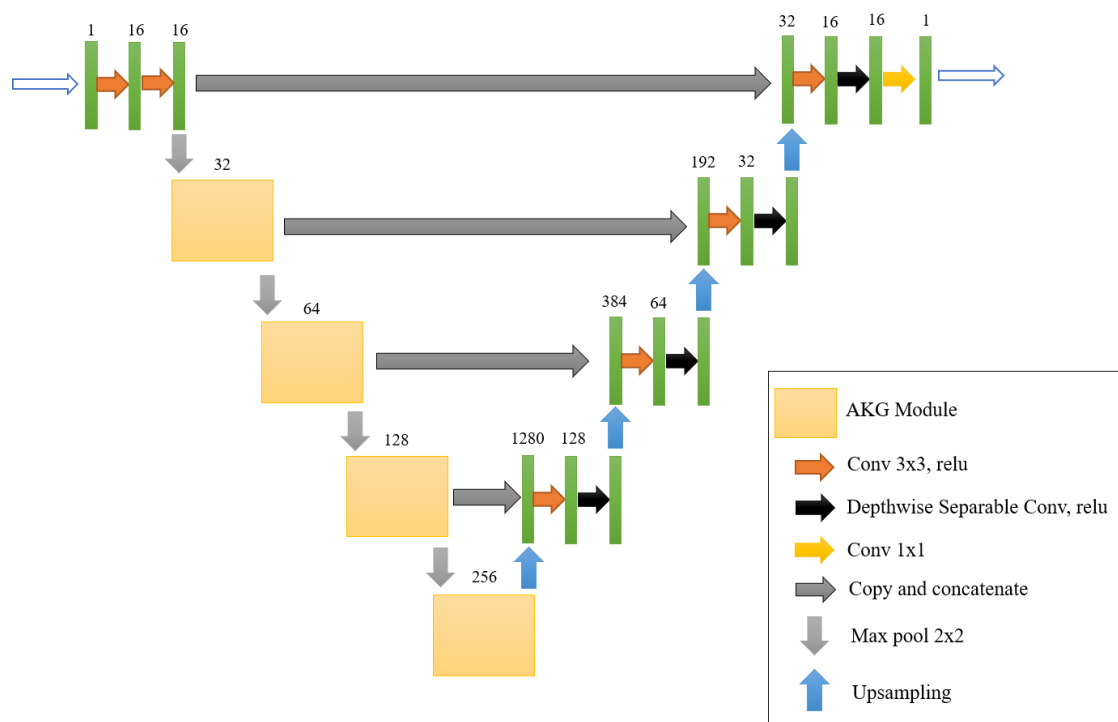


Figure 3. AKG-UNET architecture (Urfali et al., 2023)

2.4.1. AKG-Module

Since GoogleNet initially made the “Inception module” available, it has grown significantly in prominence, especially for issues with medical image processing (Szegedy et al., 2015). This section aims to provide a technical explanation of the fundamental functionality of the module, referred to as the “AKG-Module” as illustrated in Figure 4 (Urfali et al., 2023). The Inception module is exceptional in that it can concurrently extract both low-level and high-level characteristics. With this capacity, feature quality is improved, variety is increased, and better outcomes are possible. The Inception module produced outstanding results even in its early iterations, and it has since been enhanced in subsequent research. To increase the effectiveness of the Inception module, several changes have been added. These

improvements attempt to decrease the amount of parameters while enhancing the performance of the module. The Inception module of the AKG module now has 7×7 size depthwise separable chunks. This decreases the amount of parameters while improving the performance of the module. After the module, SE blocks were added, which improved performance while spending less on computation (Hu et al., 2023). Similar to attention processes, SE blocks function by highlighting critical characteristics and suppressing less significant ones.

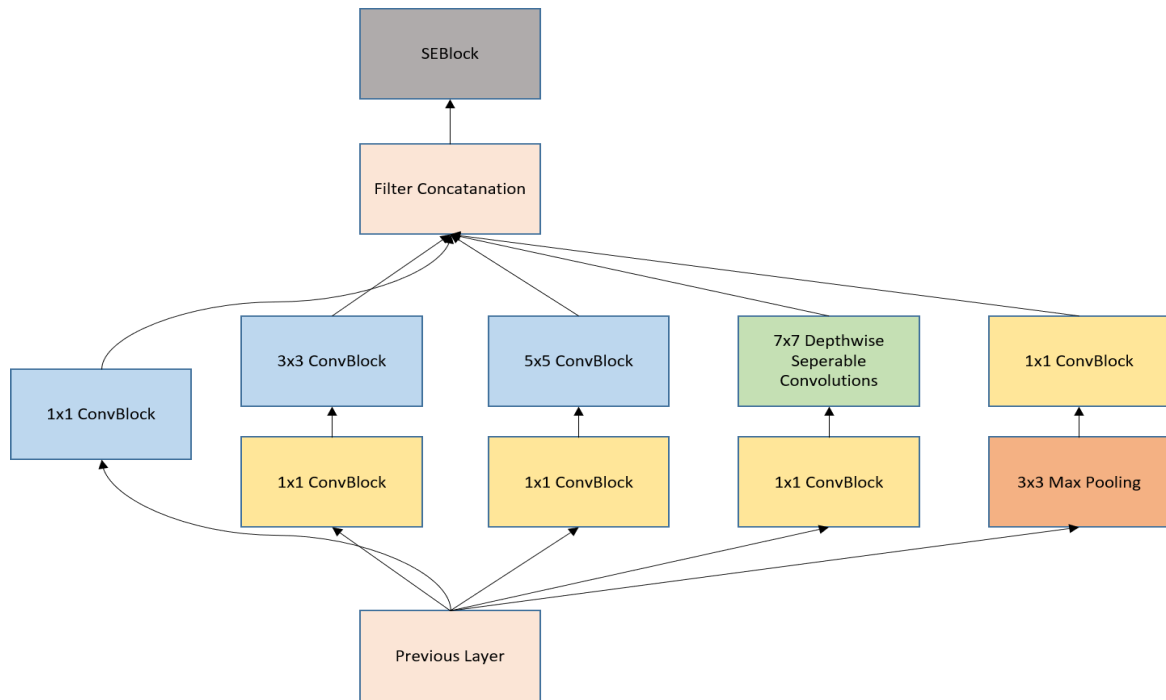


Figure 4. AKG-MODULE architecture (Urfali et al., 2023)

2.5. Performance Metrics

In deep learning studies, metrics are used to measure the performance of the model and to compare different models. In this study, four different pixel-based performance measures, namely Sensitivity, Specificity, Dice, and IoU, were calculated to compare success measures in AKG-UNet, U-Net, Inception U-Net, LinkNet, SegNet, and Res-UNet models. The Confusion Matrix is a matrix model that gives information about the classification performance over the real and predicted images on the data. As seen in Table 2, the columns represent the estimation of positive and negative, rows the actual positive and negative. By using the values in this matrix, the calculations of Sensitivity, Specificity, Dice, and IoU metrics were made.

- TP: Examples where the true value is 1 (True) and the estimated value is 1 (Positive).
- FN: Examples where the actual value is 1 (True) but the estimated value is 0 (Negative).
- FP: Examples where the true value is 0 (False) but the predicted value is 1 (Positive).
- TN: Examples where the true value is 0 (False) and the predicted value is 0 (Negative).

2.5.1. Sensitivity

Sensitivity, as shown in equation 1, expresses the ratio with which the pixels that need to be segmented in the image during a segmentation process can be detected.

$$\text{Sensitivity} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (1)$$

2.5.2. Specificity

Specificity, as seen in equation 2, expresses the ratio at which the pixels that should not be segmented on a pixel basis in a segmentation process can be detected.

$$\text{Specificity} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (2)$$

2.5.3. Dice score

Dice score is a pixel-based performance measure used especially in health studies. It is calculated as shown in equation 3.

$$\text{Dice} = \frac{2 * TP}{2 * TP + FN + FP} \quad (3)$$

2.5.4. Intersection-Over-Union (IoU, Jaccard Index)

The Jaccard Index, often known as Intersection over Union (IoU), is one of the most popular metrics in semantic segmentation. It is calculated as seen in Equation 4. This metric is also associated with the Dice calculation.

$$\text{IoU} = \frac{TP}{TP + FP + TN} \quad (4)$$

3. Results and Discussion

This experimental study was performed using 56 contrast-enhanced CT image scans from three different datasets. Training, validation, and testing were performed under the Windows 10 operating system, using Intel(R) Core (TM) i7-10700 CPU @ 2.90 GHz processor, 16.0 GB Memory, and NVIDIA® GeForce RTX 3060 12GB graphics card. Python software language was used in the whole process of the study. Anaconda's Spyder ide was used during the training and testing process. In this study, our designed AKG-UNet model was compared with U-Net, Inception U-Netv2, LinkNet, SegNet and Res-UNet models, and the Cross Entropy + Dice loss was employed as the hyperparameter during the training process. The learning rate of the models was set to 0.001, batch size 2, and epoch number 50. Root Mean Square Propagation (RMSprop) was used as the optimization algorithm to minimize the overall error and loss function. 10% of the data was set aside for testing. The remaining 90% was used for training

with 5-fold cross-validation. The 2D images obtained at the end of the test process were combined and turned into 3D in NIfTI format. Two processes were carried out as post-processing. In the first of these, although the 2D estimated masks were detected close to the truth, distortion was detected in the 3D images, as seen in Figure 5a, due to the lack of coordinate information of the 3D scan created. This problem was solved by automatically transferring the coordinate information in the original image to the estimated mask scan with the Python code, as seen in Figure 5b. Finally, the false negative regions in the 3D images as a result of the segmentation were removed with the remove small object function of the skimage library, as seen in Figure 6, and the images 6a and 6b have been cleaned and the 3D images improved, as seen in 6c and 6d.



Figure 5. Applying original image metadata onto the predicted masks. (a) 3D image obtained as a result of the test, (b) 3D image with location information transferred from original scan to estimated scan.

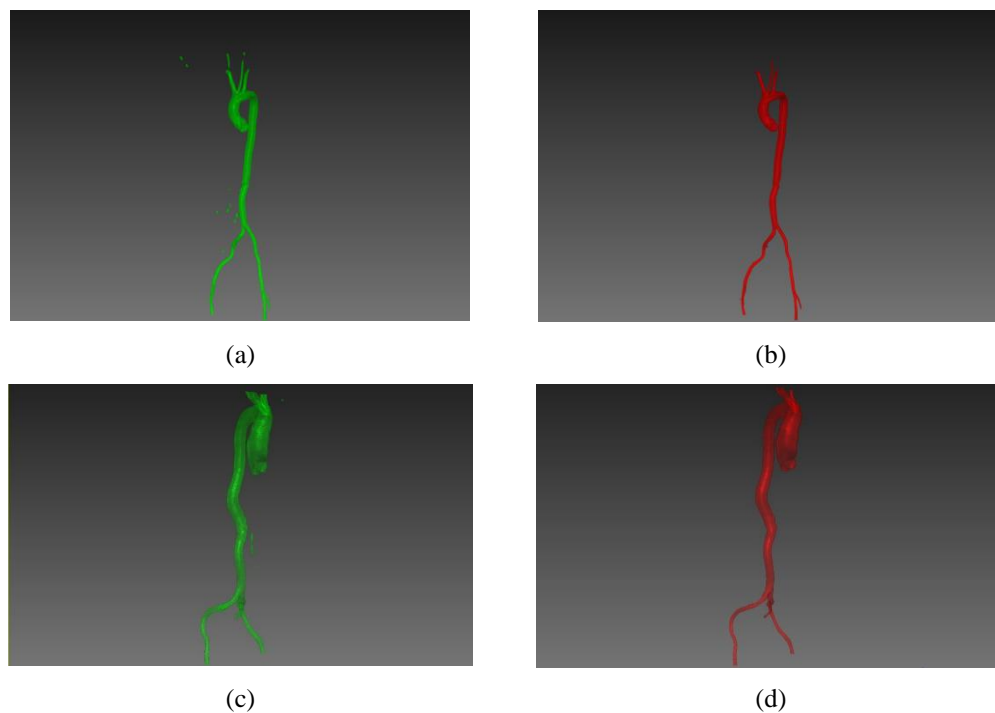


Figure 6. Reducing false positives in predicted 3D masks. (a) and (c) Show the predicted mask, (b) and (d) Remove Small Object

In this study, the test results obtained by combining DONGYANG, KITS, and RIDER data of LinkNet, SegNet, ResUnet, U-Net, Inception U-Netv2, and AKG-UNet models trained on 2D axial images with 5-fold Cross Validation are compared in Table 3. In LinkNet, 87.2% Dice, 77.4% IoU, %82.9 sensitivity, and 99.9% specificity was obtained, 84.9% Dice, 74.0% IoU, 79.3% sensitivity, 99.9% specificity were obtained in SegNet, and 87.5% Dice, 78.1% IoU, 83.1% sensitivity, 99.9% specificity were obtained in ResUNet, and 90.2% Dice, 82.2% IoU, 87.6% sensitivity, 99.9% specificity were obtained in U-Net, and 90.9% Dice, 83.3% IoU, 88.8% sensitivity, 99.9% specificity were obtained in Inception U-Netv2, and 91.2% Dice, 85.6% IoU, 90.0% sensitivity, 99.9% specificity were obtained in AKG-UNet. In the training results obtained by combining the Dongyang, KITS, and RIDER datasets, it was seen that the AKG-UNet model gave higher results than the other models. Figure 7 shows the 2D axial results obtained by U-Net, Inception U-Netv2, LinkNet, SegNet, Res-Unet, and AKG-UNet models, respectively. Finally, the 3D segmentation results of the models are shown as shown in Figure 8.

Table 3. Dongyang, Kits and Rider datasets test results by applying 5-Fold Cross-validation on LinkNet, SegNet and Res-Unet, Inception U-Netv2, U-Net, AKG-UNet models

DONGYANG+KITS+RIDER (Yuan et al., 2023)	DICE	IOU	SENS	SPE	MODEL PARAMETER(M)	Weight Files(MB)
LinkNet	0.872	0.774	0.829	0.999	11,527,234	44
SegNet	0.849	0.740	0.793	0.999	29,443,010	112
ResUNet	0.875	0.781	0.831	0.999	13,040,770	49.8
U-Net	0.902	0.822	0.876	0.999	31,036,546	124.2
Inception U-Netv2	0.909	0.833	0.888	0.999	32,041,850	125.3
AKG-UNet	0.912	0.856	0.900	0.999	10,413,408	40.8



(a)



(b)



(c)

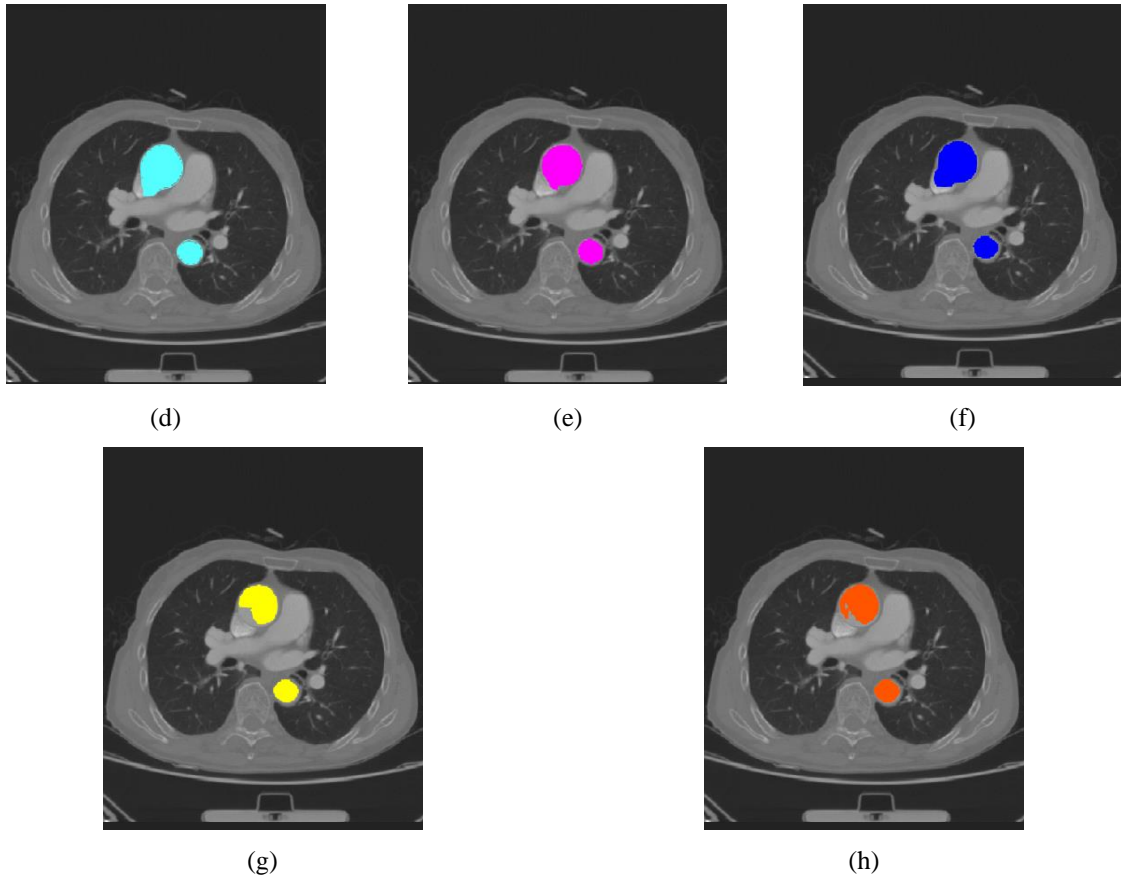


Figure 7. Segmentation results of the aorta in 2D axial slices. (a) Input test image, (b) ground truth mask of the input test image, (c) Predicted mask by using AKG-UNet on the test image, (d) Predicted mask by using Inception U-Netv2 on the test image, (e) Predicted mask by using U-Net on the test image, (f) Predicted mask by using ResUNet on the test image, (g) Predicted mask by using LinkNet on the test image, (h) Predicted mask by using SegNet on the test image

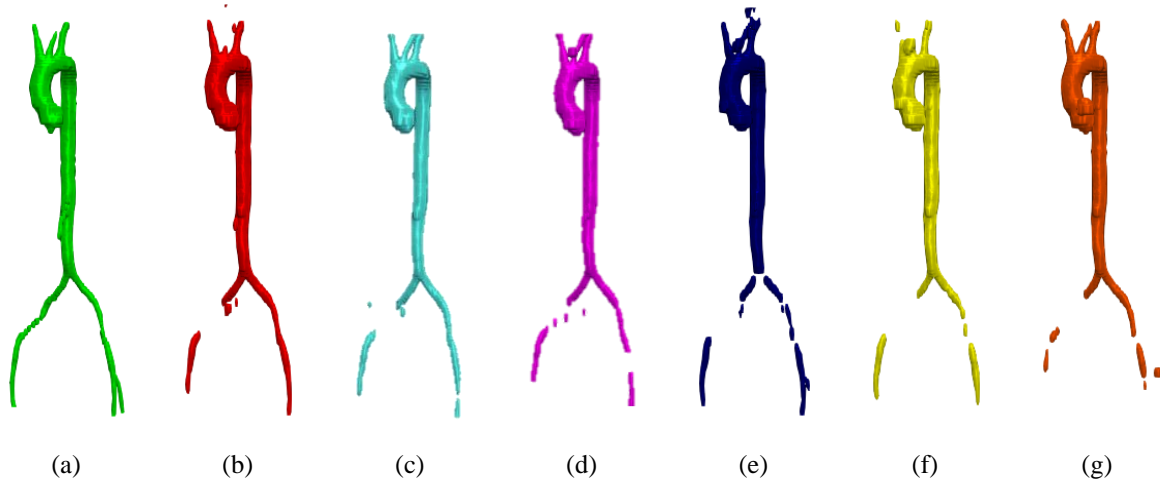


Figure 8. 3D test results of aort segmentation (a) ground truth, (b) 3D prediction result obtained by AKG-UNet, (c) 3D prediction result obtained by Inception U-Netv2, (d) 3D prediction result obtained by U-Net, (e) 3D prediction result obtained by ResUNet, (f) 3D prediction result obtained by LinkNet, (g) 3D prediction result obtained by SegNet

The performance criteria of this study with the aortic studies conducted in the literature are compared in Table 4.

Table 4. Comparison of the results with previous studies for Aort segmentation

Study	DATASET	CASE	DICE	IOU	SEN	SPE
Dasgupta et al. (2017)	LIDC-IDRI	30	0.880	X	X	X
Zheng et al. (2018)	PRIVATE	-	0.824	X	X	X
Noothout et al. (2018)	PRIVATE	24	0.910	X	X	X
Lareyre et al. (2019)	PRIVATE	40	0.930	0.870	0.900	0.999
Morris et al. (2020)	PRIVATE	25	0.850	X	X	X
Fantazzini et al. (2020)	PRIVATE	80	0.928 ± 0.013	0.866 ± 0.023	X	X
Bonechi et al. (2021)	PRIVATE	153	X	0.835	X	X
Wang et al. (2022)	PRIVATE	179	0.970	X	X	X
Benčević et al. (U-Net) (2022)	AVT (Dongyang)	18	0.886 ± 0.049	X	X	X
Brutti et al. (2022)	PRIVATE	85	0.89 ± 0.04	X	X	X
Our Study (LinkNet)	AVT	56	0.872	0.774	0.829	0.999
Our Study (SegNet)	AVT	56	0.849	0.740	0.793	0.999
Our Study (ResUNet)	AVT	56	0.875	0.781	0.831	0.999
Our Study (U-Net)	AVT	56	0.902	0.822	0.876	0.999
Our Study (Inception U-Netv2)	AVT	56	0.909	0.833	0.888	0.999
Our Study (AKG-UNet)	AVT	56	0.912	0.856	0.900	0.999

When the results of aortic segmentation were compared with previous studies, it was seen that significant results were obtained and more successful results were obtained than many studies in the literature.

Dasgupta et al. (2017) first applied a Circular Hough Transform (CHT) to localize the aorta, then active contouring to segment the aorta. However, it was observed in our study that the deep learning models U-Net, Inception U-Netv2, and the model we designed, AKG-UNet, provided higher dice scores.

In the study by Zheng et al. (2018), the network was trained for axial images using a 2D CNN network. Afterwards, 3D outputs were obtained by following a 3D reconstruction method similar to the method applied by us. However, when we look at the Dice Score obtained, it is observed that the Dice Score obtained by us is higher among the six models.

In the study conducted by Noothout et al. (2018), a segmentation study related to the iliac arteries was not performed while conducting aortic segmentation. Due to the small size of the iliac arteries, there is a decrease in segmentation success in this context. Taking these factors into account, we conducted a more comprehensive analysis in our study, and additionally, the AKG-UNet model yielded a higher Dice Score.

In the studies carried out by Bonechi et. al. (2021) and Fantazzini et. al. (2020) the images were given as input to three different networks for axial, sagittal and coronal images using 2D CNN network. Afterwards, the obtained predictions were rendered in 3D. This extends the prediction time in addition to the training time of the model. In the study carried out by us, the training and estimation process of the model was completed with a single axial view. Afterwards, 3D outputs were obtained through the MITK intermediate program. Additionally, our designed AKG-UNet model achieved a higher IoU score compared to the study conducted by Bonechi et al. (2020).

Morris et al. (2020) performed segmentation with a 3D U-Net model to segment the heart. A higher dice scores were achieved compared to Morris et al.'s work, except for the SegNet model. In addition, in our study, 2D LinkNet, SegNet, ResUNet and AKG-UNet models can be used instead of 3D U-NET to produce faster estimation result with fewer parameters.

Although Wang et al.'s (2022) performance rates were higher than our study, the size of the dataset they used was also larger than ours. The point where we differ from this work is the 3D visualization.

In their study, Buritti et al. (2022) performed aortic lumen and thrombus segmentation to conduct diameter analysis for AAA. Despite utilizing a larger amount of CTA data in their study, our research attained a higher Dice score in the deep learning models, including U-Net, Inception U-Netv2, and our custom-designed AKG-UNet.

In the study by Benčević et al. (2022), aortic segmentation was performed by training on the CT dataset collected from the DONGYANG hospital, which was also used in our study, using U-Net and polar transform networks. In our study, to increase data diversity and conduct a more comprehensive analysis, training was conducted using the DONGYANG, KITS, and RIDER datasets. As a result, a higher Dice score was attained in the U-Net, Inception U-Netv2, and our designed AKG-UNet models. In the studies to be carried out after this stage, our aim is to make improvements on the aortic anatomy performance and to determine the regions such as aneurysm and vasoconstriction in a fully automatic manner by calculating the diameter and area of the segmented aortic vessel.

4. Conclusion

In this study, a deep learning approach is proposed for the segmentation of the thoracic aorta, abdominal aorta, and iliac arteries in contrast to CT scans. In the proposed System architecture design, firstly, axial CT data were preprocessed, then by training and testing of U-Net, Inception U-Netv2, LinkNet, SegNet, ResUNet, and AKG-UNet models, 2D estimated mask sections have been created, and these 2D sections have been combined on top of each other. By removing small objects and adding coordinate information from the original image to the 3D radiological image obtained, the distortions in the 3D view were corrected and displayed in 3D in the MITK interface. As a result, in the aortic segmentation study, the best performance criterion was achieved in the AKG-UNet model that we designed. In the AKG-UNet model, we obtained scores of 91.2% for Dice, 85.6% for IoU, 90.0% for sensitivity, and 99.9% for specificity. Additionally, this study contributes to the literature with the introduction of the AKG-UNet model. As a result of this study, a system has been developed that uses aortic segmentation to significantly reduce the workload of surgeons during the preoperative planning and follow-up stages of treatment for conditions such as aneurysms and vascular narrowing, and make decision-making easier. In future works, virtual reality applications may be used with the proposed system. Virtual reality technologies have been widely used in the health sector in recent years. Following this, this study aims to help physicians examine the aorta structure as close to reality as possible in vascular analysis through

the integration of 3D segmentation of the aortic structure into virtual reality applications. Finally, the system is promising in clinical applications and is open to development.

Acknowledgements

This paper has been prepared by AKGUN Computer Incorporated Company. We would like to thank AKGUN Computer Inc. for providing all kinds of opportunities and funds for the execution of this project.

Statement of Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare.

References

- Aldoj N., Biavati F., Michallek F., Stober S., Dewey M. Automatic prostate and prostate zones segmentation of magnetic resonance images using densenet-like u-net. *Scientific Reports* 2020; 10(1): 1-17.
- Badrinarayanan V., Kendall A., Cipolla R. Segnet: a deep convolutional encoder-decoder architecture for image segmentation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 2017; 39(12): 2481-2495.
- Benčević M., Habijan M., Galić I., Babin D. Using the polar transform for efficient deep learning-based aorta segmentation in cta images. *International Symposium Elmar 2022 Sep 12*, pp. 191-194.
- Bilic P., Christ P., Li HB., Vorontsov E., Ben-Cohen A., Kaissis G., Szeskin A., Jacobs C., Mamani GEH., Chartrand G., Lohöfer F., Holch JW., Sommer W., Hofmann F., Hostettler A., Lev-Cohain N., Drozdal M., Amitai MM., Vivanti R., Sosna J., Ezhov I., Sekuboyina A., Navarro F., Kofler F., Paetzold JC., Shit S., Hu X., Lipková J., Rempfler M., Piraud M., Kirschke J., Wiestler B., Zhang Z., Hülsemeyer C., Beetz M., Ettlinger F., Antonelli M., Bae W., Bellver M., Bi L., Chen H., Chlebus G., Dam EB., Dou Q., Fu CW., Georgescu B., Giró-I-Nieto X., Gruen F., Han X., Heng PA., Hesser J., Moltz JH., Igel C., Isensee F., Jäger P., Jia F., Kaluva KC., Khened M., Kim I., Kim JH., Kim S., Kohl S., Konopczynski T., Kori A., Krishnamurthi G., Li F., Li H., Li J., Li X., Lowengrub J., Ma J., Maier-Hein K., Maninis KK., Meine H., Merhof D., Pai A., Perslev M., Petersen J., Pont-Tuset J., Qi J., Qi X., Rippel O., Roth K., Sarasua I., Schenk A., Shen Z., Torres J., Wachinger C., Wang C., Weninger L., Wu J., Xu D., Yang X., Yu SC., Yuan Y., Yue M., Zhang L., Cardoso J., Bakas S., Braren R., Heinemann V., Pal C., Tang A., Kadoury S., Soler L., van Ginneken B., Greenspan H., Joskowicz L., Menze B. The liver tumor segmentation benchmark (lits). *Medical Image Analysis* 2023; 84: 102680.

- Bonechi S., Andreini P., Mecocci A., Giannelli N., Scarselli F., Neri E., Bianchini M., Dimitri GM. Segmentation of aorta 3d ct images based on 2d convolutional neural networks. *Electronics* 2021; 10(20): 2559.
- Brutti F., Fantazzini A., Finotello A., Müller LO., Auricchio F., Pane B., Spinella G., Conti M. Deep learning to automatically segment and analyze abdominal aortic aneurysm from computed tomography angiography. *Springer* 2022;13(4):535-547.
- Chaurasia A., Culurciello E. Linknet: Exploiting encoder representations for efficient semantic segmentation 2017 IEEE Visual Communications and Image Processing, 1-4 January 2018.
- Chollet F. Xception: deep learning with depthwise separable convolutions. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2017*: 1251-1258.
- Dasgupta A., Mukhopadhyay S., Mehre SA., Bhattacharyya P. Morphological geodesic active contour based automatic aorta segmentation in thoracic ct images. *Proceedings of International Conference on Computer Vision and Image Processing - CVIP 2016, Indian Institute of Technology Roorkee, 26-28 February 2016*:187-195.
- Delibasoglu I., Cetin M. Improved u-nets with inception blocks for building detection. *JARS* 2020; 14(4): 044512.
- Diakogiannis FI., Waldner F., Caccetta P., Wu C. Resunet-a: a deep learning framework for semantic segmentation of remotely sensed data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 2020; 162: 94-114.
- Fantazzini A., Esposito M., Finotello A., Auricchio F., Pane B., Basso C., Spinella G., Conti M. 3d automatic segmentation of aortic computed tomography angiography combining multi-view 2d convolutional neural networks. *Cardiovascular Engineering and Technology* 2020; 11(5): 576-586.
- Forcadel N., le Guyader C., Gout C. Generalized fast marching method: applications to image segmentation. *Numerical Algorithms* 2008; 48: 189-211.
- MIC-DKFZ/MITK-Diffusion: MITK diffusion - Official part of the Medical Imaging Interaction Toolkit. <https://github.com/MIC-DKFZ/MITK-Diffusion/> (Access date: 7.02.2023)
- Hu J., Shen L., Sun G. Squeeze-and-excitation networks. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision And Pattern Recognition 2018*: 7132-7141.
- Jha D., Smedsrud PH., Riegler MA., Johansen D., De Lange T, Halvorsen P., Johansen HD. Resunet++: an advanced architecture for medical image segmentation. *IEEE nternational symposium on multimedia (ISM)* 9 Dec 2019: 225-2255.
- Jin Q., Meng Z., Pham TD., Chen Q., Wei L., Su R. Dunet: a deformable network for retinal vessel segmentation. *Knowledge-Based Systems* 2018; 178:149-162.
- Lareyre F., Adam C., Carrier M., Dommerc C., Mialhe C., Raffort J. A fully automated pipeline for mining abdominal aortic aneurysm using image segmentation. *Scientific Reports* 2019; 9(1): 1-14.

- Lin P., Zheng C., Yang Y., Gu J. Medical image segmentation by level set method incorporating region and boundary statistical information. *Lecture Notes in Computer Science* 2004; 3287: 654-660.
- Maolood IY., Al-Salhi YEA., Lu S. Thresholding for medical image segmentation for cancer using fuzzy entropy with level set algorithm. *Open Medicine* 2018; 13(1): 374-383.
- Mendi AF. Edge ai technology in the defense industry via reinforcement learning in simulation environments. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2023;13(3): 718-732.
- Morris ED., Ghanem AI., Dong M., Pantelic MV., Walker EM., Glide-Hurst CK. Cardiac substructure segmentation with deep learning for improved cardiac sparing. *Medical Physics* 2020; 47(2): 576-586.
- Noothout JMH., de Vos BD., Wolterink JM., Isgum I. Automatic segmentation of thoracic aorta segments in low-dose chest ct. Published online October 9, 2018: 63.
- Onthoni DD., Sheng TW., Sahoo PK., Wang LJ., Gupta P. Deep learning assisted localization of polycystic kidney on contrast-enhanced ct images. *Diagnostics* 2020; 10(12): 1113.
- Otaki Y., Watanabe T., Konta T., et al. Impact of hyperuricemia on mortality related to aortic diseases: a 3.8-year nationwide community-based cohort study. *Scientific Reports* 2020; 10(1).
- Pratondo A., Ong SH., Chui CK. Region growing for medical image segmentation using a modified multiple-seed approach on a multi-core cpu computer. *IFMBE Proceedings* 2014; 43: 112-115.
- Radl L., Jin Y., Pepe A, Li J., Gsaxner C., Zhao FH., Egger J. Avt: multicenter aortic vessel tree cta dataset collection with ground truth segmentation masks. *Data in Brief* 2022; 40: 107801.
- Ranjbarzadeh R., Bagherian KA., Jafarzadeh GS., Anari S., Naseri M., Bendeche M. Brain tumor segmentation based on deep learning and an attention mechanism using mri multi-modalities brain images. *Scientific Reports* 2021; 11(1): 1-17.
- Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-net: convolutional networks for biomedical image segmentation. *Lecture Notes in Computer Science* 2015; 9351: 234-241.
- Szegedy C., Liu W., Jia Y., Sermanet P., Reed S., Anguelov D., Erhan D., Vanhoucke V., Rabinovich A. Going deeper with convolutions. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* 2015: 1-9.
- Ter-Sarkisov A. Lightweight model for the prediction of covid-19 through the detection and segmentation of lesions in chest ct scans. *MedRxiv* 2020.
- Urfali A., Celikten A., Bozkir OF., Demirel S., Budak A., Karataş H. Advanced kernelized google-net: a novel deep neural network for alzheimer's disease classification on mri data (in press).
- Wang HJ., Chen LW., Lee HY., Chung YJ., Lin YT., Lee YC., Chen YC., Chen CM., Lin MW. Automated 3d segmentation of the aorta and pulmonary artery on non-contrast-enhanced chest computed tomography images in lung cancer patients. *Diagnostics* 2022; 12(4): 967.
- Yuan S, Yang F. Segmentation of aortic vessel tree in ct scans with deep fully convolutional networks. *arXiv preprint arXiv:2305.09833*. 2023.

Zheng JQ., Zhou XY., Li QB., Riga C., Yang GZ. Abdominal aortic aneurysm segmentation with a small number of training subjects. arXiv 2018.

Zhou B., Zhao H., Puig X., Fidler S., Barriuso A., Torralla A. Scene parsing through ade20k dataset. 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 21-26 July 2017.

Kahramanmaraş İlinde Yumurta Tavukçuluğu Yapan İşletmelerde Karşılaşılan Sorunların Belirlenmesi

Ahmet Şahin ADANALI¹, Ali AYBEK^{2*}, Hamza KUZU³

¹Modena Mensucat, Organize Sanayi Bölgesi, Kahramanmaraş

^{2,3}Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

¹<https://orcid.org/0000-0001-9462-3601>

²<https://orcid.org/0000-0003-3036-8204>

³<https://orcid.org/0000-0001-8585-4467>

*Sorumlu yazar: aaybek@ksu.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 26.02.2024

Kabul tarihi: 10.08.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Yumurta tavukçuluğu

Kafes sistemli işletmeler

Serbest gezinmeli aile işletmeleri

Sorunlar

Kahramanmaraş

Bu çalışmanın amacı, Kahramanmaraş ilinde faaliyet gösteren yumurta tavukçuluğu işletmelerinde karşılaşılan sorunların ortaya konulmasıdır. Veriler, anket yoluyla ilde mevcut bulunan toplam 50 tane işletmenin tamamından, alınmıştır. Bu işletmelerin 6 tanesi kafes sistemli, 44 tanesi ise serbest gezinmeli aile işletmeleri şeklinde faaliyet göstermektedir. Daha çok serbest gezinmeli aile işletmelerinde; tavuk ve yem temini, veteriner hizmeti ve hastalıklar, yumurtaların pazarlanması ve değerlendirilmesi, teknik konular (otomasyon sistemi arızaları, ortam iklim koşullarının değişmesi, elektrik ve su kesintisi ve ekipman tedariki), gübre değerlendirilmesi, devlet desteklemelerinin ve bilgi alınabilecek birimlerin yetersiz görülmesi ve deneyimli çalışanların bulunamaması gibi sorunların yaşandığı belirlenmiştir.

Identification of Encountered Problems of Egg Poultry Enterprises in Kahramanmaraş Province

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 26.02.2024

Accepted: 10.08.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

Egg poultry

Cage system enterprises

Free-range family enterprises

Problems

Kahramanmaraş

The study aim is to reveal the problems encountered in egg poultry farms operating in Kahramanmaraş province. Data were obtained from all 50 enterprises in the province through questionnaires. Of these, 6 enterprises operate as cage systems, and 44 enterprises operate as free-range family enterprises. It has been determined that there are problems such as chicken and feed supply, veterinary service and diseases, marketing and evaluation of eggs, technical issues (automation system failures, changes in ambient climate conditions, electricity and water outages and equipment supply), fertilizer evaluation, insufficient government supports and information units, and lack of experienced employees more in free-range family enterprises.

To Cite: Adanalı AŞ., Aybek A., Kuzu H. Kahramanmaraş İlinde Yumurta Tavukçuluğu Yapan İşletmelerde Karşılaşılan Sorunların Belirlenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(5): 2304-2314.

1. Giriş

Nüfus artışının getirdiği beslenme sorunu giderek büyüyen bir problem olmaktadır. İnsanların fiziksel ve zihinsel olarak daha sağlıklı olmasında, refah düzeyi ve yaşam kalitesinin artmasında, beslenmenin yeterli ve dengeli olması önemli bir etkidir (Balliel, 2009). İnsan vücudunun en küçük birimi olan hücre yüksek oranda proteinden oluşur ve sürekli kendini yenileyebilmesi için de proteine gereksinim duymaktadır. Bu protein ise dışardan alınan besinlerle sağlanmaktadır (Yücecan, 2014). Hayvansal proteinlerin biyolojik değerleri bitkisel proteinlere göre daha yüksek olduğundan dolayı hayvansal ürünler ilk sırayı almaktadır. Bu nedenle de tüketilmesi gereken protein miktarının %40'ının hayvansal kökenli olması gerekmektedir (Çiçekgil ve Yazıcı, 2016).

Ortalama kişi başı günlük protein alım miktarı (2018-2020 yılları arasında), Dünya'da 82,9 g, Avrupa'da 104,1 g, Asya'da 81,8 g, Afrika'da 64,4 g, ABD'de 116,3 g ve Türkiye'de ise 110,7 g olarak gerçekleşmiştir. Bu değerlerin hayvansal kökenli protein olma yüzdesi ise Dünya'da %39,57, Avrupa'da %57,35, Asya'da %35,21, Afrika'da %21,43, ABD'de %64,75 ve Türkiye'de %35,23'tür (FAO, 2024). Türkiye'de kişi başı günlük protein alım miktarı dünya ortalamasının üzerinde olmasına rağmen bunun büyük bir çoğunluğu bitkisel kökenlidir. Bu hayvansal protein alımı yumurta ve kanatlı etinden karşılanabilmektedir. Tavuk eti ve yumurta yüksek biyolojik değerinin yanında hem ucuz olması ile ekonomik hem de sağlıklı ve kolay ulaşılabilir olması ile beslenme alışkanlıkları bakımından da önemlidir. Özellikle yumurta, anne sütünden sonra insanın ihtiyaç duyduğu bütün besin öğelerini barındıran bir besindir. Hazmı kolay olan yumurtanın neredeyse tamamı vücut tarafından kullanılabilen ve vücut proteinlerine dönüşebilmektedir. Yumurta A, D, E ve B grubu vitaminler olmak üzere diğer vitaminleri de önemli oranda içermektedir (Açıkgöz ve Özkan, 1996).

Nüfusun yeterli ve dengeli beslenebilmesinin yanında, ülke ekonomisinin kalkınmasında, pazarın gelişmesinde, çiftçi gelirlerinin artırılmasında ve diğer sektörlere ham madde sağlamada hayvansal üretimin önemli bir yeri vardır (Ruiz-Garcia ve ark., 2009; Nkukwana, 2018; Wu ve ark., 2022; Kaya ve Güçlü, 2023). Hayvansal üretim dalları içerisinde ise tavukçuluk sektörü, geniş tarım arazilerine ihtiyaç duymaması, düşük iş gücü ile birim alanda yoğun üretime elverişli olması, dış ortam koşullardan etkilenmemesi, yeni otomasyon ve mekanizasyon sistemlerinin kolayca uygulanabilmesi, ruminant hayvanlara göre yemden yararlanma oranının yüksek olması ve kısa sürede verimli üretim yapılabilmesi gibi avantajları sayesinde ön plana çıkmaktadır (Koçak, 1994; Akkaya ve İşgüzar, 2006; Çimrin, 2021). Türkiye'de yumurta tavukçuluğu sektörü 2022 yılı verilerine göre 2074 ticari işletme ve 4344 ticari yumurtacı kümes ile faaliyetlerini sürdürmektedir (HAYGEM, 2024). Ayrıca, Türkiye kümes hayvanları sayıları Tablo 1'de verilmiştir (TÜİK, 2024). Buna göre, Türkiye'de yumurta tavuğu sayısı 2010 yılına oranla yaklaşık olarak %61,39 artarak 2023 yılında 114,5 milyon adete ulaşmıştır.

Tablo 1. Türkiye’de kümes hayvanları sayıları (x1000 adet)*

Yıl	Yumurta tavuğu	Et tavuğu	Hindi	Kaz	Ördek	Toplam
2000	64709	193459	3682	1497	1104	264451
2005	60276	257221	3697	1067	656	322917
2010	70934	163985	2942	716	397	238974
2015	98597	213658	2828	851	398	316332
2017	121556	221245	3872	978	492	348143
2018	124055	229507	4043	1080	553	359218
2019	120725	221842	4541	1157	520	348785
2020	121303	258046	4798	1374	560	386081
2021	121001	270393	4704	1478	540	398116
2022	109806	251290	3670	1386	433	366585
2023	114477	254148	3379	1328	421	373752

*(TUİK, 2024)

Tablo 2. Dünya tavuk yumurtası üretimi (x1000 ton)*

Ülkeler	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Çin	18547	20724	23483	25890	26864	26565	26849	28454	29825	29316
Hindistan	2035	2568	3378	4317	4561	4848	5237	6291	6713	6710
ABD	5017	5350	5437	5757	6047	6351	6518	6707	6659	6644
Endonezya	642	857	1121	1373	1486	4633	4688	4753	5142	5156
Brezilya	1509	1675	1948	2261	2260	2883	3030	3150	3261	3317
Meksika	1788	2025	2381	2653	2720	2771	2872	2950	3016	3047
Japonya	2535	2481	2515	2521	2562	2601	2628	2640	2633	2574
Rusya Fed.	1895	2050	2261	2357	2413	2484	2486	2492	2492	2496
Türkiye	844	753	740	1045	1131	1205	1228	1244	1237	1206
Fransa	988	930	947	970	816	878	994	926	985	0
Kolombiya	386	492	585	729	769	830	876	863	983	1022
Almanya	901	795	662	801	818	826	846	938	967	977
Pakistan	344	401	556	721	761	803	848	895	946	1000
Ukrayna	497	748	974	960	855	887	922	954	924	804
İspanya	658	708	812	805	831	851	839	864	913	0
Arjantin	327	389	554	765	802	813	829	830	873	885
Malezya	391	442	587	779	821	845	805	654	774	813
Bir. Krallık	569	609	658	699	722	752	777	791	774	806
İran	580	759	767	777	810	674	724	869	756	783
Kore Cum.	479	515	590	724	716	715	757	735	735	736
Tayland	515	469	613	690	690	695	710	704	713	722
İtalya	686	722	737	707	745	728	736	717	693	0
Polonya	424	536	618	582	589	595	645	657	642	0
Filipinler	243	320	387	445	462	492	534	583	606	661
Kanada	372	399	452	497	532	552	576	592	604	611
Diğerleri	7961	8962	10454	12309	12401	12649	12455	12947	13211	16101
Toplam	51133	56679	64217	72133	74182	78924	80410	84201	87074	86388

*(Gülaç, 2023)

Dünya tavuk yumurtası üretim değerleri Tablo 2’de (Gülaç, 2023) verilmiştir. Buna göre dünya tavuk yumurtası üretimi 2021 yılında 86,4 milyon ton olmuştur. Çin 29,3 milyon ton, Hindistan 6,7 milyon ton, Amerika Birleşik Devleti (ABD) 6,6 milyon ton, Endonezya 5,2 milyon ton ve Brezilya 3,3 milyon ton tavuk yumurtası ile üretimde önde gelen önemli ülkelerdir. 2021 yılı verilerine göre ülkelerin yumurta üretimindeki paylarına bakıldığında; Çin %33,9, Hindistan %7,8, ABD %7,7, Endonezya %6,

Brezilya %3,8'lik bir paya sahip olmaktadır. Türkiye ise 1,2 milyon ton üretim ve %1,4'lik pay ile 9. sırada yer almaktadır (Tablo 2).

Tavukçuluk sektöründe yaşanan bazı sorunlar bu sektörü olumsuz etkileyebilmektedir. Toplu ölümler ve verim kaybı yaşamamak için hastalıklar açısından oldukça hassas kontrol ve dikkatli bir üretim süreci gerekmektedir. Kuş gribi (avian influenza) gibi salgın hastalıkların etkisi ve GDO konusunda basında oluşturulan tedirginlik yumurta tüketim alışkanlığını değiştirebilmektedir (Karakaya ve Çelen, 2021). Yine damızlık ve yem konusunda dışa bağımlılık yüzünden döviz kurunda yaşanabilecek artışlar yumurta fiyatlarında da dalgalanmalar oluşturabilmektedir. Ayrıca Ortadoğu ve körfez ülkelerinde yaşanan gerilimler de Türkiye'nin yumurta ihracatını sekteye uğratabilmektedir (Yetişir, 2008).

Adanalı ve ark. (2024) tarafından, Kahramanmaraş ilinde yumurta tavukçuluğu yapan işletmelerin özellikleri (işletmecilerin, çalışanların ve işletmelerin genel özellikleri, işletmelerin üretim, yapısal ve teknik özellikleri) bildirilmiştir. Bu çalışmada ise Kahramanmaraş ilinde faaliyet gösteren yumurta tavukçuluğu işletmelerinde karşılaşılan sorunların ortaya konulması ve konuya ilişkin önerilerin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Araştırmanın materyalini, Kahramanmaraş ilçelerinde yumurta tavukçuluğu yapan işletmelerin tamamından (50 işletme), 2022 yılı Temmuz-Eylül döneminde, anket yoluyla yüz yüze görüşme yapılarak elde edilen veriler oluşturmaktadır. Bu işletmelerden 6'sı kafes sistemli, 44'ü ise serbest gezinmeli aile işletmeleri şeklinde faaliyet sürdürmektedir (Tablo 3).

Tablo 3. Kahramanmaraş ili ilçeler bazında yumurta tavukçuluğu yapan işletme sayıları

İlçeler	Kafes sistemli işletmeler	Serbest gezinmeli aile işletmeleri
Afşin	-	3
Andırın	-	3
Çağlayancerit	-	3
Dulkadiroğlu	-	7
Ekinözü	-	2
Elbistan	-	3
Göksun	-	4
Nurhak	-	2
Onikişubat	1	11
Pazarcık	5	1
Türkoğlu	-	5
Toplam	6	44

Geniş bir literatür taraması sonucunda kapalı ve açık uçlu sorulardan oluşan anket soruları hazırlanmış olup, konu uzmanları ile yapılan görüşmeler neticesinde son şeklini almıştır. Kahramanmaraş İl Tarım ve Orman Müdürlüğü kayıtlarından yararlanılarak işletmeler belirlenmiştir. İşletmelerin ilçelere göre dağılımları belirlendikten sonra toplam işletme sayısı, örnekleme yapmaya yeterli olmaması nedeniyle, tam sayım yöntemiyle (Çingı, 1994) belirlenmiştir.

Anket formlarına yazılarak toplanan bilgilerin gerekli kod planı hazırlanmış ve veriler bilgisayarda SPSS 23 programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Verilerin frekans ve % dağılım değerleri tablolara aktarılarak bunlarla ilgili açıklamalar yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Kahramanmaraş ilinde yumurta tavukçuluğu yapan işletmelerde karşılaşılan sorunlar Tablo 4'te verilmiştir.

Araştırma bölgesindeki kafes sistemli işletmelerin; %33,3'ünde üretim yönteminde sorunlar yaşandığı bildirilmiştir. Bu sorunlar kurulum maliyetinin yüksek olması (%50) ve kafes temizliğinin zahmetli olması (%50) şeklindedir. Bu işletmelerin %16,7'sinde tavukların temin edilmesi ile ilgili sorunlar yaşandığı belirlenmiştir. Yaşanan bu sorunlar; işletmelerin %16,7'sinde tavuk temininin gecikmesi ve %16,7'sinde ise tavukların yaş olarak (16-17 haftalık yaşın altında) çok küçük gelmesi olarak tespit edilmiştir. Ayrıca kafes sistemli bu işletmelerin tamamında yem fiyatları ile ilgili sorunlar yaşandığı bildirilmiştir. Bu işletmelerin %66,7'sinde veteriner hizmeti ve hastalıklar konusunda sorunlar yaşandığı belirlenmiştir. Bu sorunlar; bölgede tavuk konusunda deneyimli veterinerlerin bulunmaması (%66,7), veteriner giderinin yüksek olması (%66,7), yörede yeterli ilaçların bulunmaması (%16,67) ve çok sık hastalık meydana gelmesi (%16,67) şeklindedir. Söz konusu işletmelerin %66,7'si yumurtaların pazarlanmasında sorunlar yaşadığını bildirmişlerdir. Bu sorunlar, işletmelerin %66,67'sinde yumurtaların değerinde satılamaması, işletmelerin %66,67'sinde yumurtaya olan arz-talep dengesizliği ve işletmelerin %66,67'sinde ise yumurtanın yaz mevsiminde satışının düşmesi olarak saptanmıştır. Satılamayan yumurtaları değerlendirme durumuna bakıldığında, işletmelerin %16,7'sinde elde kalan yumurtaların likit fabrikalarına satış yapıldığı belirlenmiştir. Kırık ve çatlak yumurtaları değerlendirme durumuna bakıldığında; işletmelerin %83,3'ünün kırık ve çatlak yumurtaları likit fabrikalarına satış gerçekleştirdiği ve %16,7'sinin ise düşük fiyatlı olarak satışını yaptığı bildirilmiştir. Kafes sistemli bu işletmelerin %50'sinde teknik sorunların yaşandığı tespit edilmiştir. Bu sorunlar, otomasyon sistemlerinde arızalar meydana gelmesi ve ortam iklim koşullarının değişmesi (%50), ortamın mevsimsel değişkenliği (%33,4), işletme içerisinde rahatsız edici şekilde koku olması (%33,4), kışları elektrik kesintilerinin yaşanması (%33,4) ve işletmede su kesintilerinin meydana gelmesidir (%33,4). Bu işletmeler, biyogüvenlik ve iş güvenliği konusunda sorunlar yaşamadığını bildirmişlerdir. İşletmelerin %16,7'sinde kümeslerde oluşan tavuk dışkılarının değerlendirilmesinde sorunlar yaşandığı, işletmelerin tamamında ise tavuk atıklarının depolanmasının zor olduğu bildirilmiştir. İşletmelerin %83,3'ünün sigortasının olduğu ve sigortası olan bu işletmelerin tamamının sigorta türünün tarım sigortası olduğu görülmüştür. İşletmelerin %83,3'ü devlet tarafından sağlanan yem desteği aldığını, destek alan bu işletmelerin tamamı desteklerin yetersiz kaldığını bildirmişlerdir. İşletmelerin tamamı yumurta tavukçuluğu hakkında bilgi birimlerinin olduğunu ancak bilgi birimlerinin üreticilerin %16,7'sine göre yetersiz kaldığı bildirilmiştir. Ayrıca üreticilerin tamamı yumurta tavukçuluğu sektöründe deneyimli çalışanların zor bulunduğunu belirtmişlerdir (Tablo 4).

Serbest gezinmeli aile işletmelerinin %68,2'sinde üretim yönteminde sorunlar yaşadığını bildirmişlerdir. Bu sorunlar, tavukların gezinmelerinden dolayı verimin düşmesi (%50), çeşitli hastalıkların meydana gelmesi ve tavukların zararlı besinler tüketmesi (%6,81), kümes temizliğinin zahmetli olması (%54,55), hasta ve sağlıklı olan tavukları birbirinden ayırt etmenin zor olması (%4,55) olarak belirlenmiştir. Bu işletmelerin %36,4'ünde tavukların temin edilmesi ile ilgili sorunlar yaşandığı tespit edilmiştir. Bu sorunlar, işletmelerin %25'inde tavukların temin edildiği yörenin işletmeye uzak olması, %31,82'sinde teminin gecikmesi, %15,9'unda tavukların yaş olarak küçük gelmesi ve %2,28'inde tavukların hastalıklı gelmesi şeklindedir. Serbest gezinmeli aile işletmelerin tamamında yem ile ilgili sorunlar yaşandığı saptanmıştır. Bu sorunlar, işletmelerin tamamında yem fiyatlarının yüksek olması, %15,9'unda işletmeye yem temininin zor olması, %40,9'unda yemlerin besleyici olmaması, %20,45'inde işletmenin kendi yemini üretememesi olarak belirlenmiştir. İşletmelerin %93,2'sinde veteriner hizmeti ve hastalıklar konusunda sorunlar yaşandığı tespit edilmiştir. Bu sorunlar, işletmelerin %93,18'inde bölgede tavuk konusunda deneyimli veteriner bulunmaması, %86,36'sında veteriner giderinin yüksek olması, %81,81'inde tavukların hastalıklara karşı hassas olması, %72,72'sinde yörede ilaçların bulunmamasıdır. İşletmelerin %50'si yumurtaların pazarlaması konusunda sorunlar yaşadığını bildirmiştir. Bu sorunlar, yumurtanın değerinde satılamaması (%52,27), yumurtaya olan arz-talep dengesizliği (%40,9), yumurtanın yaz mevsiminde satışının düşmesi (%15,9) şeklindedir. İşletmelerin %4,55'i satılmayan yumurtaları soğuk hava depolarında bekleterek değerlendirdiği saptanmıştır. Kırık ve çatlak yumurtaların değerlendirilme durumuna bakıldığında, işletmelerin %4,5'inde imha edildiği, %6,8'inde likit fabrikalarına satış yapıldığı, %27,3'ünde düşük fiyatlı satış yapıldığı, %2,3'ünde hayvan yemi üretimi amaçlı satışının yapıldığı, %59,1'inde ise işletmede tüketildiği belirlenmiştir. Serbest gezinmeli aile işletmelerinin %43,2'sinde teknik sorunlar yaşandığı bildirilmiştir. Bu sorunlar, işletmelerin %13,64'ünde otomasyon sistemlerinde arızalar meydana gelmesi, %72,73'ünde ortam iklim koşullarının değişmesi %18,19'unda ortamın mevsimsel değişkenliği, %6,82'sinde koku olması, %27,28'inde kışın elektrik kesintisi yaşanması, %2,27'sinde su kesintilerinin olması, %6,82'sinde kümeslerde kullanılan ekipmanların bölgede bulunmaması ve bu ekipmanların tedarikinin zor ve zaman alması olarak saptanmıştır. Bu işletmelerin tamamı biyogüvenlik ve iş güvenliği konusunda sorunlar yaşamadığını bildirmişlerdir. İşletmelerin, %15,9'unda kümeslerde oluşan tavuk dışkılarının değerlendirilmesinde sorun yaşandığı belirlenmiştir. Bu sorun işletmelerin %15,9'unda tavuk gübrelerinin depolanmasının zor olması olarak tespit edilmiştir. Bu işletmelerin hiçbirinin sigortasının olmadığı ve devlet desteği de almadığı bildirilmiştir. İşletmelerin tamamına göre verilen devlet desteği yetersiz olarak belirtilmiştir. İşletmelerin %86,4'üne göre yumurta tavukçuluğu bilgi birimlerinin olduğu, %88,6'sına göre bu birimlerinin yetersiz kaldığı, işletmelerin tamamına göre ise yumurta tavukçuluğu sektöründe tecrübeli çalışanların zor bulunduğu saptanmıştır (Tablo 4).

Tablo 4. İşletmelerde karşılaşılan sorunlar

İşletmeler/sorunlar		İşletme üretim yöntemi			
		Kafes sistemli işletmeler		Serbest gezinmeli aile işletmeleri	
		Adet	%	Adet	%
Üretim yöntemine göre sorun yaşayan işletme sayıları	Evet	2	33,3	30	68,2
	Hayır	4	66,7	14	31,8
Kafes sistemli işletmeler	Kurulum maliyetinin yüksek olması	2	50	-	-
	Kafes temizliğinin zahmetli olması	2	50	-	-
Serbest gezinmeli aile işletmeleri	Gezdiği için verimin düşmesi	-	-	22	50
	Çeşitli hastalıkların oluşması	-	-	3	6,81
	Zararlı besinler tüketmesi	-	-	3	6,81
	Kümes temizliğinin zahmetli olması	-	-	24	54,55
	Tavukların ayırt edilememesi	-	-	2	4,55
Tavukların teminde sorun yaşayan işletme sayıları	Evet	1	16,7	16	36,4
	Hayır	5	83,3	28	63,6
	Temin yöresinin uzak olması	-	-	11	25
	Teminin gecikmesi	1	16,7	14	31,82
	Çok küçük gelmesi	1	16,7	7	15,9
	Hastalıklı gelmesi	-	-	1	2,28
Yem temininde sorun yaşayan işletme sayıları	Evet	6	100	44	100
	Hayır	-	-	-	-
	Yem fiyatlarının yüksek olması	6	100	44	100
	Yem temininin zor olması	-	-	7	15,9
	Yeterince besleyici olmaması	-	-	18	40,9
	Yemi üretmemesi	-	-	9	20,45
Veteriner hizmeti ve hastalıklar konusunda sorun yaşayan işletme sayıları	Evet	4	66,7	41	93,2
	Hayır	2	33,3	3	6,8
	Deneyimli veteriner bulunmaması	4	66,7	41	93,18
	Veteriner giderinin yüksek olması	4	66,7	38	86,36
	Hastalıklara hassasiyet	4	66,7	36	81,8
	Yörede ilaçların bulunmaması	1	16,67	32	72,72
Yumurtaların pazarlanmasında sorun yaşayan işletme sayıları	Evet	4	66,7	22	50
	Hayır	2	33,3	22	50
Yumurtaların pazarlanmasında sorunlar	Değerinde satılmaması	4	66,67	23	52,27
	Arz - talep dengesizliği	4	66,67	18	40,9
	Yaz mevsiminde satışın düşmesi	4	66,67	7	15,90
Satılmayan yumurtaların değerlendirilmesi	Döneminde satılıyor	5	83,3	42	95,45
	Soğuk hava depolarında bekletiliyor	-	-	2	4,55

	Likit fabrikalarına satılıyor	1	16,7	-	-
	İmha ediliyor	-	-	2	4,5
Kırık ve çatlak yumurtaların değerlendirilmesi	Likit fabrikalarına satılıyor	5	83,3	3	6,8
	Düşük fiyatlı satılıyor	1	16,7	12	27,3
	Hayvan yemi amaçlı satış	-	-	1	2,3
	İşletmede tüketiliyor	-	-	26	59,1
Teknik sorun yaşayan işletme sayıları	Evet	3	50	19	43,2
	Hayır	3	50	25	56,8
	Otomasyon sistemlerinde arızalar	3	50	6	13,64
	Ortam iklim koşullarının değişmesi	3	50	17	72,73
	Ortamın mevsimsel değişkenliği	2	33,34	8	18,19
	Koku olması	2	33,34	3	6,82
	Kışın elektrik kesintisi olması	2	33,34	12	27,28
	Su kesintilerinin olması	2	33,34	1	2,27
	Ekipmanların yörede bulunmaması	-	-	6	13,64
Biyogüvenlik ve iş güvenliğinde sorun yaşayan işletme sayıları	Evet	-	-	-	-
	Hayır	6	100	44	100
Gübrelerin değerlendirilmesinde sorun yaşayan işletme sayıları	Evet	1	16,7	7	15,9
	Hayır	5	83,3	37	84,1
	Gübre depolanmasının zor olması	1	100	7	15,9
İşletmelerde sigorta durumu	Var	5	83,3	-	-
	Yok	1	16,7	44	100
	Tarım sigortası	5	83,3	-	-
İşletmenin devlet desteği alma durumu	Alıyor	5	83,3	-	-
	Almıyor	1	16,7	44	100
	Yem desteği	5	83,3	0	0
Devlet desteği yeterli mi?	Evet	1	16,7	-	-
	Hayır	5	83,3	44	100
Bilgi alabileceğiniz birim var mı?	Evet	6	100	38	86,4
	Hayır	-	-	6	13,6
Bilgi birimleri yeterli mi?	Evet	5	83,3	5	11,4
	Hayır	1	16,7	39	88,6
Deneyimli çalışan bulmak kolay mı?	Evet	-	-	-	-
	Hayır	6	100	44	100

Tavukçuluk işletmelerinde yem, en büyük gider olmaktadır. Eğer işletme yem hammaddesini veya yemini kendisi üretebilirse yem giderlerini ve dışa bağımlılığını düşürebilecektir (Çimrin ve ark., 2019). Bu nedenle protein ve enerji içeren alternatif yem kaynaklarının araştırılması ve kullanılması ile işletmeler et ve yumurta maliyetlerinin azaltılmasını sağlayabilecektir (Sevim ve Ayaşan, 2020). Ayrıca işletmeler kendi yem rasyonlarını daha kaliteli hazırlayabilmeleri durumunda yemden yararlanma oranını ve yumurta verimini de artırabilirler (Sarıözkan ve Sakarya, 2006). Uygun işletme kültürü oluşturmaları için işletmelerin modern yönetim tekniklerini uygulayabilmeleri, bilgi ve iletişim

teknolojisindeki son gelişmeleri takip edebilmeleri adına gerekli danışmanlık hizmetleri sunulmalıdır (Uslu ve Demirel, 2002). Bunlara ek olarak işletmelerin yetiştiricilik ve hastalık kontrolü konularında bilgi birikimlerinin artırılması için ilgili sektör yönetici ve çalışanlarına yönelik bilgilendirme eğitimleri düzenlenmesi gerekmektedir (İnci ve ark., 2019). Bu anlamda işletmeler, ilgili devlet kurumları ve üniversiteler arasında işbirliği geliştirilebilir. İlde faaliyet gösteren yumurta tavukçuluğu işletmelerinin büyük çoğunluğu serbest gezinmeli aile işletmeleridir. Son yıllarda tüketicilerin daha sağlıklı beslenme konusundaki farkındalığı, dikkatleri meraya erişim imkanı sunan alternatif yetiştirme sistemlerine yöneltmektedir. Bu tür sistemler kanatlıların refahını olumlu yönde etkilemenin yanında ürünlerin kalitesini de önemli ölçüde artırabilmektedir (Sossidou ve ark., 2015; Popova ve ark., 2020).

4. Sonuç

Ele alınan yumurta tavukçuluğu işletmelerinde belirlenen sorunlar; tavuk ve yem temini, veteriner hizmeti ve hastalıklar, yumurtaların pazarlanması ve değerlendirilmesi, teknik konular, gübre değerlendirilmesi, devlet desteklemelerinin ve bilgi alınabilecek birimlerin yetersiz görülmesi ve deneyimli çalışanların bulunamaması şeklindedir.

Araştırmada ele alınan bu işletmeler ve Türkiye'deki benzer durumdaki işletmeler için ilgili bakanlık tarafından; yem fiyatları konusunda desteklemelerin artırılması, deneyimli veteriner görevlendirilmesi, hastalıklara karşı etkili ilaçların üreticiye tedarikinin sağlanması ve bölgedeki üreticilere tavuk konusunda bilgi ve kaynaklar sunulması gerekmektedir. Ayrıca, işletmelerin teknik konulardaki son gelişmeleri takip edebilmeleri için ilgili bakanlık birimleri tarafından danışmanlık hizmetleri de verilmelidir. Bu işletmelerin yem sorunlarının giderilebilmesi için işletmelerin kendi yemini üretebilmesi yönünde de politikalar sağlanabilir. Yumurtanın beslenmedeki yeri ve önemine; reklamlarda, haberlerde, gündüz kuşağı ve tartışma programlarında yer verilmeli ve sosyal medya içerik üreticileriyle işbirliği anlaşmaları yapılmalıdır. Böylece daha fazla kitlenin bilinçlendirilmesi sağlanarak kişi başı hayvansal protein tüketim miktarı da artırılacaktır.

Teşekkür

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (Proje No: 2022/3-2 YLS) ve anket yapılan yumurta tavukçuluğu işletme yöneticilerine teşekkür ederiz.

Etik Onayı

Bu çalışma, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Etik Kurulu tarafından onaylanmıştır (İzin No: 2018/22).

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

- Açıkgöz Z., Özkan K. Yumurta tüketiminin beslenme ve sağlık üzerine etkisi. Hayvancılık Ulusal Kongresi.18-20 Eylül 1996, Bornova-İzmir.
- Adanalı AŞ., Aybek A., Kuzu, H. Yumurta tavukçuluğu yapan işletmelerin özellikleri: Kahramanmaraş İli Örneği. KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi 2024; 27(5): 1183-1193.
- Akkaya CA., İşgüzar E. Isparta ili merkez ilçesindeki tavukçuluk işletmelerinin yapısal ve donanımsal yönden incelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2006; 10(2): 188-192.
- Ballıel N. Ankara Üniversitesi İbni Sina Hastanesi hemşirelerinde sağlığı geliştirici yaşam biçimi davranışları ve ilişkili faktörler. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009.
- Çıngı H. Örnekleme kuramı. Ankara: H.Ü. Fen Fakültesi Basımevi, 1994.
- Çiçekgil Z., Yazıcı E. Türkiye’de tavuk yumurtası mevcut durumu ve üretim öngörüsü. Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi 2016; 2(2): 26-34.
- Çimrin T. Structure of broiler production in Hatay province problems and proposed solutions. ISPEC Journal of Agricultural Sciences 2021; 5(1): 183-192.
- Çimrin T., Parlakay O., Çopur Akpınar G., Tapkı N., Yıldırım H. Yumurta tavukçuluğu işletmeleri: Hatay ili örneği. KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi 2019; 22(5): 787-793.
- FAO (Food and Agriculture Organization). Suite of food security indicators, 2024. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FS> (Erişim tarihi: 23.01.2024).
- Gülaç ZN. Durum ve tahmin kümes hayvancılığı. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü (TEPGE). TEPGE Yayın No: 381, ISBN: 978-625-8451-66-5. Tarım ve Orman Bakanlığı, Çankaya, Ankara, 2023.
- HAYGEM (Hayvancılık Genel Müdürlüğü). Türkiye ve dünyada kanatlı sektörünün genel durumu, 2024. <https://www.tarimorman.gov.tr/HAYGEM/Menu/8/Kanatli-Yetistiriciligi> (Erişim tarihi: 20.03.2024)
- İnci H., Ekinci MA., Karakaya E., Ayaşan T., Yılmaz HŞ. Diyarbakır ilinde köy tavukçuluğunun mevcut durumu, sorunları ve çözüm önerileri. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 2019; 6(4): 608-615.
- Karakaya N., Çelen M. Elazığ ve Malatya illerindeki etlik piliç işletmelerinin sosyoekonomik yapısı ve işletme özelliklerinin belirlenmesi. Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi 2021; 11(2): 96-115.
- Kaya SB., Güçlü BK. Yumurta tavuğu karma yemlerine ilave edilen karahindiba ekstresinin performans ve yumurta kalitesine etkisi. Erciyes Univ Vet Fak Derg. 2023; 20(3): 178-185.

- Koçak Ç. Ege Bölgesinde kanatlı hayvan yetiştiriciliğinin durumuna ilişkin rapor. ESİAD Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar, yayın no 94/ESA-8, İzmir, 1994, 62-67.
- Nkukwana TT. Global poultry production: Current impact and future outlook on the South African poultry industry. *South African J. Anim. Sci.* 2018; 48(5): 869-884.
- Popova T., Petkov E., Ayasan T., Ignatova M. Quality of eggs from layers reared under alternative and conventional system. *Brazilian Journal of Poultry Science* 2020; 22(01):1172.
- Ruiz-Garcia L., Lunadei L., Barreiro P., Robla I. A review of wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry: state of the art and current trends. *Sensors* 2009; 9(6): 4728-4750.
- Sarıözkan S., Sakarya E. The profitability and productivity analyses of layer hen enterprises in Afyon province. *Lalahan Hayvancılık Araştırma Enstitüsü Dergisi* 2006; 46(1): 29-44.
- Sevim B., Ayaşan T. Kanatlı hayvan beslemede *Jatropha* (*Jatropha curcas*) kullanılması. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi* 2020; 7(2): 227-232.
- Sossidou EN., Dal Bosco A., Castellini C., Grashorn M. Effects of pasture management on poultry welfare and meat quality in organic poultry production systems. *World's Poultry Science Journal* 2015; 71(02): 375-384.
- TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). Hayvansal üretim istatistikleri, 2024. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Animal-Production-Statistics-2023-49681> (Erişim tarihi: 10.02.2024)
- Uslu Ş., Demirel Y. Kobilerde çalışanların sorunları üzerine bir araştırma. *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 2002; 1(12): 173-184.
- Wu D., Di Cui D., Zhou M., Ying Y. Information perception in modern poultry farming: A review. *Computers and Electronics in Agriculture* 2022; 199: 107-131.
- Yetişir R. Yumurta tavukçuluğu: önemi, mevcut sorunlar ve çözüm önerileri, 2008. https://www.prof-dr-ryetisir.gen.tr/YUMURTA_TAVUKCULUGU.pdf (Erişim tarihi: 23.01.2024)
- Yücecan S. Sağlıklı beslenmenin faydaları. 2014. <http://www.ciftlikdergisi.com.tr> (Erişim tarihi: 23.01.2024)

Erzincan İli-Ergan Dağı'nın Farklı Rakımlarında Yayılış Gösteren Bazı Taksonların Antioksidan Kapasiteleri

Gökhan ADIGÜZELLİ¹, Etem OSMA², Tuğçe VAROL³, Samed ŞİMŞEK⁴, Ali KANDEMİR⁵

^{1,3}Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan, Türkiye

^{2,5}Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Erzincan, Türkiye

⁴Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Çayırılı Meslek Yüksekokulu, Erzincan, Türkiye

¹<https://orcid.org/0009-0004-2429-416X>

²<https://orcid.org/0000-0002-5250-8194>

³<https://orcid.org/0000-0001-7027-462X>

⁴<https://orcid.org/0000-0001-8451-3425>

⁵<https://orcid.org/0000-0003-1902-9631>

*Sorumlu yazar: eosma@erzincan.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 19.03.2024

Kabul tarihi: 17.07.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

DPPH

FRAP

Fenolik

Flavonoid

Rakım

ÖZ

Bu çalışmada, Erzincan il sınırları içerisinde bulunan Ergan Dağı'nın farklı rakımlarında 1500 m (*Glaucium leiocarpum* Boiss., *Astragalus ornithopodioides* Lam., *Alcea calvertii* (Boiss) Boiss.), 2000 m (*Globularia trichosantha* Fisch. & C.A. Mey, *Hypericum scabrum* L., *Tanacetum mucroniferum* Hub. Mor. Et Grierson, *Inula oculus-christi* L., *Onobrychis cornuta* (L.) Desv., *Barbarea auriculata* Hausskn. Ex Bornm), 3000 m (*Scorzonera sericea* DC., *Hedysarum erythroleucum* Boiss., *Astragalus nezaketiae* A. Duran & Aytaç) yayılış gösteren 12 bitki türü seçilmiştir. Çalışma ile rakım faktörünün bitkiler üzerindeki etkileri belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için bitkilerin yaprak, dal ve kök olmak üzere farklı organları etilasetat, metanol ve suda ekstaksiyonu yapılarak fenolik (TPC) ve flavonoid (TPF) içeriği ile antioksidan aktivite (DPPH, FRAP) miktarının analizi yapılmıştır. Antioksidan aktiviteleri incelendiğinde, *Globularia trichosantha* bitki türünde en yüksek değerler belirlenmiştir. DPPH aktivitesi yaprakta $47,86 \pm 1,70$, dalda $108,09 \pm 1,29$, kökte ise $60,57 \pm 0,74$ olarak ölçülmüştür. Fenolik içerik ise yaprakta $82,56 \pm 0,46$, dalda $56,71 \pm 2,12$, kökte ise $59,75 \pm 2,11$ olarak tespit edilmiştir. FRAP aktivitesi yaprakta $54,87 \pm 1,54$, dalda $41,09 \pm 3,06$, kökte ise $48,95 \pm 2,73$ olarak belirlenmiştir. Flavonoid içerik verileri ise *Globularia trichosantha* yaprakta $59,81 \pm 2,31$, dalda $31,62 \pm 3,55$ olarak tespit edilirken, *Hypericum scabrum* kökte $35,71 \pm 2,73$ olarak belirlenmiştir. Analiz sonuçları SPSS 22 Paket İstatistik Programında değerlendirilmiş olup rakımlar (yükselti) arasında farklılıklar tespit edilmiştir. Bitkilerin fenolik ve flavonoidlerin içerikleri ile antioksidan aktiviteleri arasında özellikle metanolde çözünen örneklerde güçlü pozitif yönde korelasyon bulunmuştur. Sonuç olarak, bu çalışma farklı rakımlarda yetişen bitkilerin fenolik ve flavonoid içeriği ile antioksidan aktivitelerindeki değişkenliği açıklamaktadır. Bulgular, rakımın bu bitki türlerinin biyoaktif bileşenleri ve antioksidan potansiyeli üzerindeki etkisini vurgulamaktadır. Ayrıca, 2000 m rakımda yetişen *Hypericum scabrum* L., *Tanacetum mucroniferum* Hub. Mor. Et Grierson, *Globularia trichosantha* Fisch & C. A Mey bitkilerinin gösterdiği antioksidan performansı, bu bitkilerin farmasötik veya diğer uygulamalarda daha fazla keşif için potansiyel oluşturmaktadır.

Antioxidant Capacities of Some Taxa Distributed at Different Altitudes of Erzincan Province-Ergan Mountain

Research Article

Article History:

Received: 19.03.2024

Accepted: 17.07.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

DPPH

FRAP

Phenolic

Flavonoid

Altitude

ABSTRACT

This study focuses on 12 plant species thriving at different altitudes on Mount Ergan within the boundaries of Erzincan province, Turkey. Three altitude zones were chosen, namely 1500 m (*Glaucium leiocarpum* Boiss., *Astragalus ornithopodioides* Lam., *Alcea calvertii* (Boiss) Boiss.), 2000 m (*Globularia trichosantha* Fisch. & C.A. Mey, *Hypericum scabrum* L., *Tanacetum mucroniferum* Hub. Mor. Et Grierson, *Inula oculus-christi* L., *Onobrychis cornuta* (L.) Desv., *Barbarea auriculata* Hausskn. Ex Bornm), and 3000 m (*Scorzonera sericea* DC., *Hedysarum erythroleucum* Boiss., *Astragalus nezaketiae* A. Duran & Aytaç). The study aimed to determine the effects of altitude on plants. Ethyl acetate, methanol, and water extractions were performed on different plant organs (leaves, stems, and roots), and the analysis included the determination of phenolic (TPC) and flavonoid (TPF) content, as well as antioxidant activity (DPPH, FRAP). When antioxidant activities were examined, the highest values were determined in *Globularia trichosantha* plant species. DPPH activity was 47.86 ± 1.70 in leaf, 108.09 ± 1.29 in stem and 60.57 ± 0.74 in root. Phenolic content was 82.56 ± 0.46 in leaf, 56.71 ± 2.12 in stem and 59.75 ± 2.11 in root. FRAP activity was 54.87 ± 1.54 in leaf, 41.09 ± 3.06 in stem and 48.95 ± 2.73 in root. Flavonoid content data were determined as 59.81 ± 2.31 in *Globularia trichosantha* leaf, 31.62 ± 3.55 in stem, 35.71 ± 2.73 in *Hypericum scabrum* root. Statistical analysis of the results using the SPSS 22 Statistics Program revealed significant differences among elevations. Particularly, a robust positive correlation was observed in methanol-soluble samples between the content of phenolics, flavonoids, and antioxidant activities. In conclusion, this study elucidates the variability in phenolic and flavonoid content, as well as antioxidant activities of plants growing at different altitudes. The findings underscore the influence of altitude on the bioactive compounds and antioxidant potential of these plant species. Additionally, the antioxidant performance exhibited by *Hypericum scabrum* L., *Tanacetum mucroniferum* Hub. Mor. Et Grierson, *Globularia trichosantha* Fisch. & C. A. Mey plants growing at 2000 m altitude creates potential for further exploration in pharmaceutical or other applications of these plants.

To Cite: Adıgüzelli G., Osma E., Varol T., Şimşek S., Kandemir A. Erzincan İli-Ergan Dağı'nın Farklı Rakımlarında Yayılış Gösteren Bazı Taksonların Antioksidan Kapasiteleri. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(5): 2315-2332.

1. Giriş

Antioksidanlar, bitkileri serbest radikallere karşı savunan önemli bileşiklerdir. Bu grup içinde fenolik bileşikler öne çıkar, bu da basit ve karmaşık fenolik bileşikleri, flavonoidleri (antosiyenin, flavonlar, flavonoller ve izoflavonoidler) ve yaygın olarak bulunan tanenleri içerir (Gentile ve ark., 2018; Williamson ve ark., 2018; Güven ve ark., 2019; Shen ve ark., 2022). Bu doğal bileşikler, hücrelere zarar vermeden önce serbest radikalleri etkisiz hale getirerek veya stabilize ederek bitkilerin sağlığını korumaya yardımcı olur (Percival, 1996; Saffaryazdi ve ark., 2020; Varol ve ark., 2023).

Bitkiler, yaşamsal faaliyetleri sırasında fenolik bileşik, flavonoid, tokoferol, klorofil, alkaloid, polifonksiyonlu organik asit ve karoten gibi çeşitli organik bileşikleri sentezlemektedirler. Bu organik bileşikler, bitkilerin biyokimyasal süreçlerine katılarak çeşitli fizyolojik fonksiyonları yerine getirir ve bitkilerin adaptasyon, savunma, büyüme ve çevresel streslere yanıt verme yeteneklerini etkiler. Bitkisel metabolitlerin bu çeşitliliği, bitkilerin çevreleriyle etkileşimlerinde önemli bir rol oynayarak ekosistemlerin sağlıklı işleyişine katkı sağlar (Larson, 1988; Ergün, 2021). Fenolik bileşikler, bitkilerde büyüme, çoğalma ve diğer temel yaşamsal faaliyetlerin yanı sıra zararlılarla mücadelede ve dış etkilere

karşı savunmada da önemli rol oynayan sekonder metabolitler olarak bilinirler. Ayrıca, bitkilerin aroma ve koku özellikleri, esansiyel yağ formundaki fenolik bileşiklerden kaynaklanmaktadır. Bu bileşikler, bitkinin antioksidan kapasitesini belirlemede de önemli bir faktördür (Ergün, 2021).

Bitkilerdeki ikincil metabolitlerin, fenolik bileşikler de dahil olmak üzere, biyosentezi ve birikimi; türlerin ayrıcalığına, vejetasyon dönemine ve yetiştirme koşulları gibi bir dizi faktöre bağlıdır. Bu faktörler arasında iklimsel etmenler, rakım ve toprak özellikleri önemli bir yere sahiptir (Mikulajová ve ark., 2016; Yang ve ark., 2018; Tajik ve ark., 2019; Ribeiro ve ark., 2019).

Bitki ve bitki kısımlarının anatomik, morfolojik, fenolojik, biyokimyasal ve biyofiziksel özellikleri yaşadığı ortamın ekolojik şartlarına verdikleri cevabın bir göstergesidir. Bununla birlikte bitkilerin sahip olduğu biyokimyasal aktiviteler, çevre koşullarına bitkinin göstermiş olduğu adaptasyonunun bir parçasıdır (Kattge ve ark., 2011).

Erzincan ilinin coğrafi yapısı yoğunluk olarak dağlar ve platolardan oluşmaktadır. Dağlar, il sınırlarının yaklaşık olarak %60'ına sahiptir (Özhatay, 2006; Korkmaz ve Alpaslan, 2014). İlin en yüksek dağlarından olan Ergan Dağı yapısal olarak resifal katmanlı kireçtaşı, kırıntılı kayalar, masif kireçtaşı, metamorfik kayalar, pelajik kireçtaşı, ofiyolitli karışık, ofiyolitler, volkanitler ile evaporitlerden oluşmaktadır (Boz ve Yılmaz, 2020).

Bu çalışmada, bitkilerin antioksidan aktivitesi üzerine rakımın etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bununla beraber, farklı rakımlarda yetişen bitkilerin antioksidan kapasiteleri arasındaki olabilecek ilişkileri ortaya koymak ve bu bitki türlerinin biyoaktif bileşenlerinin çeşitliliğini değerlendirmek de çalışmanın hedefleri arasındadır.

2. Materyal ve Metot

Bu araştırma, Erzincan İl sınırlarında bulunan ve rakımı 3256 m olan Ergan Dağı'nda gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada Ergan Dağı'nın farklı rakımlarında yetişen 12 bitki türü 1500 m (*Glaucium leiocarpum* Boiss, *Astragalus ornithopodioides* Lam., *Alcea calvertii* (Boiss) Boiss.), 2000 m (*Globularia trichosantha* Fisch. & C.A. Mey, *Hypericum scabrum* L., *Tanacetum mucroniferum* Hub. Mor. Et Grierson, *Inula oculus-christi* L., *Onobrychis cornuta* (L.) Desv., *Barbarea auriculata* Hausskn. ex Bornm), 3000 m (*Scorzonera sericea* DC., *Hedysarum erythroleucum* Boiss., *Astragalus nezaketiae* A. Duran ve Aytaç) alanı temsil edecek miktarda toplanmıştır. Farklı rakımlarda yetişen bu bitkilerin yaprak, dal ile kökleri metanol, etilasetat ve suda çözüldürülerek DPPH, fenolik bileşikler (TFC), flavonoidler (TPC), FRAP konsantrasyonları tespit edilmiştir.

2.1. Bitki Materyalinin Özütleme (Ekstraksiyonu) İşlemi

Bitki numuneleri Erzincan ilinin Ergan Dağı mevkiinde 1500, 2000 ve 3000 m olmak üzere 3 farklı rakımdan toplandı. Toplanan bitkiler kök, dal ve yaprak olmak üzere organlarına ayrılarak, kurutma işlemi yapıp toz haline getirildi ve falkon tüplere aktarıldı. Biyolojik aktivite testleri için antioksidan yöntemler kullandı. Bu yöntemler için farklı çözücülerde ekstraksiyon işlemi yapılmış olup apolar

çözücüden polar çözücüye doğru sırasıyla; n-hekzan, etilasetat, metanol ve su kullanıldı. Numuneler bu sıraya göre adı geçen çözücülerde 24 saat bekletildikten sonra filtre kâğıdı ile süzme işlemi yapıldı. Bu işlem her bir numune için 3 kez tekrarlandı ve süzülen kısım evaporasyon yöntemi ile uzaklaştırılarak bitkilerin ham ekstraktları elde edildi.

Ekstraksiyon, bitki materyalinden biyoaktif bileşiklerin elde edildiği temel bir işlem olarak tanımlanmaktadır. Bu işlemin ana hedefi, en yüksek miktar ve biyolojik aktivitede bileşiği elde etmektir (Truong ve ark., 2019). Bitki ekstraktlarının bileşimi ve antioksidan aktivitesindeki çeşitlilik, çeşitli faktörlerden kaynaklanmaktadır; bunlar arasında çözücü tipi, örnek hazırlama yöntemleri ve ekstraksiyon metodu gibi unsurlar bulunmaktadır (Yakoub ve ark., 2018). Sadece kullanılan ekstraksiyon yöntemi değil, aynı zamanda kullanılan çözücünün de ekstraksiyon verimi ve elde edilen ekstraktın biyolojik aktivitesi üzerinde etkisi olabilmektedir. Bu nedenle, metanol, etanol ve aseton gibi çeşitli çözücüler, bitki materyallerinden biyoaktif maddelerin ekstraksiyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır (Karataş ve ark., 2019; Truong ve ark., 2019).

2.2. Serbest Radikal Giderme Aktivitesi

Bitkilerin doğal özütlerinin serbest radikal DPPH• (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) giderme aktiviteleri, Akman ve ark. (2024) tarafından bildirilen metot temel alınarak belirli modifikasyonlarla gerçekleştirildi. DPPH• (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) çözeltisi, 0,26 mM konsantrasyonda metanol ile çözülerek hazırlandı. Test edilen özütler 1 mg/ml konsantrasyonda hazırlanan stok çözeltilerden belirli derişimler alınarak son hacimleri 3 ml metanol ile tamamlandı ve üzerine 1 ml DPPH• çözeltisi eklenerek çalışıldı. Son karışımdaki test tüpleri vorteks yardımıyla karıştırılarak 30 dakika karanlık bir ortamda, oda sıcaklığında inkübe edildi. Süre sonunda 517 nm'de absorbansı spektrofotometre ile ölçüldü. Elde edilen absorbans değerleri, her bir özüt için IC₅₀ (µg/ml) olarak hesaplandı ve % aktiviteye dönüştürüldü (Şimşek ve ark., 2023; Varol ve ark., 2023).

2.3. İndirgeme Gücü (FRAP) Aktivitesi

İndirgeme gücü aktivite testi Albayrak ve ark. (2024) tarafında bildirilen metot temel alınarak belirli modifikasyonlar gerçekleştirilerek uygulandı. Özütlerin 1 mg/ml konsantrasyonunda hazırlanan stok çözeltilerinden 100 µL alınarak fosfat tamponu (0.2 M, pH 6.6) ile hacmi 1,25 ml'ye tamamlandı. Bu karışıma 1,25 ml potasyum ferrik siyanür [K₃Fe(CN)₆] (%1) ilave edildi ve karışım, 50°C'de 20 dakika inkübe edildi. İnkübasyonun ardından, reaksiyon ortamına sırasıyla %10'luk TCA çözeltisinden 1,25 ml ve %0,1'lik FeCl₃ çözeltisinden 0,25 ml eklenerek, son karışımın absorbansı 700 nm'de ölçüldü. Trolox'un farklı konsantrasyonları kullanılarak elde edilen kalibrasyon eğrisi oluşturularak sonuçlar mg Trolox eşdeğeri/g özüt olarak hesaplandı (Şimşek ve ark., 2023; Varol ve ark., 2023).

2.4. Toplam Fenolik Madde Miktarı

Bitkilerin toplam fenolik madde içeriği, spektrofotometrik olarak Folin-Ciocalteu reaktifi kullanılarak analiz edildi (Akşit ve ark., 2022). Özütler 1 mg/ml derişiminde hazırlanan stok çözeltilerinden 100 µL

alındı ve üzerine 4,5 ml distile su eklendi. Daha sonra, karışıma 100 µL Folin-Ciocalteu reaktifi eklendi. Karışım, 10 dakika boyunca oda şartlarında bekletildikten sonra %2'lik Na₂CO₃ çözeltisinden 300 µL ilave edildi. Bu karışım, vorteks ile şiddetli şekilde karıştırılarak oda şartlarında 2 saat inkübe edildi. İnkübasyon sonrasında, karışımın 760 nm absorbanı spektrofotometre ile ölçüldü. Standart olarak kullanılan gallik asidin farklı konsantrasyonları kullanılarak elde edilen kalibrasyon eğrisi oluşturuldu ve sonuçlar, mg olarak gallik aside eşdeğer fenolik madde/gr özüt olarak ifade edildi (Varol ve ark., 2023).

2.5. Toplam Flavonoid Miktarı

Bitkilerdeki toplam flavonoid miktarının belirlenmesi, bileşiklerin AlCl₃ reaktifi ile reaksiyonu sırasında oluşan renkli kompleks bileşenlerin absorbanı değerlerinin belirlenmesine dayanmaktadır. Bitkilerin toplam flavonoid içeriği, alüminyum klorür kolorimetrik yöntemi kullanılarak belirlendi (Chang ve ark., 2002). Özetle, 1 mg/ml derişiminde hazırlanan stok çözeltilerden 100 µL alındı ve son hacimleri 4,8 ml metanol ile tamamlandı. Daha sonra, ortama 1 M NH₄CH₃COO çözeltisi (0,1 ml veya 100 µL) ve %10'luk AlCl₃ çözeltisinden (0.1 ml veya 100 µL) eklendi ve vortekslenerek elde edilen son karışım, oda şartlarında 45 dakika inkübe edildi. İnkübasyonun ardından karışım 415 nm absorbanı değeri spektrofotometre ile ölçüldü. Standart olarak kullanılan kuersetinin farklı konsantrasyonları ile çizilen kalibrasyon eğrisinden yararlanılarak, özütteki toplam flavonoid miktarı mg kuersetinin eşdeğeri/g özüt olarak hesaplandı (Varol ve ark., 2023).

2.6. İstatistiksel Değerlendirme

Çalışma kapsamında elde edilen veriler, istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. İstatistiksel hesaplamalarda ve karşılaştırmalarda p≤0,05 değeri anlamlı olarak kabul edilmiştir. Veriler, SPSS 22 Paket İstatistik Programı kullanılarak %95 güven aralığında ANOVA testi ile analiz edilmiş ve habitatlar arasındaki farklılıklar S-N-K ve Tukey's B yöntemleriyle çoklu karşılaştırmalarla belirlenmiştir. Antioksidan aktiviteler ile fenolik bileşikler arasındaki ilişki, Pearson korelasyon katsayısı (r) kullanılarak değerlendirilmiştir. Aynı programda p≤0,05 'teki farklılıklar anlamlı olarak kabul edilmiştir (Elveren ve Osma, 2022; Varol ve ark., 2023).

3. Bulgular ve Tartışma

Yapılan çalışma ile farklı rakımlarda yayılış gösteren 12 bitkinin kök, dal ve yaprakları etilasetat, metanol ve su çözeltilerinde ekstra edilerek antioksidan bileşiklerin (fenolik bileşikler (TFC), flavonoidler (TPC), DPPH, FRAP) miktarları belirlenmiştir. Elde edilen veriler, bitkilerin antioksidan potansiyellerinin yetiştikleri rakım ve ekstraksiyon çözücüsüne bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Çalışmada, DPPH verileri incelendiğinde bitki yapraklarında en iyi aktivite metanolde çözünen 47,86±1,70 G. *trichosantha* bitkisinde ve yine metanolde çözünen 52,51±0,93 ile H. *scabrum* bitki türlerinde tespit edilmiştir. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde bitkilerin dal kısmında (etilasetatta

76,12±1,03 metanolde, 108,09±1,29 suda, 31,31±0,89) köklerde (etilasetatta 30,15±0,76, metanolde 60,57±0,74, suda, 34,76±0,34) değerleri ile 2000 m yetişen *G. trichosantha* bitki türünde gözlenmiştir. En yüksek DPPH aktivitesine sahip olduğu tespit edilen bu tür, özellikle kök kısmında önemli bir antioksidan potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 1.).

Bitkilerin yapraklarında, dallarında ve köklerinde elde edilen fenolik içeriklere ait veriler incelendiğinde, genel olarak *G. trichosantha* türünde aktivitenin diğer bitki türlerine kıyasla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Suda ekstre edilen dal kısmında (102,56±1,48) fenolik içeriğin en yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir (Tablo 2.).

Ayrıca, toplam flavonoid (59,81±2,31 yaprakta) ve FRAP (66,04±0,89 dalda) miktarlarıyla ilgili elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda, genelde *G. trichosantha* bitki türünde bu bileşenlerin yüksek düzeyde bulunduğu tespit edilmiştir. Özellikle toplam flavonoid ve FRAP değerleri açısından bu tür, diğer bitki türlerine göre belirgin bir biyoaktif potansiyele sahip olduğu anlaşılmaktadır (Tablo 3, 4.). İki *Globularia* türünün (*G. trichosantha* ve *G. orientalis*) kimyasal ve biyolojik profilleri üzerine yapılan bir araştırmada, 107 bileşenin varlığı tespit edilmiş ve bunlardan 43'ü *Globulariaceae* ailesinde ilk kez karakterize edilmiştir (Rodríguez-Pérez ve ark., 2019). *Globularia* cinsine ait türler, morfolojik çeşitlilikleri, ekolojik adaptasyonları ve farmakolojik özellikleri nedeniyle botanik ve biyolojik araştırmalar için zengin bir kaynak oluşturduğu yapılan çalışmalarda rapor edilmiştir (Innangi ve ark., 2020; Frišćić ve ark., 2022; Nour ve ark., 2023). *G. trichosantha*'nın hemoroid tedavisinde kullanılabildiği de belirlenmiştir (Sezik ve ark., 1991). *G. trichosantha* subsp. *trichosantha* üzerinde yapılan bir doku kültürü çalışmasında, kallus ve bitkide katalpol, aucubin ve verbaskosidin ilk kez niceliksel olarak belirlendiği ve bu ikincil metabolitlerin kallus kültüründe, bitkide doğal olarak bulunan miktardan yaklaşık yedi kat daha fazla üretildiği tespit edilmiştir (Çölgeçen ve ark., 2018).

Bitki kısımlarında elde edilen veriler incelendiğinde FRAP, fenolik ve flavonoid içeriğin bitkilerin yapraklarında genel anlamda daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Farklı rakımlardan toplanan bitkilerden elde edilen verilerle yapılan korelasyon analizi, çalışılan parametreler arasında belirgin farklılıklar ortaya koymaktadır. Yapılan korelasyon sonuçlarına göre, bütün bitkilerin kök, dal ve yaprakları arasında antioksidan bileşikler arasında bir ilişki gözlemlenmiştir. DPPH ile fenolik, flavonoid içeriği ve FRAP arasında genellikle pozitif yönde bir korelasyon tespit edilmiştir. Özellikle metanolde çözünen bitki kısımlarında, DPPH ile fenolik içerik arasında (yaprakta $r=0,457^{**}$, dalda $r=0,405^{**}$, kökte $r=0,554^{**}$), DPPH ile flavonoid arasında (yaprakta $r=0,559^{**}$, dalda $r=0,508^{**}$, kökte $r=0,515^{**}$), DPPH ile FRAP arasında (yaprakta $r=0,634^{**}$, dalda $r=0,435^{**}$, kökte $r=0,471^{**}$) çok güçlü yönde pozitif ilişki belirlenmiştir (Tablo 4.) Bu bulgular, daha önce gerçekleştirilen birçok çalışmanın sonuçları ile uyumludur (Chew ve ark., 2009; Chaieb ve ark., 2011; Kicel ve Wolbiś, 2013; Othman ve ark., 2014; Qader ve ark., 2014; Zugic ve ark., 2014; Comlekcioglu, 2020). Bunun yanında 1500 m, 2000 m, 3000 m de yetişen bitkiler arasında istatistiksel farklılıklar olduğu görülmüştür (Şekil 1).

Yapılan bu çalışmada elde edilen veriler daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen veriler ile kıyaslanmıştır.

Srivastava ve ark. (2023) fenolik bileşiklerin konsantrasyonu konusunda düşük rakımlardan yüksek rakımlara doğru anlamlı bir farklılık tespit etmişlerdir. Adhikari ve ark. (2022), rakım değişiminin toplam fenol ve flavonoid içeriği üzerinde olumlu bir etki gösterirken, ABTS ve DPPH aktivitesi ile taksol, tanen, flavanol içeriği ve bitkinin antimikrobiyal aktivitesi üzerinde herhangi bir etki göstermediğini bildirmiştir. Sharma ve Adhikari (2023) çalışmalarında, *A. vulgari*'nin rakım değişiminin uçucu yağ verimi ve bileşenleri ile biyolojik aktiviteler üzerinde önemli bir rol oynadığını belirlemişlerdir. Yüksek rakımlarda yetişen bitkiler üzerinde yapılan çalışmanın, potansiyel ilaç adayı olabilecek güçlü antioksidan, antidiyabetik ve antibakteriyel bileşenlerin izolasyonu ve tanımlanması için gelecekteki ilaç geliştirme süreçlerinde önemli olabileceğini öne sürmüşlerdir. Hussain ve ark. (2023), Batı Himalaya bölgesinin farklı rakımlarında yetişen tıbbi ve aromatik özelliklere sahip *Artemisia brevifolia* bitkisinin DPPH, toplam fenol ve toplam flavonoid içeriğini belirlemek amacıyla gerçekleştirdikleri çalışma sonucunda, antioksidan aktivitelerin rakıma bağlı olarak değiştiğini belirlemişlerdir. Rawat ve ark. 2011 Batı Himalaya'da (Hindistan) *Hedychium spicatum* rizomunun rakım boyunca toplam fenolik bileşikleri ve antioksidan potansiyelini belirlemişlerdir. Dört farklı rakımdan topladıkları bitkilerde, en iyi aktivitenin 2100-2300 m aralığında olduğunu gözlemlemişlerdir. Nchabeleng ve ark. (2012) Güney Afrika'da 600-1400 m aralığındaki rakımlarda 8 farklı lokasyonda gerçekleştirdikleri çalışmada, rakımların arasında toplam polifenoller ve tanen içeriği üzerinde hafif bir etki olduğunu, ancak antioksidan içeriğin toplamında önemli bir fark olmadığını tespit etmişlerdir. Jitendra ve ark. (2021) Himachal Pradesh (Hindistan)'da farklı rakımlarda yetişen *Artemisia nilagirica* bitkisinin, rakım değişimine bağlı olarak farklı konsantrasyonlarda uçucu yağ içerdiğini rapor etmişlerdir.

Sırbistan'dan seçilmiş 10 bitkide antioksidan aktivite ve fenolik bileşikler araştırılmış olup incelenen tüm bitki türlerinin fenolik bileşenler açısından zengin olduğunu ve kullanılan iki farklı yöntemle ölçülen verilerin tatmin edici düzeyde antioksidan aktivite gösterdiğini ortaya koyarak, antioksidan özellikler ile fenol bileşikleri içeriği arasında da yüksek bir korelasyon olduğunu belirlemişlerdir (Zugic ve ark., 2014).

Türkiye'de yetişen *Corydalis oppositifolia* ve *Senecio cilicius* adlı iki endemik bitki türünün fenolik içerikleri ve biyolojik aktiviteleri ile ilgili yaptıkları çalışmada etanol, metanol ve etil asetat ekstre ettikleri bitki toprak altı kısımlarında farklı veriler elde etmişlerdir. İki bitkinin antioksidan aktivitelerinin yüksek olduğunu belirlemişlerdir (Acet ve ark., 2021). Farklı rakımlarda yetişen *Asplenium ceterach* L. bitkisinin fitokimyasal içerikleri ve antioksidan aktivitelerini tespit ettikten sonra rakımın tek başına etkili olmadığını, ancak bir faktör olabileceği aktiviteler üzerinde etkili olabileceğini öne sürmüşlerdir (Pekgöz ve Çınbılgel, 2019).

Yaban mersini ile ilgili yaptıkları çalışmada bitki örneklerinin temin edildikleri yükseklikler arttıkça, doğal olarak yetişen bitki türlerinde fenolik asit ve flavonoid miktarının da arttığı gözlemlemişlerdir

(Yıldız ve ark., 2015). Yaptıkları araştırma sonuçlarına göre, aynı enlem derecesinde yer alan bölgelerde, rakım değişikliklerinin fitokimyasal bileşim ve antimikrobiyal aktivite üzerinde paralel bir etkisi olduğu belirlenmiştir (Mertoğlu ve ark., 2020). Rakım, *Artemisia abrotanum* L., *Mentha spicata* L. (sadece toplam fenoller) ve (*Rosmarinus officinalis* L.) (sadece flavonoidler) gibi belirli türlerin fenolik bileşik içeriğini ve antioksidan kapasitesini artırdığını, ancak dağlık alana kıyasla ovada yetişen bitkilerde daha yüksek antioksidan kapasitesinin olduğunu tespit etmişlerdir (Chrysargyris ve ark., 2020). Bu çalışmada, endemik tıbbi bitkilerde birçok önemli varyasyon tespit edilmiştir. Üç bölgeden (1600-1800 m, 1800-2000 m, 2000-2200 m) toplanan beş endemik hedef türün antioksidan aktivitesi ve kimyasal bileşimi farklı rakımlarda birçok önemli farklılık tespit edilmiştir. *Rosa arabica*'nın farklı rakımlarda antioksidan aktivitesini artırdığını belirlemişlerdir (Hashim ve ark., 2020). Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, 1370 m orta yükseklikte yetişen bitkilerin daha yüksek antioksidan enzim aktivitesine sahip olduğunu, 2580 m yüksekliğindeki bitkilerin ise daha yüksek düzeyde ikincil metabolit biriktirdikleri için tıbbi kullanım noktasında önemli olabileceğini ortaya koymuşlardır (Khan ve ark., 2016). Bu çalışmada elde edilen veriler ile daha önce yapılan çalışmalar kıyaslandığında bitkilerin biyoaktiviteleri üzerinde rakımın önemli bir etken olabileceği kanıtlanmıştır.

Tablo 1. Bitki kısımlarında DPPH aktivitesinin in vitro sonuçları

Rakım	Bitki Türü	Etilasetat			Metanol			Su		
1500m	<i>Glaucium leiocarpum</i> Boiss.	116,27	±	0,93	104,85	±	0,78	70,56	±	0,98
1500m	<i>Astragalus ornithopodioides</i> Lam.	188,79	±	1,65	115,9	±	0,39	470,22	±	0,77
1500m	<i>Alcea calvertii</i> (Boiss) Boiss.	791,88	±	1,62	917,14	±	0,36	655,4	±	0,46
2000m	<i>Globularia trichosantha</i> Fisch. & C.A. Mey	115,98	±	0,27	47,86	±	1,70	102,02	±	0,42
2000m	<i>Hypericum scabrum</i> L.	185,76	±	0,60	52,51	±	0,93	142,43	±	0,49
2000m	<i>Tanacetum mucroniferum</i> Hub. Mor. Et Grierson	256,92	±	0,25	111,28	±	2,72	145,85	±	0,37
2000m	<i>Inula oculus-christi</i> L.	527,54	±	0,73	133,03	±	1,35	191,6	±	1,07
2000m	<i>Onobrychis cornuta</i> (L.) Desv.	638,15	±	0,45	182,78	±	0,39	327,29	±	0,63
2000m	<i>Barbarea auriculata</i> Hausskn. ex Bornm	2245,51	±	0,62	576,44	±	0,88	936,25	±	0,47
3000m	<i>Scorzonera sericea</i> DC.	322,31	±	0,96	94,9	±	1,20	113,27	±	0,72
3000m	<i>Hedysarum erythroleucum</i> Boiss.	1118,89	±	1,27	237,75	±	0,92	245,79	±	1,22
3000m	<i>Astragalus nezaketiae</i> A. Duran & Aytaç	1926,52	±	1,39	348,43	±	1,03	398,41	±	0,47
1500m	<i>Glaucium leiocarpum</i> Boiss.	558,22	±	0,72	168,57	±	1,14	163,69	±	0,51
1500m	<i>Astragalus ornithopodioides</i> Lam.	616,85	±	1,10	382,26	±	0,38	466,18	±	1,04
1500m	<i>Alcea calvertii</i> (Boiss) Boiss.	3290,99	±	0,68	514,28	±	1,07	624,15	±	1,06
2000m	<i>Globularia trichosantha</i> Fisch. & C.A. Mey	76,12	±	1,03	108,09	±	1,29	31,31	±	0,89
2000m	<i>Hypericum scabrum</i> L.	108,59	±	0,38	117,14	±	0,74	166,95	±	1,07
2000m	<i>Tanacetum mucroniferum</i> Hub. Mor. Et Grierson	411,93	±	0,83	170,37	±	0,92	171,022	±	0,50
2000m	<i>Inula oculus-christi</i> L.	491,24	±	0,40	220,77	±	1,31	355,4	±	0,26
2000m	<i>Onobrychis cornuta</i> (L.) Desv.	572,92	±	0,90	327,63	±	0,93	446,53	±	1,17
2000m	<i>Barbarea auriculata</i> Hausskn. ex Bornm	853,29	±	0,82	371,2	±	1,09	608,01	±	1,27
3000m	<i>Scorzonera sericea</i> DC.	319,85	±	0,41	226,31	±	0,72	408,37	±	1,17
3000m	<i>Hedysarum erythroleucum</i> Boiss.	686,32	±	1,44	391,36	±	0,68	413,05	±	0,51
3000m	<i>Astragalus nezaketiae</i> A. Duran & Aytaç	711,79	±	1,74	828,79	±	0,73	765,22	±	1,10
1500m	<i>Glaucium leiocarpum</i> Boiss.	504,66	±	0,71	159,2	±	0,70	132,54	±	0,74
1500m	<i>Astragalus ornithopodioides</i> Lam.	739,06	±	0,69	286,79	±	0,72	217,26	±	0,59
1500m	<i>Alcea calvertii</i> (Boiss) Boiss.	1993,64	±	1,91	324,7	±	1,17	1235,86	±	0,65
2000m	<i>Globularia trichosantha</i> Fisch. & C.A. Mey	30,15	±	0,76	60,57	±	0,74	34,76	±	0,34
2000m	<i>Hypericum scabrum</i> L.	81,22	±	1,46	75,21	±	0,35	70,61	±	0,52
2000m	<i>Tanacetum mucroniferum</i> Hub. Mor. Et Grierson	172,24	±	0,52	137,69	±	0,66	80,28	±	0,75
2000m	<i>Inula oculus-christi</i> L.	188,21	±	0,94	148,41	±	0,57	137,65	±	0,29
2000m	<i>Onobrychis cornuta</i> (L.) Desv.	502,5	±	1,56	221,99	±	1,19	253,47	±	0,26
2000m	<i>Barbarea auriculata</i> Hausskn. ex Bornm	563,97	±	1,53	421,05	±	0,62	1341,89	±	0,37
3000m	<i>Scorzonera sericea</i> DC.	718,8	±	0,63	223,28	±	0,83	235,63	±	0,56
3000m	<i>Hedysarum erythroleucum</i> Boiss.	723,96	±	0,83	256,78	±	0,61	659,14	±	0,65
3000m	<i>Astragalus nezaketiae</i> A. Duran & Aytaç	1265,25	±	1,02	1599,02	±	1,25	891,4	±	0,64

Tablo 2. Bitki kısımlarında toplam fenolik içeriği (TPC)

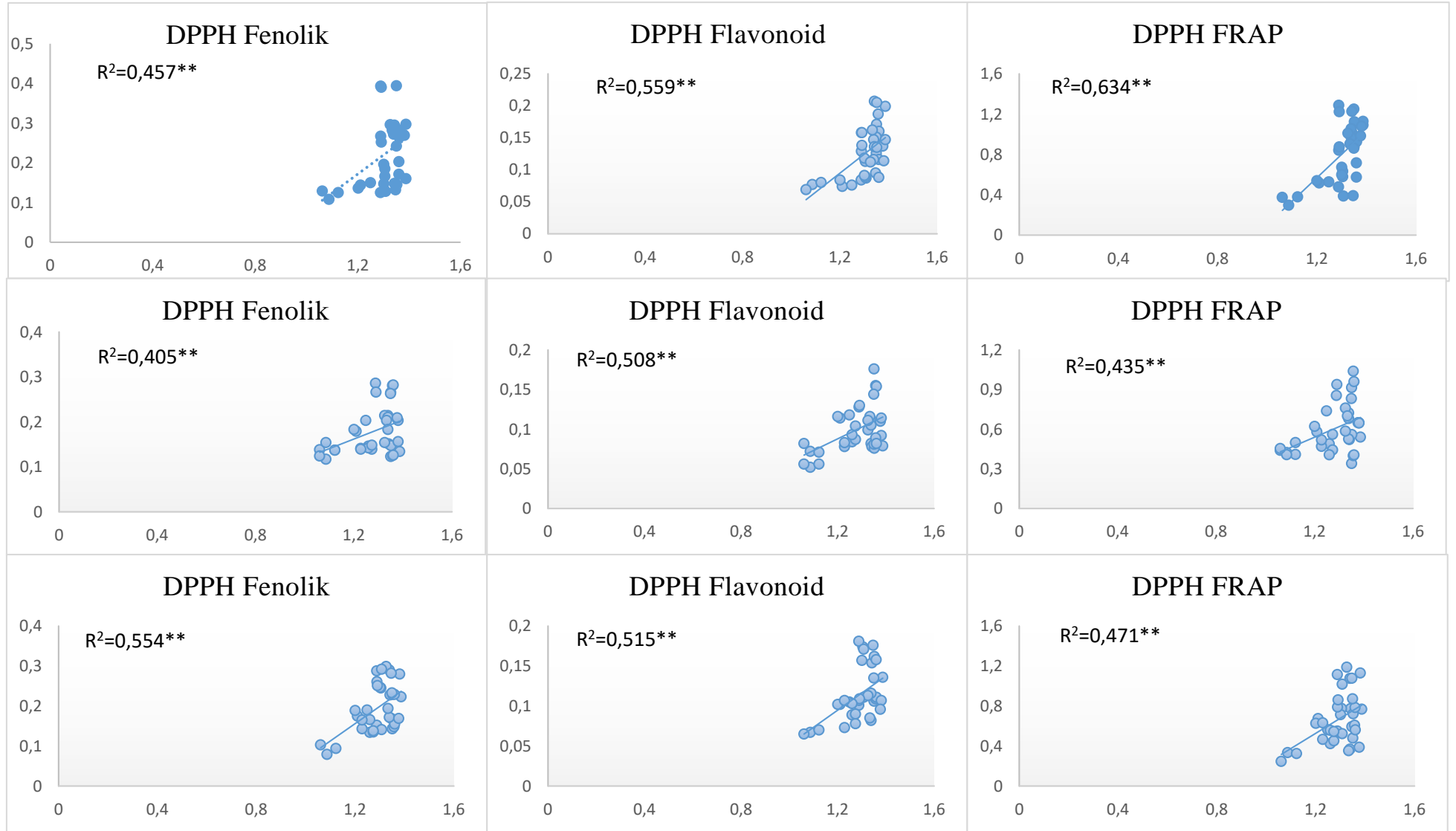
Rakım	Bitki Türü	Etilasetat			Metanol			Su		
1500m	<i>Glaucium leiocarpum</i> Boiss.	33,32	±	2,82	57,87	±	3,52	63,97	±	1,69
1500m	<i>Astragalus ornithopodioides</i> Lam.	25,99	±	1,41	55,97	±	1,72	22,56	±	0,33
1500m	<i>Alcea calvertii</i> (Boiss) Boiss.	12,58	±	0,58	22,19	±	2,47	21,08	±	1,42
2000m	<i>Globularia trichosantha</i> Fisch. & C.A. Mey	35,69	±	1,09	82,56	±	0,46	47,16	±	1,77
2000m	<i>Hypericum scabrum</i> L.	26,47	±	2,64	60,34	±	1,42	35,82	±	1,77
2000m	<i>Tanacetum mucroniferum</i> Hub. Mor. Et Grierson	25,73	±	1,67	56,49	±	1,35	35,67	±	0,12
2000m	<i>Inula oculus-christi</i> L.	20,28	±	2,73	51,75	±	2,78	31,08	±	2,15
2000m	<i>Onobrychis cornuta</i> (L.) Desv.	15,58	±	2,80	38,64	±	2,01	27,60	±	2,50
2000m	<i>Barbarea auriculata</i> Hausskn. ex Bornm	8,58	±	1,45	23,90	±	0,78	18,12	±	0,51
3000m	<i>Scorzonera sericea</i> DC.	24,02	±	1,80	58,79	±	3,19	41,53	±	2,71
3000m	<i>Hedysarum erythroleucum</i> Boiss.	12,39	±	1,70	31,23	±	2,81	27,97	±	2,31
3000m	<i>Astragalus nezaketiae</i> A. Duran & Aytaç	10,95	±	1,69	27,23	±	1,56	26,04	±	2,93
1500m	<i>Glaucium leiocarpum</i> Boiss.	19,76	±	1,98	42,12	±	1,41	33,38	±	1,45
1500m	<i>Astragalus ornithopodioides</i> Lam.	16,36	±	2,50	26,93	±	0,80	23,60	±	2,77
1500m	<i>Alcea calvertii</i> (Boiss) Boiss.	8,02	±	0,83	24,41	±	2,63	21,23	±	1,66
2000m	<i>Globularia trichosantha</i> Fisch. & C.A. Mey	44,73	±	0,94	56,71	±	2,12	102,56	±	1,48
2000m	<i>Hypericum scabrum</i> L.	37,54	±	3,50	55,75	±	2,77	31,97	±	0,46
2000m	<i>Tanacetum mucroniferum</i> Hub. Mor. Et Grierson	23,84	±	3,45	41,45	±	0,84	31,82	±	2,32
2000m	<i>Inula oculus-christi</i> L.	23,47	±	3,39	37,23	±	2,85	26,27	±	1,11
2000m	<i>Onobrychis cornuta</i> (L.) Desv.	18,10	±	2,41	27,38	±	1,97	24,41	±	3,40
2000m	<i>Barbarea auriculata</i> Hausskn. ex Bornm	12,54	±	2,60	27,16	±	1,01	21,38	±	2,93
3000m	<i>Scorzonera sericea</i> DC.	24,21	±	1,80	31,90	±	3,59	25,97	±	1,00
3000m	<i>Hedysarum erythroleucum</i> Boiss.	15,24	±	2,12	26,12	±	3,34	24,86	±	2,47
3000m	<i>Astragalus nezaketiae</i> A. Duran & Aytaç	14,84	±	1,16	23,08	±	0,33	19,38	±	0,88
1500m	<i>Glaucium leiocarpum</i> Boiss.	20,76	±	3,17	45,75	±	0,71	40,49	±	3,73
1500m	<i>Astragalus ornithopodioides</i> Lam.	12,76	±	2,66	29,60	±	3,13	28,64	±	1,33
1500m	<i>Alcea calvertii</i> (Boiss) Boiss.	8,95	±	0,78	28,41	±	1,33	15,90	±	1,42
2000m	<i>Globularia trichosantha</i> Fisch. & C.A. Mey	68,50	±	0,89	59,75	±	2,11	92,19	±	0,71
2000m	<i>Hypericum scabrum</i> L.	43,36	±	1,09	59,23	±	1,11	59,23	±	1,47
2000m	<i>Tanacetum mucroniferum</i> Hub. Mor. Et Grierson	32,87	±	3,99	50,56	±	3,15	47,23	±	0,67
2000m	<i>Inula oculus-christi</i> L.	26,02	±	1,64	48,79	±	2,19	37,60	±	1,11
2000m	<i>Onobrychis cornuta</i> (L.) Desv.	21,99	±	2,41	36,41	±	1,86	27,75	±	2,10
2000m	<i>Barbarea auriculata</i> Hausskn. ex Bornm	18,24	±	1,95	25,90	±	1,09	15,08	±	2,37
3000m	<i>Scorzonera sericea</i> DC.	14,50	±	1,70	35,01	±	3,03	28,12	±	1,14
3000m	<i>Hedysarum erythroleucum</i> Boiss.	13,76	±	3,81	30,12	±	3,53	20,34	±	1,51
3000m	<i>Astragalus nezaketiae</i> A. Duran & Aytaç	11,43	±	1,39	15,82	±	2,69	18,34	±	1,28

Tablo 3. Bitki kısımlarında toplam flavonoid içeriği (TFC)

Rakım	Bitki Türü	Etilasetat			Metanol			Su		
1500m	<i>Glaucium leiocarpum</i> Boiss.	16,62	±	1,03	43,62	±	3,88	1,71	±	2,16
1500m	<i>Astragalus ornithopodioides</i> Lam.	18,10	±	2,93	34,76	±	1,19	9,62	±	1,15
1500m	<i>Alcea calvertii</i> (Boiss) Boiss.	4,14	±	0,29	6,95	±	1,62	6,76	±	0,29
2000m	<i>Globularia trichosantha</i> Fisch. & C.A. Mey	28,24	±	3,31	59,81	±	2,31	12,38	±	2,31
2000m	<i>Hypericum scabrum</i> L.	16,29	±	1,27	25,24	±	3,60	11,14	±	0,29
2000m	<i>Tanacetum mucroniferum</i> Hub. Mor. Et Grierson	16,19	±	0,30	27,90	±	1,90	6,10	±	0,72
2000m	<i>Inula oculus-christi</i> L.	13,10	±	1,07	22,86	±	0,44	3,05	±	1,15
2000m	<i>Onobrychis cornuta</i> (L.) Desv.	9,48	±	1,30	10,95	±	1,78	5,52	±	2,16
2000m	<i>Barbarea auriculata</i> Hausskn. ex Bornm	3,43	±	1,03	10,76	±	1,62	6,00	±	0,87
3000m	<i>Scorzonera sericea</i> DC.	16,10	±	1,94	18,00	±	0,57	16,48	±	1,90
3000m	<i>Hedysarum erythroleucum</i> Boiss.	6,14	±	1,51	18,48	±	0,72	7,05	±	2,22
3000m	<i>Astragalus nezaketiae</i> A. Duran & Aytaç	1,52	±	0,66	7,71	±	1,51	7,52	±	0,59
1500m	<i>Glaucium leiocarpum</i> Boiss.	10,71	±	1,49	11,43	±	2,44	7,52	±	0,72
1500m	<i>Astragalus ornithopodioides</i> Lam.	3,62	±	1,30	9,14	±	1,31	9,33	±	2,86
1500m	<i>Alcea calvertii</i> (Boiss) Boiss.	0,86	±	0,49	6,86	±	1,74	1,81	±	1,90
2000m	<i>Globularia trichosantha</i> Fisch. & C.A. Mey	26,71	±	1,55	31,62	±	3,55	34,67	±	1,47
2000m	<i>Hypericum scabrum</i> L.	21,81	±	2,64	23,71	±	0,44	5,05	±	1,74
2000m	<i>Tanacetum mucroniferum</i> Hub. Mor. Et Grierson	13,62	±	0,73	17,62	±	0,57	8,10	±	1,57
2000m	<i>Inula oculus-christi</i> L.	10,62	±	0,08	18,57	±	2,49	6,38	±	1,72
2000m	<i>Onobrychis cornuta</i> (L.) Desv.	10,48	±	0,68	7,62	±	0,87	7,14	±	2,00
2000m	<i>Barbarea auriculata</i> Hausskn. ex Bornm	3,38	±	0,79	12,10	±	3,00	6,57	±	1,19
3000m	<i>Scorzonera sericea</i> DC.	13,48	±	0,68	16,86	±	1,31	5,81	±	0,44
3000m	<i>Hedysarum erythroleucum</i> Boiss.	8,62	±	1,16	1,05	±	0,66	1,90	±	1,47
3000m	<i>Astragalus nezaketiae</i> A. Duran & Aytaç	5,38	±	0,64	9,43	±	1,25	6,57	±	2,00
1500m	<i>Glaucium leiocarpum</i> Boiss.	8,71	±	0,86	28,48	±	3,80	3,81	±	1,44
1500m	<i>Astragalus ornithopodioides</i> Lam.	6,10	±	2,52	16,10	±	0,72	4,48	±	1,29
1500m	<i>Alcea calvertii</i> (Boiss) Boiss.	2,19	±	0,58	16,48	±	1,57	4,76	±	1,29
2000m	<i>Globularia trichosantha</i> Fisch. & C.A. Mey	48,10	±	0,72	17,43	±	1,31	19,52	±	1,08
2000m	<i>Hypericum scabrum</i> L.	27,24	±	2,03	35,71	±	2,73	3,52	±	2,73
2000m	<i>Tanacetum mucroniferum</i> Hub. Mor. Et Grierson	19,71	±	2,39	18,86	±	1,43	17,71	±	2,92
2000m	<i>Inula oculus-christi</i> L.	19,00	±	1,55	32,00	±	4,46	13,71	±	2,62
2000m	<i>Onobrychis cornuta</i> (L.) Desv.	11,10	±	2,00	14,86	±	0,49	9,43	±	0,86
2000m	<i>Barbarea auriculata</i> Hausskn. ex Bornm	10,10	±	4,74	8,29	±	2,34	3,43	±	0,76
3000m	<i>Scorzonera sericea</i> DC.	3,57	±	0,41	10,48	±	0,72	7,33	±	0,44
3000m	<i>Hedysarum erythroleucum</i> Boiss.	7,33	±	3,02	14,00	±	2,11	5,81	±	1,14
3000m	<i>Astragalus nezaketiae</i> A. Duran & Aytaç	1,67	±	0,43	4,67	±	2,54	5,71	±	1,29

Tablo 4. Bitki kısımlarında FRAP aktivitesinin in vitro sonuçları

Rakım	Bitki Türü	Etilasetat			Metanol			Su		
1500m	<i>Glaucium leiocarpum</i> Boiss.	16,51	±	1,74	43,21	±	1,84	62,53	±	1,04
1500m	<i>Astragalus ornithopodioides</i> Lam.	12,60	±	2,77	38,51	±	3,86	24,07	±	3,66
1500m	<i>Alcea calvertii</i> (Boiss) Boiss.	5,46	±	1,27	10,77	±	2,27	20,56	±	4,00
2000m	<i>Globularia trichosantha</i> Fisch. & C.A. Mey	16,56	±	2,83	54,87	±	1,54	59,84	±	0,15
2000m	<i>Hypericum scabrum</i> L.	14,40	±	1,44	50,28	±	2,06	51,13	±	1,69
2000m	<i>Tanacetum mucroniferum</i> Hub. Mor. Et Grierson	11,16	±	1,54	40,20	±	2,85	48,67	±	3,95
2000m	<i>Inula oculus-christi</i> L.	9,05	±	0,42	35,61	±	2,05	44,51	±	1,52
2000m	<i>Onobrychis cornuta</i> (L.) Desv.	7,73	±	1,04	26,61	±	0,79	26,23	±	0,25
2000m	<i>Barbarea auriculata</i> Hausskn. ex Bornm	2,77	±	0,70	14,13	±	2,51	18,62	±	3,43
3000m	<i>Scorzonera sericea</i> DC.	11,03	±	2,07	44,85	±	1,73	56,00	±	0,64
3000m	<i>Hedysarum erythroleucum</i> Boiss.	4,61	±	1,47	22,22	±	0,59	28,57	±	0,90
3000m	<i>Astragalus nezaketiae</i> A. Duran & Aytaç	4,38	±	1,54	19,48	±	0,56	25,37	±	2,82
1500m	<i>Glaucium leiocarpum</i> Boiss.	8,73	±	1,70	28,38	±	2,76	48,49	±	0,58
1500m	<i>Astragalus ornithopodioides</i> Lam.	8,07	±	1,23	16,51	±	1,13	24,38	±	1,23
1500m	<i>Alcea calvertii</i> (Boiss) Boiss.	2,45	±	1,06	14,40	±	0,76	20,61	±	2,51
2000m	<i>Globularia trichosantha</i> Fisch. & C.A. Mey	22,45	±	1,75	41,09	±	3,06	66,04	±	0,89
2000m	<i>Hypericum scabrum</i> L.	10,08	±	0,80	36,40	±	0,93	45,47	±	3,26
2000m	<i>Tanacetum mucroniferum</i> Hub. Mor. Et Grierson	9,69	±	2,13	26,74	±	4,00	44,70	±	0,93
2000m	<i>Inula oculus-christi</i> L.	9,53	±	0,82	25,24	±	2,72	25,83	±	1,55
2000m	<i>Onobrychis cornuta</i> (L.) Desv.	8,41	±	0,52	20,05	±	1,28	24,88	±	1,67
2000m	<i>Barbarea auriculata</i> Hausskn. ex Bornm	5,21	±	0,31	17,87	±	3,91	21,40	±	2,61
3000m	<i>Scorzonera sericea</i> DC.	11,10	±	3,27	22,30	±	2,95	25,11	±	1,11
3000m	<i>Hedysarum erythroleucum</i> Boiss.	7,55	±	0,86	15,83	±	2,24	24,98	±	2,20
3000m	<i>Astragalus nezaketiae</i> A. Duran & Aytaç	6,16	±	1,87	12,33	±	1,76	19,11	±	3,22
1500m	<i>Glaucium leiocarpum</i> Boiss.	9,18	±	1,10	30,56	±	1,42	54,20	±	1,15
1500m	<i>Astragalus ornithopodioides</i> Lam.	5,70	±	0,25	20,83	±	3,19	39,40	±	3,08
1500m	<i>Alcea calvertii</i> (Boiss) Boiss.	3,99	±	1,08	20,53	±	1,73	14,05	±	1,33
2000m	<i>Globularia trichosantha</i> Fisch. & C.A. Mey	26,38	±	2,93	48,95	±	2,73	64,00	±	2,11
2000m	<i>Hypericum scabrum</i> L.	20,21	±	1,20	45,92	±	1,89	60,77	±	1,69
2000m	<i>Tanacetum mucroniferum</i> Hub. Mor. Et Grierson	15,47	±	2,65	34,74	±	2,39	59,86	±	0,17
2000m	<i>Inula oculus-christi</i> L.	13,60	±	0,97	30,70	±	2,17	51,13	±	2,31
2000m	<i>Onobrychis cornuta</i> (L.) Desv.	9,23	±	1,22	24,04	±	2,74	26,49	±	0,30
2000m	<i>Barbarea auriculata</i> Hausskn. ex Bornm	8,59	±	1,79	15,52	±	1,07	1,37	±	1,15
3000m	<i>Scorzonera sericea</i> DC.	6,11	±	0,43	23,52	±	2,36	36,23	±	1,23
3000m	<i>Hedysarum erythroleucum</i> Boiss.	5,73	±	2,53	21,91	±	1,71	19,42	±	0,83
3000m	<i>Astragalus nezaketiae</i> A. Duran & Aytaç	4,43	±	1,03	8,43	±	2,30	19,05	±	1,77



Şekil 1. Bitki kısımlarında yaprak (a), dal (b), kök (c) antioksidan aktiviteler arasındaki korelasyon (** p≤0.01, * p≤0.05).

4. Sonuç

Bitkilerin biyokimyasal ve fizyolojik yapıları, yetiştikleri çevresel koşullara bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu araştırmada, çalışılan bitkilerdeki biyoaktif bileşen miktarları ve antioksidan kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Farklı rakımlardan toplanan örneklerin toplam fenolik madde, toplam flavonoid madde ve DPPH ile FRAP aktivite değerlerinde önemli farklılıklar saptanmıştır. Ayrıca, aynı bitki türünün yaprak, dal ve kök kısımlarından elde edilen veriler arasında belirgin farklılıklar tespit edilmiştir. Sonuçlar, çalışılan bitkilerin morfolojik özelliklerinin yanı sıra antioksidan aktiviteleri ve fenolik içeriklerinin yetişme coğrafyalarına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği gibi bir türden diğerine ve bitkilerin toplama dönemine bağlı olarak antioksidan aktivitelerde değişim meydana gelebilmektedir. Çalışmada elde edilen veriler, bitkilerin farklı rakımlardaki adaptasyon mekanizmalarını anlamak için de önemli ipuçları sunmaktadır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler, özellikle *G. trichosantha* bitki türünün yanında *H. scabrum*, *T. mucroniferum* bitki türleri de önemli düzeyde biyolojik aktiviteye sahip olduğu görülmüştür. Türkiye'nin endemik bitki çeşitliliği, tıbbi ve aromatik bitkiler açısından büyük bir zenginliğe sahiptir. Bu nedenle, bitkilerden elde edilen doğal bileşiklerin daha etkili ve verimli kullanımına yönelik araştırmaların yapılması oldukça önemlidir. Son olarak, bitkilerin büyüme ve üretkenliğinin iyileştirilmesi için metabolomik, proteomik ve transkriptomik gibi yeni teknikler kullanarak çoklu çevresel faktörlerin sinerjik etkisini anlamak için moleküler düzeyde daha fazla araştırmaların yapılması gerekmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamıştır.

Kaynakça

- Acet T., Corbacı C., Ozcan K. Phenolic contents and biological activities of two endemic plants in Turkey. South African Journal of Botany 2021; 143: 457-461.
- Adhikari P., Joshi K., Singh M., Pandey A. Influence of altitude on secondary metabolites, antioxidants, and antimicrobial activities of Himalayan yew (*Taxus wallichiana*). Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology 2022; 156(1): 187-195.
- Akman TÇ., Şimşek S., Akşit Z., Aydın A., Yılmaz MA. Exploring the potential of Psephellus huber-Marathi (Wagenitz) Wagenitz: A comprehensive UHPLC-MS/MS Analysis of phytochemical composition and evaluation of antioxidant, antimicrobial, and antiproliferative activities. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi 2024; 27(4): 782-792.
- Akşit Z., Akşit H., Şimşek S., Kandemir A., Köksal E. LC-MS/MS profiling phytochemical content of *Echinophora chrysantha* (Apiaceae) and antiproliferative, antioxidant activity. Pharmacy & Pharmacology International Journal 2022; 10(5): 190-194.

- Albayrak EN., Şimşek S., Musatat AB., Akşit Z., Akşit H., Atahan A. Antioxidant activity and theoretical profile of novel 2, 4, 6-triarylpyridine derivatives based on syringaldehyde. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2024; 12(2): 981-999.
- Chang CC., Yang MH., Wen HM., Chern JC. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colometric methods. *Journal of Food and Drug Analysis* 2002; 10(3): 3.
- Chaieb N., González JL., López-Mesas M., Bouslama M., Valiente M. Manuel valiente polyphenols content and antioxidant capacity of thirteen faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes cultivated in Tunisia. *Food Research International* 2011; 44: 970-977.
- Chew YL., Goh JK., Lim YY. Assessment of in vitro antioxidant capacity and polyphenolic composition of selected medicinal herbs from Leguminosae family in Peninsular Malaysia. *Food Chemistry* 2009; 116: 13-18.
- Chrysargyris A., Mikallou M., Petropoulos S., Tzortzakis N. Profiling of essential oils components and polyphenols for their antioxidant activity of medicinal and aromatic plants grown in different environmental conditions. *Agronomy* 2020; 10: 727.
- Comlekcioglu N. Bazı endemik ve doğal *Isatis* L. türlerine ait kök ve gövde ekstraktlarının biyoaktivitesi ile tohum yağlarının analizi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi* 2020; 23(4): 860-869.
- Çölgeçen H., Atar H., Toker G., Akgül G. Callus production and analysis of some secondary metabolites in *Globularia trichosantha* subsp. *trichosantha*. *Turkish Journal of Botany* 2018; 42(5): 559-567.
- Elveren M., Osmalı E. Farklı özellikteki tencerelerde pişirilen sebzelerde element birikiminin araştırılması. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2021; 8(2): 732-738.
- Ergün F. Determination of antioxidant activities of *berberis vulgaris* l. fruits collected from Erzurum Olur Region. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 2021; 8(4): 1028–1034.
- Frišćić M., Petlevski R., Kosalec I., Madunić J., Matulić M., Bucar F., Maleš Ž. *Globularia alypum* L. and related species: LC-MS profiles and antidiabetic, antioxidant, anti-inflammatory, antibacterial and anticancer potential. *Pharmaceuticals* 2022; 15(5): 506.
- Gentile D., Fornai M., Pellegrini C., Colucci R., Blandizzi C. *Antionioli* L. Dietary flavonoids as a potential intervention to improve redox balance in obesity and related co-morbidities: A review. *Nutrition Research Reviews* 2018; 31: 239-247.
- Güven H., Arici A., Simsek O. Flavonoids in our foods: A short review. *Journal of Basic and Clinical Health Sciences* 2019; 3: 96-106.
- Hashim AM., Alharbi BM., Abdulmajeed AM., Elkelish A., Hozzein WN., Hassan HM. Oxidative stress responses of some endemic plants to high altitudes by intensifying antioxidants and secondary metabolites content. *Plants* 2020; 9: 869.
- Hussain M., Ahmed S., Ibrahim M., Khazir J., Ahmad SS., Thakur RK., Mir BA. Phenolic content antioxidant and allelopathic potential of *Artemisia brevifolia* Wall. Ex DC. across the elevations of Western Himalayan region of Ladakh. *South African Journal of Botany* 2023; 157: 508-519.

- Innangi M., Friščić M., Hazler Pilepić K., Danise T., Conti F., Bartolucci F., Peruzzi, L. Explaining intricate morphometric variability with environmental predictors: the case of *Globularia cordifolia* species complex. *Plants* 2020; 9(3): 314.
- Jitendra PB., Sushma B., Laxman N., Maya K., Rasmita R., Himal B., Parasmani G., Dhakaraj P., Pramod A., Rabindrakumar R., et al. Anti-inflammatory activity of *Artemisia vulgaris* leaves, originating from three different altitudes of Nepal. *Scientific World Journal* 2021; 8.
- Karadeniz Pekgöz A., Çınbılgel I. Phytochemical contents and antioxidant activities of fern, *Asplenium ceterach* L. in different altitudes. *Bangladesh Journal of Botany* 2019; 48(2): 315-320.
- Karataş İ., Karataş R., Elmastaş M. Yaygın olarak kullanılan bazı tıbbi ve aromatik bitkilerin sıcak su infüzyonlarının sekonder metabolit içeriği ve antioksidan aktivitelerinin belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi* 2019; 8(2): 49-57.
- Kattge J., Diaz S., Lavorel S., Prentice IC., Leadley P., Bönlisch G., Wirth C. TRY—a global database of plant traits. *Global Change Biology* 2011; 17(9): 2905-2935.
- Khan MN., Mobin M., Abbas ZK., ALMutairi KA. Impact of varying elevations on growth and activities of antioxidant enzymes of some medicinal plants of Saudi Arabia. *Acta Ecologica Sinica* 2016; 36: 141–148.
- Kicel A., Wolbiś M. Phenolic content and DPPH radical scavenging activity of the flowers and leaves of *Trifolium repens*. *Natural Product Communications* 2013; 8(1): 99–102.
- Korkmaz M., Alpaslan Z. Ergen Dağı Erzincan-Türkiye'nin etnobotanik özellikleri. *Bağbahçe Bilim Dergisi* 2014; 1(3): 1-31.
- Larson RA. The antioxidants of higher plants. *Phytochemistry* 1988; 27: 969-978.
- Mikulajová A., Šedivá D., Hybenová E., Mošovská S. Buckwheat cultivars- phenolic compounds profiles and antioxidant properties. *Acta Chimica Slovaca* 2016; 9: 124-129.
- Mertoğlu K., Gülbandır A., Bulduk İ. Erikte (cv. Angeleno) bazı fitokimyasal ve anti-mikrobiyal aktivite özellikleri üzerine yükseltinin etkisi. *Ziraat Fakültesi Dergisi* 2020; 15(1): 80-90.
- Nchabeleng L., Mudau FN., Mariga IK. Effects of chemical composition of wild bush tea (*Athrixia phylicoides* DC.) growing at locations differing in altitude, climate and edaphic factors. *Journal of Medicinal Plants Research* 2012; 6(9): 1662-1666.
- Nouir S., Dbeibia A., Bouhajib R., Haddad H., Khélifa A., Achour L., Zaïri A. Phytochemical analysis and evaluation of the antioxidant, antiproliferative, antibacterial, and antibiofilm effects of *Globularia alypum* L. leaves. *Molecules* 2023; 28(10): 4019.
- Othman A., Mukhtar NJ., Ismail NS., Chang SK. Phenolics, flavonoids content and antioxidant activities of 4 Malaysian herbal plants. *International Food Research Journal* 2014; 21(2): 759-766.
- Özhatay N. Türkiye'nin BTC boru hattı boyunca önemli bitki alanları. s. 125-127 Pils, G. *Flowers of Turkey*; İstanbul. BTC şirketi; 2006.
- Percival M. Antioxidants. *Clinical Nutrition Insights Nut031*, 1/96 Rev.10/98; 1998.
- Qader SW., Abdulla MA., Chua LS., Najim N., Zain MM., Hamdan S. Antioxidant, total phenolic content and cytotoxicity evaluation of selected Malaysian plants. *Molecules* 2011; 16: 3433-3443.

- Rawat S., Bhatt ID., Rawal RS. Total phenolic compounds and antioxidant potential of *Hedychium spicatum* Buch. Ham. ex D. Don in west Himalaya, India. *Journal of Food Composition and Analysis* 2011; 24: 574–579.
- Rodríguez-Pérez C., Zengin G., Segura-Carretero A., Lobine D., Mahomoodally MF. Chemical fingerprint and bioactivity evaluation of *Globularia orientalis* L. and *Globularia trichosantha* Fisch. & CA Mey. using non-targeted HPLC-ESI-QTOF-MS approach. *Phytochemical Analysis* 2019; 30(2): 237-252.
- Saffaryazdi A., Ganjeali A., Farhoosh R., Cheniany M. Variation in phenolic compounds, a-linolenic acid and linoleic acid contents and antioxidant activity of purslane (*Portulaca oleracea* L.) during phenological growth stages. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 2020; 26(7): 1519–1529.
- Sezik E., Tabata M., Yesilada E., Honda G., Goto K., Ikeshiro Y. Traditional medicine in Turkey I. Folk medicine in northeast Anatolia. *Journal of Ethnopharmacology* 1991; 35(2): 191-196.
- Sharma KR., Adhikari S. Phytochemical analysis and biological activities of *Artemisia vulgaris* grown in different altitudes of Nepal, *International Journal of Food Properties* 2023; 26(1): 414-427.
- Shen N., Wang T., Gan Q., Liu S., Wang L., Jin B. Plant flavonoids: Classification, distribution, biosynthesis, and antioxidant activity. *Food Chemistry* 2022; 383: 132531.
- Srivastava RP., Kumar S., Singh L., Madhukar M., Singh N., Saxena G., Pandey S., Singh A., Devkota HP., Verma PC., Shiva S., Malik S. and Rustagi S. Major phenolic compounds, antioxidant, antimicrobial, and cytotoxic activities of *Selinum carvifolia* (L.) collected from different altitudes in India. *Frontiers in Nutrition* 2023; 10: 1180225.
- Şimşek S., Akşit H., Aydın A., Köksal E. Ferruginoside D: A Novel phenylethanoid from *Verbascum leiocarpum*. *Chemistry & Biodiversity* 2023; 20(12): e202301200.
- Tajik S., Zarinkamar F., Soltani BM., Nazari M. Induction of phenolic and flavonoid compounds in leaves of saffron (*Crocus sativus* L.) by salicylic acid. *Scientia Horticulturae* 2019; 257: 108751.
- Truong DH., Nguyen DH., Ta NTA., Bui AV., Do TH., Nguyen HC. Evaluation of the use of different solvents for phytochemical constituents, antioxidants, and in vitro anti-inflammatory activities of *Severinia buxifolia*. *Journal of Food Quality* 2019.
- Varol T., Osma E., Şimşek S., Elveren M. Antioxidant activities of plant species growing in different habitats (serpentine, gypsum and limestone). *Frontiers in Life Sciences and Related Technologies* 2023; 4(3): 150-156.
- Williamson G., Kay CD., Crozier A. The bioavailability, transport, and bioactivity of dietary flavonoids: A review from a historical perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2018; 1054-112.
- Yakoub ARB., Abdehedi O., Jridi M., Elfalleh W., Nasri M., Ferchichi A. Flavonoids, phenols, antioxidant, and antimicrobial activities in various extracts from Tossa jute leave (*Corchorus olitorus* L.). *Industrial Crops and Products* 2018; 118: 206-213.
- Yıldız S., Yavaş H., Gürbüz O., Değirmencioglu N. Türkiye’de yetişen yaban mersin’i meyvesinin fenolik bileşiklerinin karakterizasyonu. *Gıda ve Yem Bilimi- Teknolojisi Dergisi* 2015; 15: 9-18.

Yang L., Wen KS., Ruan X., Zhao YX., Wei F., Wang Q. Response of plant secondary metabolites to environmental factors. *Molecules* 2018; 23(4): 762.

Zugic A., Dorđević S., Arsic I., Markovic G., Zivkovic J., Jovanovic S., Tadic V. Antioxidant activity and phenolic compounds in 10 selected herbs from Vrujci Spa, Serbia. *Industrial Crops and Products* 2014; 52: 519-527.

Investigation of the Effect of Addition of Different Boron Compounds on Thermal Properties of Polyacrylonitrile-co-Vinyl Acetate Fibers Produced by Wet Spinning Method

Nuriye KERTMEN¹, İsmail TİYEK^{2*}

¹ İskur Denim İşletmeleri Tic. ve San. A.Ş., Kahramanmaraş, Türkiye

² Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Engineering and Architecture, Textile Engineering Department, Kahramanmaraş, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0003-2925-9078>

²<https://orcid.org/0000-0002-1643-8977>

*Corresponding author: ismailtiyek@gmail.com

Research Article

Article History:

Received: 22.03.2024

Accepted: 17.07.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

Borax

Boric acid

Zinc borate

Polyacrylonitrile

Thermal properties

ABSTRACT

In this article, the effect of different boron compound additives on the thermal properties of wet spun polyacrylonitrile-co-vinyl acetate P(AN-VAc) fibers was investigated. Different boron compounds (boric acid (BA), borax (B), zinc borate (ZB) and their binary mixtures) were added to fiber spinning solutions in order to improve the thermal characteristics of P(AN-VAc) fibers. For all boron-added P(AN-VAc) fibers except the reference fiber sample, the proportions of P(AN-VAc) and boron compounds were kept constant at 90% and 10%, respectively. Boron-free fiber produced from 100% P(AN-VAc) was used as the reference fiber sample. While characteristic peaks of P(AN-VAc) were observed in the Fourier Transform Infra-Red (FTIR) spectra of all fibers produced with or without boron additives, peaks belonging to boron compounds were also observed in the FTIR spectra of boron-added fibers. The results obtained from the measurements of thermogravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimeter (DSC) indicated that there were significant improvements in the thermal resistance of boron-added P(AN-VAc) fibers compared to boron-free P(AN-VAc) fiber. As a result, it was determined that the most effective boron compounds on the thermal resistance of the P(AN-VAc) fibers were ZB, BA and B, respectively.

Farklı Bor Bileşikleri Katkısının Yaş Çekim Yöntemiyle Üretilen Poliakrilonitril-ko-Vinil Asetat Liflerinin Termal Özelliklerine Etkisinin Araştırılması

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş Tarihi: 22.03.2024

Kabul Tarihi: 17.07.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Boraks

Borik asit

Çinko borat

Poliakrilonitril

Termal özellikler

ÖZ

Bu makalede, farklı bor bileşikleri katkısının yaş çekim yöntemiyle üretilen poliakrilonitril-ko-vinil asetat P(AN-VAc) liflerinin termal özelliklerine etkisi araştırılmıştır. P(AN-VAc) liflerinin termal özelliklerini geliştirmek amacıyla, lif çekim çözeltilerine farklı bor bileşikleri (borik asit (BA), boraks (B), çinko borat (ZB) ve bunların ikili karışımları) ilave edilmiştir. Referans lif numunesi dışındaki tüm bor katkılı P(AN-VAc) lifleri için (P(AN-VAc)) ve bor bileşiklerinin katkı oranları sırasıyla %90 ve %10 olacak şekilde sabit tutulmuştur. %100 P(AN-VAc)'dan üretilen bor katkısız lifler referans lif numunesi olarak kullanılmıştır. Bor katkılı ve katkısız üretilen tüm liflerin Fourier Dönüşümlü İnfra-Red (FTIR) spektrumlarında P(AN-VAc)'a ait karakteristik pikler gözlemlenirken, bor bileşiği ilave edilen liflerin FTIR spektrumlarında ise ayrıca bor bileşiklerine ait pikler de gözlemlenmiştir. Termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ölçümlerinden elde edilen sonuçlar, bor katkılı P(AN-VAc) liflerinin ısı direncinde bor katkısız P(AN-VAc) liflerine kıyasla önemli derecede iyileşmeler olduğunu göstermiştir. Sonuçta, P(AN-VAc) liflerinin ısı direncine en etkili bor bileşiklerinin sırasıyla ZB, BA ve B olduğu tespit edilmiştir.

To Cite: Kertmen N., Tiyek İ. Investigation of the Effect of Addition of Different Boron Compounds on Thermal Properties of Polyacrylonitrile-co-Vinyl Acetate Fibers Produced by Wet Spinning Method. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(5): 2333-2345.

1. Introduction

Acrylic fiber, which has the reputation of artificial wool, is one of the most important synthetic fibers, resulting from the wet spinning process of PAN copolymer consisting of acrylonitrile and one or two comonomers, and is widely used in the textile industry (Ren et al., 2017; Guo et al., 2022; Liu et al., 2023). The melting point of polyacrylonitrile is higher than the temperature at which it decomposes. Therefore, PAN can only be produced from viscous concentrated polymer solutions by one of the wet spinning or dry spinning, which are fiber spinning methods. Acrylic fibers have one of the most successful histories of this century, due to their relative low production and material costs, easy processing and ease of handling characteristics (Capone, 1995; Falcai, 1995; Bozdoğan et al., 2000; Tiyek, 2006).

The combustion tendency of acrylic fibers, which have a wide range of uses in clothing and home textiles because of their strength and durability, is the most important factor limiting their use. When the fibers are heated, their physical properties and strength vary, particularly at temperatures above the glassy transition temperature (Frushour, 1995; Wentworth, 1995).

Acrylonitrile (AN) can be produced from petroleum distillation products in easy and inexpensive ways. PAN polymers (Figure 1) are synthesized by radical chain polymerization of AN monomers (Wade and Knorr, 1995; Bozdoğan et al., 2004; Bahrami et al., 2008; Tiyek and Bozdoğan, 2008b).

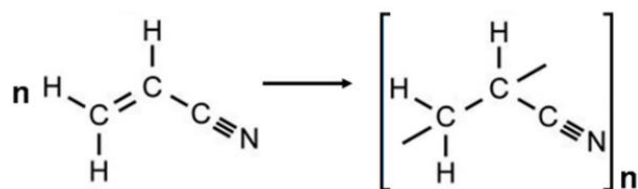


Figure 1. Synthesis of polyacrylonitrile from acrylonitrile

Acrylic fibers containing 100% PAN homopolymers cannot be used commercially due to their poor dye affinity, discoloration when exposed to light and heat over a prolonged period. For this reason, all acrylic fibers contain one or more comonomers between 5 and 15% (Frushour and Knorr, 1985; Wade and Knorr, 1995; Seventekin, 2001; Tiyek and Bozdoğan, 2008a). According to the definition of BISFA, a fiber that contains a minimum of 85% AN in its chemical structure is called acrylic fiber (BISFA, 2000). When PAN is exposed to heat in a vacuum or inert atmosphere, weight loss begins between 250 and 350°C. The main volatile products are hydrogen cyanide and ammonia. In this temperature range, discoloration appears in PAN and a strong exotherm has been identified (David, 1975; Wentworth, 1995). PAN, when heated at normal heating rates of 20 °C/min in DSC, causes cyclization reactions to be a strong exothermic reaction. When the heating rates are increased, the temperature of the

decomposition exotherm is shifted to a higher temperature, and a melting endotherm is observed in DSC thermogram before decomposition (Frushour and Knorr, 1985; Frushour, 1995).

PAN homopolymer and the attendant fiber-forming acrylic copolymers fall into the category of high-melting polymers that start to decompose when heated around their melting temperature. PAN exposes a cyclization decomposition reaction at high temperatures in which the neighboring nitrile groups in the structure of PAN react to build aromatic structures of six members. This is a highly exothermic reaction, and this reaction often tends to hide the melting endotherm in thermal analyses (Frushour and Knorr, 1985; Frushour, 1995; Wentworth, 1995).

Another category of PAN fibers is modacrylic fibers, in which the fraction of AN monomers must be less than 85% but greater than 35%. Flame retardant PAN, commonly referred to as modacrylic, is achieved using halogen-containing comonomers. Although they are quite effective as flame retardants, it has recently been thought that halogen-containing materials are ecologically hazardous and environmentally sustainable alternative compounds should be developed. Therefore, improving the flame-retardant properties of organic polymers that are increasingly used both in private and public open spaces is a very important issue, and flame retarding polymers include elements such as P, Si, B, N with naturally flame-retardant properties (Kracklauer, 1978; Lu, 2002; Wyman, 2006). Nowadays, various strategies such as copolymerization (Rahimi-Aghdam et al., 2020), blending (Ren et al., 2017; Peng et al., 2021), finishing (Peng et al., 2020), and surface modification (Liu et al., 2022) have been successfully developed to prepare flame retardant PAN (Guo et al., 2022).

Boron is currently used as a flame retardant in many polymeric systems because it suppresses combustion by sealing the surface of the burning material and blocking its contact with oxygen (Hilado, 1998; Morgan et al., 2000). Boron is considered to carry out most of its flame-retardant function in a condensed state by increasing the amount of char produced by one or both of its decomposition reactions.

In the first mechanism, boron compounds perform the chemical decomposition reactions, producing carbon instead of CO or CO₂ in the condensed phase. It is also claimed that flame retardancy is connected to the formation of a surface layer of preventive char, which acts as a barrier to the access of oxygen to inhibit the oxidation of carbon. In the second mechanism of decomposition reactions, boron compounds form a surface layer of preventive char that insulates burning surfaces by inhibiting the oxidation of carbon by restricting the accessible oxygen and also preventing the gasification of carbon. In both cases a char is formed (Lomakin and Zaikov, 1999; Lu, 2002; Marosfoi et al., 2009; BOREN, 2018). The chemical effect of boron compounds may involve the elimination of impotent hydroxyl groups by dehydration, which causes char formation. The physical effects of boron compounds may include the formation of non-volatile boric oxide, serves as a flux for the carbonaceous residue (Hilado, 1998). Boron compounds are also convenient for decreasing or removing after-grow in halogenated flame-retardant polymeric materials (Lomakin and Zaikov, 1999). Borax and boric acid are well-known as

flame retardants, and zinc borate has occurred as an option for antimony oxides in halogenated fire-retardant polymeric materials (Duquesne, 2009).

In this study, boric acid (BA), borax (B) and zinc borate (ZB) were added to P(AN-VAc) polymer solution, and then P(AN-VAc) fibers with and without boron compounds were produced by the wet spinning method. Thereby, it is aimed to improve the thermal properties of polyacrylonitrile fibers. Boron-free P(AN-VAc) fiber is used as a reference sample.

2. Materials and Method

2.1. Materials

Acrylic fibers containing 10% vinyl acetate ($\text{CH}_2\text{CHOCOCH}_3$) comonomers supplied from AKSA Akrilik Kimya San. A.Ş., Yalova, Turkey was used as polymers in the production of all P(AN-VAc) fibers. N,N-Dimethylformamide ($\text{HCON}(\text{CH}_3)_2$) (99.5%) used to solve acrylic fibers was supplied from Sigma Aldrich, Germany. Boric acid (H_3BO_3) (99.5%) and borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) (99.0%) were supplied from Tekkim Kimya San. Tic. Ltd. Şti., Turkey, and zinc borate ($\text{B}_2\text{O}_6\text{Zn}_3$) (85.27%) were supplied from Kimetsan Kimya Maden Metalurji End. Tic. Ltd. Şti., Turkey. Boric acid (BA), borax (B) and zinc borate (ZB) have particle sizes of 13.5-14 μm , 1-1.5 μm and 1.5-2 μm , respectively.

2.2. Method

In this study, the production of P(AN-VAc) fibers was carried out using the wet spinning method. DMF (20%) and water (80%) as coagulants were used to coagulate the spinning solution in the coagulation bath. All P(AN-VAc) fibers were spun as monofilaments in a pilot wet spinning plant (Figure 2) located at the University of Gaziantep Islam Science and Technology. The wet spinning process consisted of a feeding pump, a spinneret system with a single-hole of diameter of 1mm, a coagulation bath, a washing bath and a hot drawing unit. In the wet spinning process, the polymer solution is pumped into a liquid bath containing coagulant through a spinneret submerged in the coagulation bath (Capone, 1995; Bozdoğan et al., 2004; Tiyek and Bozdoğan, 2008a).



Figure 2. The pilot plant for wet spinning process

The content of spinning solutions used in the production of wet spun fibers and the ratios of the chemicals used in the spinning solution are given in Table 1.

Table 1. Contents of P(AN-VAc) fibers with and without added boron compounds

Sample Code	Fiber Contents (wt. %)			
	P(AN-VAc) (P)	Boric Acid (BA)	Borax (B)	Zinc Borate (ZB)
P-Ref	100	-	-	-
P-BA	90	10	-	-
P-B	90	-	10	-
P-ZB	90	-	-	10
P-BAB	90	5	5	-
P-BAZB	90	5	-	5
P-BZB	90	-	5	5

The production parameters of the wet spinning process are given in Table 2. These process parameters were kept constant in the production of all wet spun fibers.

Table 2. Production parameters of wet spinning process

Parameter	Value
Fiber spinning solution concentration (wt.)	20%
Coagulation bath concentration (wt.)	20%
Coagulation bath temperature	42°C
Washing bath temperature	50°C
Hot drawing unit temperature	48°C
The hole diameter of spinneret	1 mm

2.3. Measurement and Characterization

FTIR spectra of wet spun fibers were obtained from a Perkin Elmer® Spectrum 400 FT-IR/FIR Spectrometer with a diamond protected Attenuated Total Reflectance (ATR) crystal unit in the wavenumbers of 4000 to 400 cm^{-1} . Thermal characterizations of the produced fibers were carried out by

DSC and TGA analysis under a nitrogen atmosphere (Guo et al., 2018). DSC analyses were performed in the range of 30°C and 400°C at a heating rate of 20°C/min by DSC-60 Differential Scanning Calorimeter of Shimadzu. TGA analyses were performed by Exstar TG/DTA6300 Thermogravimetric Analyzer of SII Nanotechnology at a heating rate of 40°C/min. TGA analyses were carried out in the range of 30°C and 650°C for the 100% P(AN-VAc) fiber (P-Ref) and in the range of 30°C and 950°C for boron compounds added to P(AN-VAc) fibers (P-BA, P-B, P-ZB, P-BAB, P-BAZB, and P-BZB).

3. Results and Discussion

3.1. Fourier Transform Infra-Red (FTIR) Analyzes

The FTIR spectra of P(AN-VAc) fiber samples with and without boron compounds are given in Figure 3. P(AN-VAc) fibers with and without added boron compounds have similar spectra, with the main vibrational peaks around 3394 (-OH asymmetric stretch), 2932 (-CH₂ asymmetric stretch), 2860 (-CH₂ symmetric stretch), 2247 (-C=N stretch), 1736 (-C=O VAc stretch), 1659 (VAc), 1445 (-CH₂ bending), 1369 (-CH₃ deformation PVAc), 1235 (-C-O-VAc stretch), 1081 (-CH₂ stretch) and 761 cm⁻¹ (-CH bending). All the peaks are characteristic bands of P(AN-VAc) fibers (Bozdoğan et al., 2000; Tiyeek, 2006). In the boron compounds added samples, the band around 810 cm⁻¹ was attributed to B-O-H bending, and the bands around 675 and 554 cm⁻¹ were also attributed to the O-B-O bending process (Köytepe et al., 2009; Uslu et al., 2011).

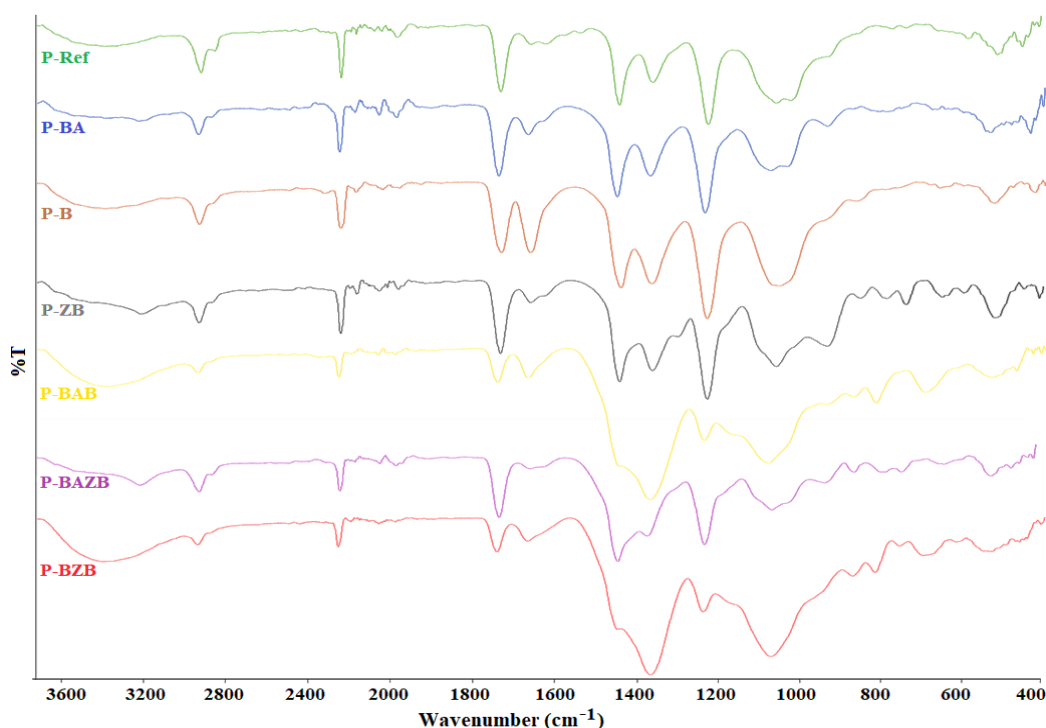


Figure 3. FTIR spectra of wet spun P(AN-VAc) fiber samples

3.2. Differential Scanning Calorimeter (DSC) Analyzes

DSC thermograms of all produced P(AN-VAc) fibers are given in Figure 4.

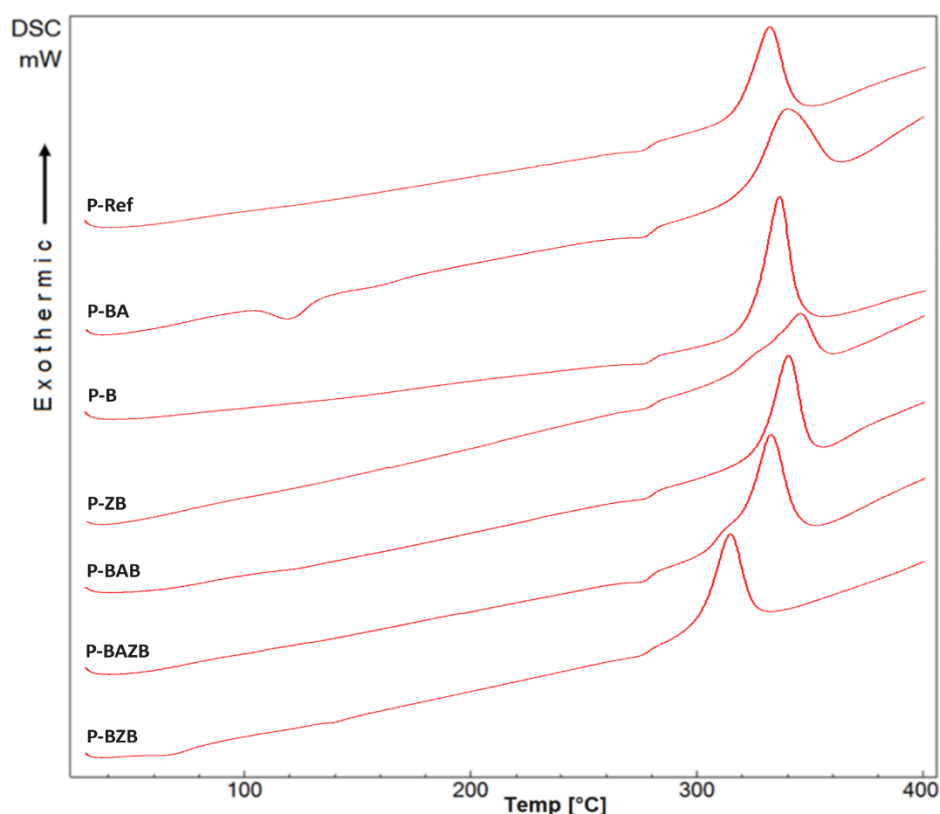


Figure 4. DSC thermograms of wet spun P(AN-VAc) fiber samples

The peaks of endothermic and exothermic are attributed to the melting and thermal degradation of the fibers, respectively. The results obtained from DSC thermograms of wet spun P(AN-VAc) fiber samples are given in Table 3.

Table 3. DSC results of wet spun P(AN-VAc) fiber samples

Sample	Endothermic Peak Temperature (°C)	Exothermic Peak Temperature (°C)	Exothermic Enthalpy (ΔH) (J/g)
PAN	288.53	333.66	-274.79
PAN-BA	287.58	337.87	-340.08
PAN-B	289.28	341.28	-258.34
PAN-ZB	285.48	346.63	-146.75
P-BAB	286.74	341.31	-215.09
P-BAZB	290.73	334.02	-245.01
P-BZB	285.08	315.69	-175.93

DSC thermograms of all samples showed a small endothermic peak located between the temperatures of 285 – 291 °C. These peaks indicate a small amount of melting in the P(AN-VAc) fibers. DSC thermograms of polyacrylonitrile fibers produced from polyacrylonitrile homopolymers composed of 100% acrylonitrile (AN) monomers at the heating rate of 20 °C min⁻¹ showed no melting endotherm (Frushour and Knorr, 1985; Frushour, 1995). Therefore, the small amount of melting endotherm in the produced P(AN-VAc) fibers is due to the vinyl acetate (VAc) comonomers present in their structures (Tiyek, 2006).

The DSC thermograms of all samples also showed a strong exothermic peak located between 315 – 347 °C. The exothermic peak temperatures indicate the temperatures at which degradation occurs in the structure of the P(AN-VAc) fibers, and the enthalpy values of the exothermic peaks represent the amount of energy released as a result of the degradation of the P(AN-VAc) fibers. When the P(AN-VAc) fibers are heated, the structure of the polyacrylonitrile is exposed to the degradation reaction of the neighboring nitrile groups in the polymer chain before melting. The degradation in the structure of polyacrylonitrile is expressed by the exothermic peak value (Tiyek, 2006).

It was observed that the exothermic peak temperatures of P(AN-VAc) fibers increased with the addition of boron compounds. The boron compounds, which are most effective at the peak temperatures of the P(AN-VAc) fibers, are zinc borate. It is also understood from these results that zinc in the boron structure has an important role in improving thermal properties.

3.3. Thermogravimetric analyzes (TGA)

In this research, TGA was extensively used for the thermal characterization of all produced fibers. The thermograms of TG (thermogravimetric) (a) and dTG (differential thermogravimetric) (b) obtained from TGA analyses of wet spun P(AN-VAc) fiber samples with and without boron compounds are given in Figure 5.

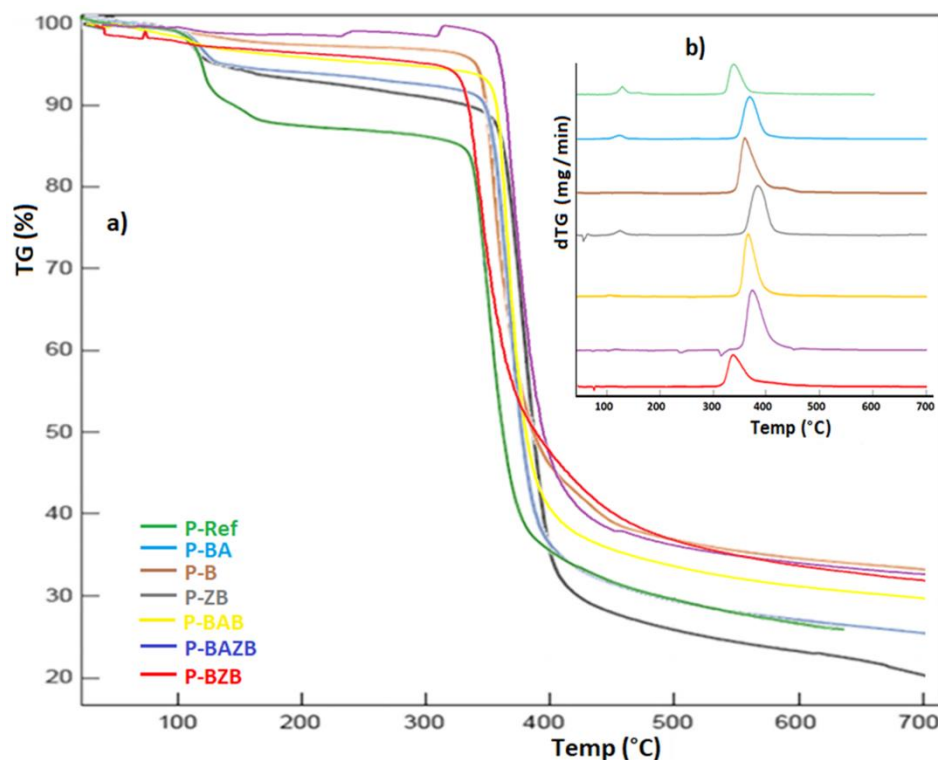


Figure 5. TG (a) and dTG (b) thermograms of wet spun P(AN-VAc) fiber samples

In general, all samples showed typical and single-step degradation thermograms. The initial weight loss observed in the TGA thermograms is due to the removal of water and other impurities in the fiber

structure. Experiences have demonstrated that a relatively steeper and narrower temperature range concerning weight loss demonstrates a faster thermal degradation reaction and results in considerable weight loss which, in turn, results in a lower residual weight fraction (Karacan and Erdoğan, 2012). The TGA results obtained from the thermogravimetric analyses are given in Table 4. Values of the starting temperature (T_i) of initial weight loss (starting dehydration), the starting temperature (T_{ds}) of thermal degradation and the half-life temperature (T_h), the temperature value at which the sample loses 50% of its weight, were obtained from TG thermograms (Figure 5-a), and values of the maximum degradation rate (R_{md}) and the temperature (T_{Rmd}) at which maximum degradation rate occurs were obtained from dTG thermograms (Figure 5-b).

Table 4. TGA results obtained from TG and dTG thermograms

Sample	T_i (°C)	T_{ds} (°C)	T_h (°C)	R_{md} (mg/min)	T_{Rmd} (°C)
P-Ref	40	320	360	1.09	348
P-BA	75	340	378	1.42	372
P-B	50	330	387	1.45	359
P-ZB	75	342	388	1.,36	383
P-BAB	75	334	381	2.53	369
P-BAZB	125	342	394	2.30	374
P-BZB	40	310	388	1.29	347

It has been observed that the boron compounds added fibers have higher thermal degradation starting temperatures (T_{ds}) (except for the P-BZB sample), relatively higher half-life temperatures (T_h) and higher temperatures (T_{Rmd}) at which maximum degradation rate occurs (except for the P-BZB sample) than the reference fiber (P-Ref). That is, the addition of boron to P(AN-VAc) fibers caused the fibers to begin degradation at higher temperatures and to require higher temperatures in order to lose 50% of their weight and achieve maximum degradation rates. The best thermal results were obtained for 10% zinc borate added (P-ZB), 5% boric acid + 5% zinc borate added (P-BAZB) and 10% boric acid added (P-BA) fibers at degradation starting temperature (T_{ds}), for 5% boric acid + 5% zinc borate added (P-BAZB), 10% zinc borate added (P-ZB), and 5% borax + 5% zinc borate added (P-BZB) fibers at half-life temperature (T_h), and for 10% zinc borate added (P-ZB), 5% boric acid + 5% zinc borate added (P-BAZB), and 10% boric acid (P-BA) added fibers at the temperature (T_{Rmd}) at which maximum degradation rate occurs, respectively. These results indicate that the thermal resistance of the boron compound added fibers is better than that of boron-free fiber. That is, the boron additive improves the thermal properties of P(AN-VAc) fibers.

4. Conclusions

The characteristic peaks obtained from the FTIR analysis proved the presence of boron in the fiber. According to the data obtained from DSC and TGA thermal analysis thermograms, the thermal properties of boron compound added fiber samples were higher than the sample of 100% P(AN-VAc) without boron additive. These results indicated that adding boron compounds improved the thermal

properties of P(AN-VAc) fibers and were compatible with the literature (Chai et al., 2016). The best thermal properties were obtained for 10% zinc borate added (P-ZB), 5% boric acid + 5% zinc borate added (P-BAZB) and 10% boric acid (P-BA) added P(AN-VAc) fibers, respectively. When boron compounds-added P(AN-VAc) fibers are compared, it was observed that the additive of zinc borate has a more positive effect than boric acid and borax on the thermal properties of the fibers. This means that zinc also contributes to the improvement of thermal properties.

Acrylic fibers are widely used in the textile industry due to light resistance, weather fastness, radiation resistance, and profound warmth retention property. However, PAN fibers exhibit poor thermal stability and high flammability, which extremely limit their potential applications in certain fields where high levels of fire safety are required. Therefore, the flame retardant performance of PAN fibers or fabrics needs to be improved. PAN fibers produced in this study and whose thermal properties were improved by the addition of boron can be more widely used especially in the production of materials that require better thermal properties and fire resistance, in addition to the clothing and home textiles in which they are widely used. In the future, studies can be carried out on the addition of different boron compounds in different ratios or the use of boron with different flame retardant chemicals that can create a synergistic effect.

Acknowledgements

The authors would like to extend their polite thanks to the University of Kahramanmaraş Sütçü İmam, Unit of Scientific Research Projects (BAP) for its funding support with a grant number of 2013/6-16YLS.

Declaration of Conflicting Interests

Authors declare that there is no conflict of interest with any person, institute, company, etc.

References

- Bahrami SH., Bajaj P., Sen K. Effect of coagulation conditions on properties of poly(acrylonitrile / carboxylic acid) fibers. *Journal of Applied Polymer Science* 2003; 89(7): 1825-1837.
- BISFA. Terminology of man-made fibers. Brussels, 2000.
- BOREN. <http://www.boren.gov.tr/en/boron/areas-of-application/flame-retardants> (URL accessed on 09.05.2018).
- Bozdoğan F., Karacan İ., Kitagawa T. Characterization of structure and properties of polyacrylonitrile-based acrylic fibres. *Journal of Material Science and Technology* 2000; 8(8): 119-139.
- Bozdoğan F., Karacan İ., Tiyek İ. Characterisation of structure and properties of a selection of polyacrylonitrile (PAN)-based acrylic fibers produced in Turkey. Ege University Textile and Apparel Research-Application Center Publication 2004; İzmir.

- Capone GJ. Wet-spinning technology. In: Masson JC. (ed.) *Acrylic fiber technology and applications*. Marcel Dekker Inc. 1995; New York.
- Chai Y., Liu J., Zhao Y., Yan N. Characterization of modified phenol formaldehyde resole resins synthesized in situ with various boron compounds. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2016; 55(37): 9840–9850.
- David C. Thermal degradation of polymers. In: Bamford CH., Tipper CFH. (ed.) *Comprehensive chemical kinetics*. Elsevier Scientific Publishing Company 1975; Amsterdam – Oxford – New York.
- Duquesne S., Jimenez M., Bourbigot S. Fire retardancy and fire protection of materials using intumescent coatings – A versatile solution? In: Hull RT., Kandola BK. (ed.) *Fire retardancy of polymers: new strategies and mechanisms*. Royal Society of Chemistry (RSC) Publishing 2009; Cambridge.
- Falkai BV. Dry-spinning technology. In: Masson JC. (ed.) *Acrylic fiber technology and applications*. Marcel Dekker Inc. 1995; New York.
- Frushour BG., Knorr RS. Acrylic fibers. In: Lewin M., Pearce EM. (ed.) *Handbook of fiber science and technology: Fiber chemistry*. Marcel Dekker Inc. 1985; New York.
- Frushour BG. Acrylic polymer characterization in the solid state and in solution. In: Masson JC. (ed.) *Acrylic fiber technology and applications*. Marcel Dekker Inc. 1995; New York.
- Guo B., Zha D., Li B., Yin P., Li P. Polyvinyl alcohol microspheres reinforced thermoplastic starch composites. *Materials* 2018; 11(4): 640.
- Guo Y., Zuo C., Tan W., Liu Y., Jiang L., Yu D., Ren Y., Liu X. Fabricating flame retardant polyacrylonitrile fibers modified by sodium lignosulfonate and copper ions. *Degradation and Stability* 2022; 206: 110176.
- Hilado CJ. *Flammability handbook for plastics*. Technomic Publishing Company Inc. 1998; Lancaster, Basel.
- Karacan İ., Erdoğan G. A study on structural characterization of thermal stabilization stage of polyacrylonitrile fibers prior to carbonization. *Fibers and Polymers* 2012; 13(3): 329-338.
- Köytepe S., Vural S., Seçkin T. Molecular design of nanometric zinc borate-containing polyimide as a route to flame retardant materials. *Materials Research Bulletin* 2009; 44(2): 369-376.
- Kracklauer J. Smoke and tenability: A perspective on the materials approach to the fire problem. In: Lewin M., Atlas SM., Pearce EM. (ed.) *Flame - retardant polymeric materials*. Plenum Press 1978; New York.
- Lomakin DM., Zaikov GE. *New concepts in polymer science: Ecological aspects of polymer flame retardancy*. CRC Press 1999; Utrecht.
- Liu Y., Yu X., Guo Y., Liu X. Preparation of flame retardant, smoke suppression and reinforced polyacrylonitrile composite fiber by using fully biomass intumescent flame retardant system and

- its sustainable recycle application. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 2023; 173: 107705.
- Liu Y., Zhang J., Ren Y., Zhang G., Liu X., Qu H. Biomaterial arginine encountering with UV grafting technology to prepare flame retardant coating for polyacrylonitrile fabric. *Progress in Organic Coatings* 2022; 163: 106599.
- Lu SY., Hamerton I. Recent developments in the chemistry of halogen-free flame retardant polymers. *Progress in Polymer Science* 2002; 27(8): 1661-1712.
- Marosfoi BB., Szabo A., Kiss K., Marosi G. Use of organosilicone composites as flame retardant additives and coatings for polypropylene. In: Hull TR., Kandola BK. (ed.) *Fire retardancy of polymers: New strategies and mechanisms*. RSC (Royal Society of Chemistry) Publishing 2009; Cambridge.
- Morgan AB., Jurs JL., Tour MT. Synthesis, flame-retardancy testing, and preliminary mechanism studies of nonhalogenated aromatic boronic acids: A new class of condensed-phase polymer flame-retardant additives for acrylonitrile–butadiene–styrene and polycarbonate. *Journal of Applied Polymer Science* 2000; 76(8): 1257-1268.
- Peng H., Wang D., Fu S. Simultaneous exfoliation and functionalization of MoS₂ nanosheets by molecular-designed poly (ionic liquid): Integrated interfacial crosslinking effect for mechanical and flame retardance enhancement of polyacrylonitrile composite fiber. *Composites Communications* 2021; 27: 100902.
- Rahimi-Aghdam T., Shariatnia Z., Hakkarainen M., Haddadi-Asl V. Nitrogen and phosphorous doped graphene quantum dots: Excellent flame retardants and smoke suppressants for polyacrylonitrile nanocomposites. *Journal of Hazardous Materials* 2020; 381: 121013.
- Ren Y., Zhang Y., Gu Y., Zeng Q. Flame retardant polyacrylonitrile fabrics prepared by organic-inorganic hybrid silica coating via sol-gel technique. *Progress in Organic Coatings* 2017; 112: 225-233.
- Seventekin N. *Kimyasal lifler*. İzmir: E.Ü. Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma ve Uygulama Merkezi Yayınları 2001; İzmir.
- Tiyek İ., Bozdoğan F. Investigation of the changes occurred in the inner structure of wet spun acrylic fibers by using x-ray diffraction method on the fiber production stages. *Textile and Apparel* 2008a; 18(1): 15-22.
- Tiyek İ., Bozdoğan F. Investigation of the influence of coagulation bath temperature on the inner structure of wet spun acrylic fibers by using x-ray diffraction method. *Textile and Apparel* 2008b; 18(2): 114-120.
- Tiyek İ. *Akrilik lif üretiminde koagülasyon banyosu parametrelerinin lif fiziksel özelliklerine etkisi üzerine bir araştırma*. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Doktora Tezi 2006.
- Uslu İ., Tunç T., Keskin S., Öztürk MK. Synthesis and characterization of boron doped alumina stabilized zirconia fibers. *Fibers and Polymers* 2011; 12(3): 303-309.

- Wade B., Knorr R. Polymerization. In: Masson JC. (ed.) Acrylic fiber technology and applications. Marcel Dekker Inc. 1995; New York.
- Wentworth G. Thermal and actinic degradation. In: Masson JC. (ed.) Acrylic fiber technology and applications. Marcel Dekker Inc. 1995; New York.
- Wyman P., Crook V., Ebdon J., Hunt B., Joseph P. Flame-retarding effects of dialkyl-p-vinylbenzyl phosphonates in copolymers with acrylonitrile. *Polymer International* 2006; 55(7): 764-771.

Farklı Geomembran Astarlarının 2B Yüze Topografyası Değişimleri: Danecik Şekli, Bağlı Yoğunluk ve Yükleme Perspektifleri

Tanay KARADEMİR^{1*}

¹İstanbul Bilgi Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34060, İstanbul

¹<https://orcid.org/0000-0002-9689-2140>

*Sorumlu yazar: tanay.karademir@bilgi.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 04.01.2024

Kabul tarihi: 21.07.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

2B yüze topografyası

Yüze aşınması

Geomembran çeşitleri

Kum özellikleri

Danecik şekli

Bağlı yoğunluk

ÖZ

Farklı geomembranların, 2 boyutlu yüze topografyası değişiklikleri, daha önce farklı bağlı yoğunluklarda (D_r) ve farklı danecik şekillerinde (yuvarlak veya köşeli) ve ayrıca çeşitli yükleme koşullarında granüler kumun aşındırıcı etkisine maruz bırakılmış değişik polimerik reçinelerden (HDPE, LLDPE, PVC) üretilen farklı geomembran astar tabakalarının 2 boyutlu yüze topografyası karakteristik özelliklerini tespit etmek ve belirlemek için profil kabarma ölçümleri gerçekleştirilerek deneysel olarak incelenmiştir. Topografyalardaki tepe ve vadilerden oluşan malzeme dislokasyonlarının boyutu, şekli ve aralıkları gibi pürüzlülük özellikleri de dahil olmak üzere tespit edilen profillerde açıkça görülen yüze topoğrafik özellikleri farklı ve geomembran tipine özgüdür. Bu nedenle, HDPE, LLDPE, PVC sırasına göre geomembran astar tabakası ne kadar yumuşak ve esnek olursa, yüze topoğrafyasının daha şiddetli tepeler ve vadiler göstermesi nedeniyle aşınma o kadar fazla gelişir. Ayrıca, kum danelerinin şekilsel özellikleri, köşeli-sivri parçacıkların geomembran astarının yüzeyine nüfuz edebilmesi ve dolayısıyla yüze boyunca bir yörünge çizebilmesi nedeniyle daha şiddetli aşındırıcı etkinin harekete geçmesine yol açmıştır. Geomembranların ölçülen yüze topoğrafyaları için belirlenen ortalama pürüzlülüğün (R_a) hesaplanan değerleri aracılığıyla farklı geomembran astarların yüze topografyası değişiminin niceliği, R_a 'nın (yani, yüzeysel topoğrafik çeşitliliğin) yük, bağlı yoğunluk, dane şeklinin parçacık sivriliği, ve geomembran astar tabakasının yumuşaklığının artışıyla arttığını ortaya çıkardı. Yuvarlak daneli kum sistemi için, bağlı yoğunluk %45'ten %85'e ve normal stres 75 kPa'dan 150 kPa'a çıktığında, R_a değeri HDPE, LLDPE, PVC geomembran astarları için sırasıyla %129, %133, %137 arttı. Köşeli daneli kum sistemi için, bağlı yoğunluk %45'ten %85'e ve normal stres 75 kPa'dan 150 kPa'a çıktığında, R_a değeri HDPE, LLDPE, PVC geomembran astarları için sırasıyla %234, %242, %262 arttı.

2D Surface Topography Alterations of Different Geomembrane Liners: Grain Shape, Relative Density and Loading Perspectives

Research Article

Article History:

Received: 04.01.2024

Accepted: 21.07.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

2D surface topography

Surface wear

Geomembrane types

Sand properties

ABSTRACT

The 2D surface topography alterations of different geomembranes were experimentally be studied by performing profile relief measurements for detecting and determining 2D surface topographical characteristics of different geomembrane liner sheets produced from distinctive polymeric resins (HDPE, LLDPE, PVC) previously subjected to abrasive action of granular sand grains at different relative densities (D_r) and dissimilar particle shape (rounded or angular), and additionally at various loading conditions. The surface topographical characteristics as evident on the detected profiles including asperity features such as size, shape, and spacing of material dislocations

comprised of peaks and valleys in the topographies were different and unique to geomembrane type. As such, the softer and the more flexible the geomembrane liner sheet in an order of HDPE, LLDPE, PVC becomes, the greater the abrasion has developed in that the surface topography demonstrated more severe peaks and valleys. Further, the angular features of sand grains led to the mobilization of more violent abrasive action in that angular particles were able to penetrate into the surface of geomembrane liner, and thus, gouge on a trajectory along the surface. The quantification of surface topography alterations of different geomembranes by means of the computed values of average roughness (R_a) determined for the measured surface topographies of the liners unveiled that the R_a (i.e. surficial topographical changes) increases with an increase in load, relative density, particle angularity of grain shape, and softness of geomembrane liner sheet. For the rounded sand system, the value of R_a increased 129%, 133%, 137% for HDPE, LLDPE, PVC geomembrane liners, respectively when the relative density arised from 45% to 85% as well as the normal stress raised up from 75 kPa up to 150 kPa. For the angular sand system, the value of R_a increased 234%, 242%, 262% for HDPE, LLDPE, PVC geomembrane liners, respectively when the relative density arised from 45% to 85% as well as the normal stress raised up from 75 kPa up to 150 kPa.

To Cite: Karademir T. 2D Surface Topography Alterations of Different Geomembrane Liners: Grain Shape, Relative Density and Loading Perspectives. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(5): 2346-2363.

1. Introduction

Surface topography is of importance in playing a major role for the mobilized mechanical behavior, and hence, the strength-stability performance of composite layered systems containing synthetic geomembrane liner and natural granular sand. The interaction of one material with the other one is investigated within the scope of contact mechanics. The interaction of synthetic geotechnical materials (e.g. geomembranes) with a natural construction material (e.g. sand) result in alteration of surface topography of synthetic geomembranes produced from different base polymers (e.g. high-density polyethylene (HDPE), linear-low-density polyethylene (LLDPE), polyvinylchloride (PVC)). This is due to inherent softness nature of polymeric geomembrane liner sheets as well as the abrasive texture (i.e. micro-structure) of natural granular material sand. For this reason, the index and physical properties of sand (e.g. relative density, grain shape) and their role as well as the capability in altering surface topography of counterface geomembrane when employed as a composite layer system, adjacent to each other, in infrastructural applications for geotechnical projects including embankments, landfills, dams should be examined in detail and determined in relative terms. In this way, the mechanical behavior of those geo-materials can be engineered by capturing the degree for the importance of manufacturing material characteristics of synthetic geomembrane liners as per core polymer type (HDPE, LLDPE, PVC) and/or the degree for the influence of physical and index properties of natural granular material sand as per relative density and grain shape. Since this interaction and contact behavior can impact the performance and constructability of the aforementioned infrastructural applications in which the geosynthetic liners, comprised of geomembrane layers, interact and contact with granular sands. To this end, a comprehensive experimental study was conducted to investigate and evaluate the resultant surficial wear quantitatively induced on the geomembrane liner surfaces due to abrasive action of granular sand particles based on diversifying boundary conditions (i.e. loading conditions),

geomembrane core material properties (i.e. HDPE, LLDPE, PVC), counterface particulate material physical properties (i.e. sand grain shape (rounded or angular), relative density). This current study is unique in terms of the type of base/core material of the selected geomembranes such as LLDPE, PVC to detect surface topographical alterations as well as in terms of the relatively large range of relative densities from 45% up to 85% examined throughout the laboratory testing program. Additionally, the tested sand specimens were intentionally selected with different morphologies including distinct morphological properties such as roundness, sphericity, angularity, and regularity. In earlier research studies, the HDPE geomembrane type was generally preferred to be a liner material as well as similar granular materials possessing identical morphological characteristics were in general selected to be utilized in the laboratory experimental programs. On the other hand, the geomembrane liners produced from the base polymeric materials such as LLDPE and PVC have recently utilized widely in both geotechnical and geoenvironmental projects including infrastructural facilities (e.g. embankments, dams) and environmental applications (e.g. landfills). Further, the influence of grain shape of counterface particulate materials being roundness or angularity of soil particles is necessarily required to be analyzed in detail by varying or preserving the other physical characteristics of the selected sand test specimens such as mean grain size, specific gravity in order to discern the effect of sand morphological properties.

2. Surface Topography Characterization and The Relevant Previous Research

Surface topography is of importance in playing a major role for the mobilized mechanical behavior, and hence, the strength-stability performance of composite layered systems containing synthetic geomembrane liner and natural granular sand that are placed as a counterface to each other. Among various surface topography determination parameters developed to characterize topographical alterations, the most commonly utilized parameter to quantify and quantize those alterations in surficial topography is the average roughness parameter (R_a) (Ward, 1982) that could be computed as follows:

$$R_a = \frac{\left(\int_0^L |z(x)| dx\right)}{L} \quad (1)$$

Where:

L: Assessment Length

$z(x)$: Height of the Profile from the mean line

Moreover, a different concept, called normalized roughness (R_n) to characterize surface topographical characteristics of continuum materials such as geomembranes, was proposed by Uesugi and Kishida (1986). The R_n parameter accounts also for the relative aspect of the roughness such that the ratio of maximum roughness (R_{max}) with respect to the mean grain size (D_{50}) of counterface granular material (sand). Furthermore, DeJong and Frost (2002) conducted a comprehensive research study and unveiled the relevance of the relative aspect of surface roughness. As such, when a spherical particle is travelling

on a simplified rough surface consisting of simple surficial topographical features of peaks and valleys, the influence of peaks and valleys on the trajectory of the spherical particle is not the same (dissimilar) with the path over which the centroid trace of that individual particle. Further, the vertical deviation from the centroid trace is distinct for different sizes of particles.

The alterations in surface topography of such a soft, flexible synthetic material geomembrane is caused by the penetration of relatively harder counterface granular sand particles into the softer surface of geomembrane liners, and thus, ploughing on a trajectory along the surface. This incident and/or this observed mechanism results in abrasion in geomembrane, and hence, decreases the durability leading to deterioration of endurance properties due to induced damage by sand particles. The severity and the significance of the abrasion produced on the surface of the liner is attributed to the material properties of core polymer of the geomembrane (i.e. HDPE, LLDPE, PVC) as well as the particulate characteristics and index properties of the granular sand (i.e. relative density, particle shape). Related research by Frost et al. (2002) numerically investigated that the hardness/softness properties of the geomembrane liners can be linked and coupled to the alterations in surficial topographical features generated by counterface sand grains. In order to demonstrate this, they performed discrete element modeling (DEM) for the distinct particulate versus continuum material interfaces such that the DEM provided insight on the behavior at global level (i.e. macro level), and additionally, extend the understanding on the mechanism regarding local particle response at micro level in penetrating and ploughing along the surface of counterface geomembrane leading to the changes in topography.

Furthermore, another research study on the quantitative measurement of induced surface changes in the geomembranes due to shearing effect by Vangla and Gali (2016) revealed that the shearing mechanism at the interface governed by critical normal stress level dependent on both granular material and geomembrane characteristics plays a vital role on the resultant mutual interaction developed between soil and synthetic polymeric materials. Moreover, Araujo et al. (2022) published the result of a specific study concerned with the geomembrane inherent surface roughness at production stage instead of induced abrasive wear at post-production stage or in-application (in-employment) phase. Their findings showed that the mean height of profile elements on the geomembrane liner surface and the liner core (base) material volume presented stronger correlations with the resultant generated mutual interaction along with counterface materials. Further, the change pattern of geomembrane surface roughness for textured geomembranes was examined by Xu et al. (2023). It was shown that the application of texture on the geomembrane surface improves frictional performance. On the other hand, the variation in the roughness of textured surface affects the surface deformation characteristics of geomembrane liner, and thus, induced wear on the liner surface controlled by the asperity height of the textural elements on the geomembrane surface.

A different study on the geomembrane mutual interaction along with a dissimilar counterface material being geosynthetic clay liners (GCL) was carried out by Feng et al. (2022) to observe the topographical alterations on the surface of geomembrane liners when being in direct contact with GCLs employing

multi-functional laboratory apparatus. It was investigated that the surface roughness of geomembrane liners and the hydration condition of geosynthetic clay liners prominently influence the mechanical interaction between the geomembrane and the GCL as well as the resulting surficial topographical changes at the contact surface. Furthermore, Adeleke et al. (2021) published the influence of the resulting asperities located on the geomembrane surface based on roughness and topographical alterations on the surficial features of the liners. It was detected that as the surface texturing was increased, a more pronounced wear/abrasion occurred that resulted in observing deeper mechanical interaction.

Xia et al. (2024) reported the experimental and numerical results of a geoenvironmental study concerned with the geomembrane liners subjected to mutual interaction with municipal solid waste (MSW) samples of different ages in landfill applications. It was shown that the sliding surface of geomembrane-lined landfills is discontinuous at the lining interface, which can delay the penetration of slip surfaces and block the formation of slip, and thus, prevent substantial abrasive wear induced on the geomembrane liners. Although they revealed the mutual interaction between geomembranes and MSW of different ages, and the resulting wear on the liner surface, they didn't either measure the occurrence of surficial wear or quantify the degree and severity of this induced abrasive action and the resultant surface topographical changes developed on the liner surface of geomembranes produced from distinct base/core polymer resins such as HDPE, LLDPE, and PVC. In this regard, the current study presented in this paper could supplement the previous study of Xia et al. (2024) by extending understanding in terms of the detection and the quantification of surface topographical alterations on the geomembrane liners manufactured from various base polymeric materials including HDPE, LLDPE, PVC due to induced abrasive action, and hence, the generated surficial wear.

Using micro computed tomography and shear band analysis; soil and geosynthetic material interaction was studied to extend multi-scale understanding by Khan and Latha (2023). They were interested in shape parameters of sand particles including convexity, aspect ratio, and roughness that were quantified at different scales. The current study presented in this paper that deals with sand particle roundness or angularity and their quantification will complement the earlier study of Khan and Latha (2023) in this origin. Besides, one-dimensional surface profile measurements performed in this current study will aid the readers in comprehending the developed form and the generated pattern of surface topographical changes along with further engineering quantification by means of quantitative parameters such average roughness (R_a).

As evidently seen from the relevant studies published in the literature and discussed earlier, an experimental study is necessarily required to fill the gap in terms of the assessment of 2D surface topography alterations of different geomembrane liners produced from distinct base polymeric materials including HDPE, LLDPE, PVC due to abrasive action (i.e. wear) induced by granular counterface materials (i.e. sandy soils) at different grain shapes (i.e. rounded or angular), at various relative densities (D_r : 45%, 65%, 85%), and at a range of loading conditions from 75 kPa up to 150 kPa. Further, the

detected surficial topographical changes on the geomembrane liners are required to be quantitatively evaluated by means of roughness parameters such as average roughness (R_a) in order to comprehend the degree, magnitude and significance of surficial wear induced on the geomembrane liners due to abrasive action of granular particulate materials (i.e. sand) that are in direct contact and interaction with geomembranes employed in geotechnical and geoenvironmental projects in the infrastructural field applications including embankments, landfills, artificial ponds. The engineering quantification and the comparative analysis conducted in the current study and presented in this paper as well as the test results and the experimental findings of the laboratory program not only fill the gap in the literature regarding the detection and the quantitative evaluation of the resultant polymeric material condition due to abrasive wear but also will provide a comprehensive understanding for the engineers in design and the contractor practitioners in construction sites in terms of material selection, the resulting mutual compatibility of the preferred materials, and the consequential changes exhibited on the physical characteristics, mechanical properties of the selected materials in construction as well as operation stages. In this way, the design engineers and the contractor practitioners would be able to estimate stable durability and secure lifespan of the utilized polymeric geomembranes and particulate granular soils as well as their safe and secure mutual interaction in the multi-layered composite systems typically applied in infrastructural facilities including embankments, landfills and artificial ponds.

3. Geomembrane Liner Types and Granular Materials

3.1. Types of Geomembrane Liners

The geomembrane liner sheets utilized throughout the testing program consist of three different types produced from distinct base polymer resins including high-density-polyethylene (HDPE), linear-low-density-polyethylene (LLDPE) and polyvinylchloride (PVC) to investigate the influence of base polymer type, and hence, the softness/hardness characteristics of the lining sheets on the alterations of surficial topographical features. All the selected geomembrane liners possess thickness of 1 mm (40 Mil). The specific gravity (G_s) of HDPE, LLDPE, and PVC geomembranes are 0.94, 0.93, and 1.20, respectively. Those three types of liner sheets are widely preferred, commonly utilized geomembranes in geotechnical infrastructural applications and geoenvironmental projects owing to the enhanced strength properties particularly for the geomembranes produced from HDPE base polymer and owing to the superior flexibility characteristics especially for the liners manufactured from LLDPE as well as PVC base polymeric materials.

3.2. Granular Materials

In the experimental program, two different types of sand were used to examine the influence of particle shape such that the one comprised of rounded grains whereas the other composed of angular grains. Additionally, the sand specimens were prepared at three different relative densities (D_r) including D_r : 45%, 65%, and 85% to evaluate the effect of an important physical index property of granular materials

on the resulting abrasion induced into counterfaced geomembrane liner sheets. In order to evaluate the principal role of only the shape (i.e. angularity versus roundness) of sand grains (i.e. particles), the testing materials were purposefully selected in such a way that they possess similar index properties including average particle size, identical soil particle gradation with an only exception of grain shape. The index properties are presented in Table 1 below. The mean particle sizes of the two sand specimens tested in the comprehensive experimental program were selected to be similarly identical in an intention to examine the predominant influence of sand grain shape (i.e. rounded or angular) on the resultant abrasion observed on the polymeric liner surfaces. The sand specimens prepared at different relative densities ranging from 45% up to 85% are expected to be exhibiting different mutual interaction with the counterface continuum materials being geomembrane liners possessing distinctive core polymeric resins and having different softness or hardness characteristics as well as having distinct flexibility or stiffness.

Table 1. Index Properties of Granular Materials Used In Experimental Program

Granular Material	D₅₀ (mm)	C_u	C_c	G_s
<i>Rounded Sand</i>	0.72	1.39	0.88	2.67
<i>Angular Sand</i>	0.75	1.34	0.71	2.67

4. 2D Surface Topography and Profile Relieves

The relevance in between surface topography of continuum materials as well as alterations in surficial topographical characteristics and frictional mechanism, mechanical behavior as well as strength properties has been emphasized by various researchers including Potyondy (1961), Brumund and Leonards (1973), Uesugi and Kishida (1986), Paikowski et al. (1995), Frost et al. (2002), Vangla and Gali (2016), Araujo et al. (2022), Khan and Latha (2023), Xu et al. (2023), and Xia et al. (2024). To this end, the two dimensional (2D) surface topography alterations of a synthetic geo-material (geomembrane) and its different types manufactured from distinct base polymers that are commonly utilized in typical geotechnical applications including the infrastructural projects such as embankments, landfills, dams was intended to experimentally be studied by the author. This was achieved by performing profile relief measurements for detecting and determining 2D surface topographical characteristics of different geomembrane liner sheets produced from distinctive polymeric resins (HDPE, LLDPE, PVC) previously subjected to abrasive action of granular sand grains at different relative density and dissimilar particle shape (rounded or angular), and additionally at various loading conditions. In this way, the degree of influence of geomembrane polymeric material characteristics and sand physical index properties as well as the state of the composite system – comprised of sand and geomembrane – due to diverse loading situations on the resulting alterations in surface topography as per surficial profile variations in terms of generated peaks and valleys as a result of material dislocations will be investigated by means of a testing program conducted in the laboratory using stylus profilometer (Figure 1).



Figure 1. Stylus Profilometer to Quantify Surface Topography

In light of experimental surficial topographical detections of geomembrane specimens through profilometer measurements, the characteristics of 2D surface topography alterations of the specimens were quantified and quantized using a universally recognized surface topography parameter being average roughness (R_a) (Equation 1). As such, this quantification based on an important roughness parameter will evidently aid the researchers to obtain a comparative analysis for the resultant wear generated on the surface of polymeric geomembrane liners due to sand abrasion.

4.1. 2D Surface Topographies

The performed comprehensive testing program in the laboratory by means of stylus profilometer consists of 36 surface topography quantification measurements to detect one-dimensional surface topographies of geomembrane liners manufactured from three different core polymers including high-density polyethylene (HDPE), linear-low-density polyethylene (LLDPE) and polyvinylchloride (PVC) and subjected to various loading conditions ranging from 75 kPa up to 150 kPa and subsequent shearing against different granular sands having dissimilar grain shape (rounded or angular) and distinct relative densities ranging from 45% up to 85% (Table 2). In this way, it was intended to investigate the influence of base polymer of geomembrane liner and relative density, and grain shape of sand particles as well as the effect of loading conditions on the resultant abrasive wear induced on geomembrane surface. The profilometer device utilized in the experimental program to measure and evaluate geomembrane surficial topographical variations is a computer-automated and controlled testing system as well as connected to a data acquisition system in order to log measurement data during the tests.

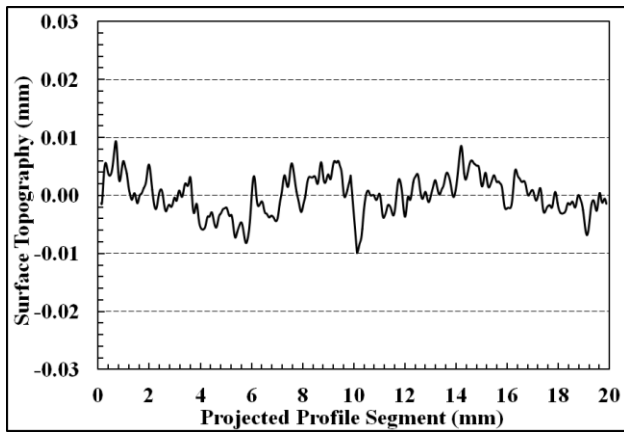
The quantification of 36 surface topographical alterations were evidently sufficient in order to comprehend the behavioral changes, the generated patterns, and the developed forms of surficial wears mobilized due to abrasive action of sand particles being in direct contact with the surface of geomembrane liners manufactured from various core material polymer resins being relatively hard, and stiff (e.g. HDPE) or contrarily being relatively soft, and flexible (e.g. PVC).

Table 2. Laboratory Testing Program

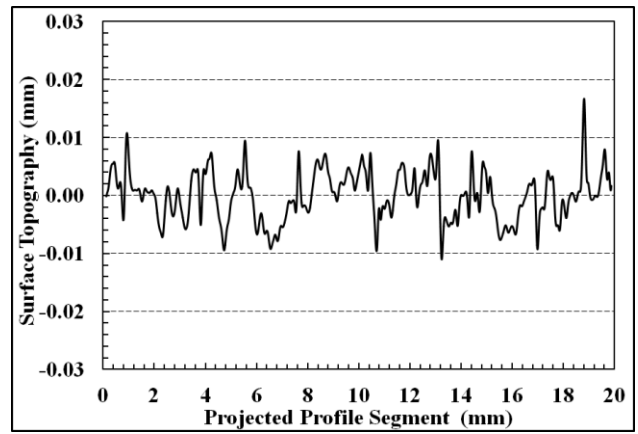
Geomembrane Type	$\sigma = 75 \text{ kPa}$						$\sigma = 150 \text{ kPa}$					
	<u>Rounded Sand</u>			<u>Angular Sand</u>			<u>Rounded Sand</u>			<u>Angular Sand</u>		
HDPE	D _r : 45	D _r : 65	D _r : 85	D _r : 45	D _r : 65	D _r : 85	D _r : 45	D _r : 65	D _r : 85	D _r : 45	D _r : 65	D _r : 85
LLDPE	D _r : 45	D _r : 65	D _r : 85	D _r : 45	D _r : 65	D _r : 85	D _r : 45	D _r : 65	D _r : 85	D _r : 45	D _r : 65	D _r : 85
PVC	D _r : 45	D _r : 65	D _r : 85	D _r : 45	D _r : 65	D _r : 85	D _r : 45	D _r : 65	D _r : 85	D _r : 45	D _r : 65	D _r : 85

In addition to qualitative distinctions, quantitative differences as well as visual variations were investigated from surficial topographical profiles of different geomembranes. The surface topographies of HDPE, LLDPE and PVC geomembrane liner sheets, quantified for the loading condition of 75 kPa normal stress level and relative density of 45%, and subjected to abrasive action of rounded or angular sands, are shown in Figure 2 for clear presentation of experimental data and explicit clarification of surficial topographical profiles.

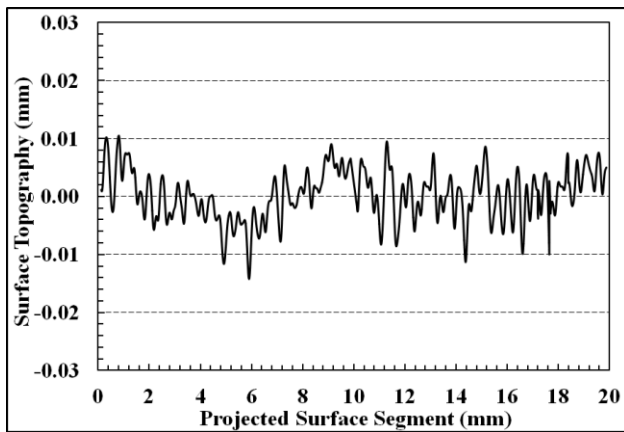
As per Figure 2, the surface topographies detected over a projected profile segment of 20 mm on three different types of geomembranes produced from distinct polymeric resins including HDPE, LLDPE, PVC subjected to abrasive action of rounded or angular sand particles are evidently demonstrate the influence of the grain shape of sandy soil. The higher the angularity of sand particles the larger and severer abrasion and wear induced on the geomembrane liners regardless of base polymer type of the geomembrane that could be either HDPE, LLDPE, or PVC. Furthermore, the effect of geomembrane base polymer is evidently observed from the resultant surface topographies developed as a result of particulate material (i.e. sand) abrasive action such that as the geomembrane becomes relatively harder and less flexible in an order from PVC to LLDPE, and then to HDPE, the abrasive wear induced on the geomembrane liner decreases. As such, the lower the abrasion generated in which the surface topography demonstrated smaller ups and downs in terms of minor peaks and valleys. In this regard, the most intense (i.e. violent) surficial abrasion was exhibited in the softest and the most flexible geomembrane manufactured from PVC and subjected to the abrasive action of angular sand, while the most mild (i.e. gentle) abrasive wear was displayed in the hardest and the most stiff (inflexible) geomembrane produced from HDPE and exposed to the abrasive action of rounded sand.



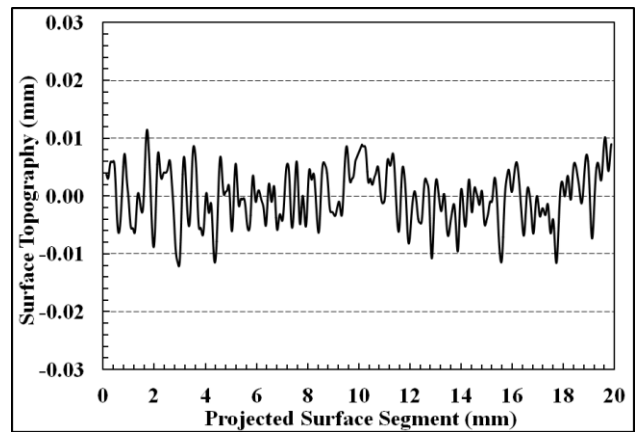
(a) HDPE Geomembrane: Rounded Sand Abrasion



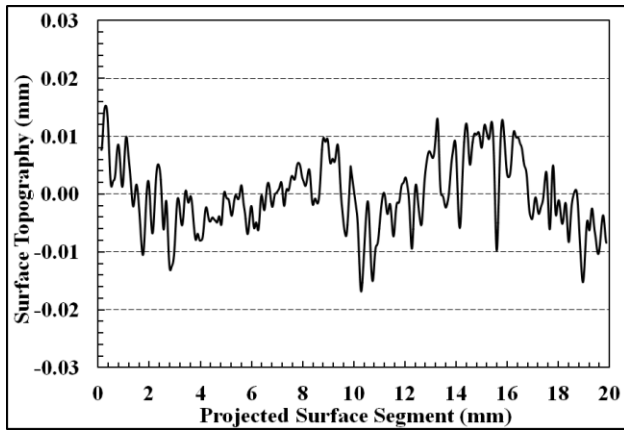
(b) HDPE Geomembrane: Angular Sand Abrasion



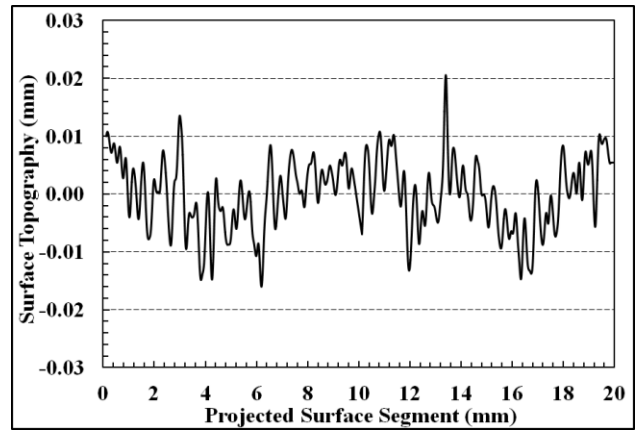
(c) LLDPE Geomembrane: Rounded Sand Abrasion



(d) LLDPE Geomembrane: Angular Sand Abrasion



(e) PVC Geomembrane: Rounded Sand Abrasion



(f) PVC Geomembrane: Angular Sand Abrasion

Figure 2. Surface Topographies of HDPE, LLDPE, PVC Geomembrane Liners (σ : 75 kPa and D_s : 45%)

Furthermore, in addition to the effect of granular soil particle shape, it was seen that the softness, hardness characteristics of the geomembrane liners based on the flexibility, stiffness properties also strongly influence and prominently control the degree, magnitude and significance of surficial wear induced due to abrasive action of granular soils (i.e. sandy soils). When the hardness of geomembranes used in the study including HDPE, LLDPE, PVC liners are compared with that of sandy soils utilized in the testing program, the geomembranes possess relatively softer nature. On the other hand, the three distinct types

of geomembranes were selected intentionally to investigate the effect of liner flexibility such that the PVC geomembranes serve relatively higher flexibility while the HDPE geomembranes show relatively larger stiff nature and the flexibility properties of LLDPE is being in between those two geomembrane types aforementioned.

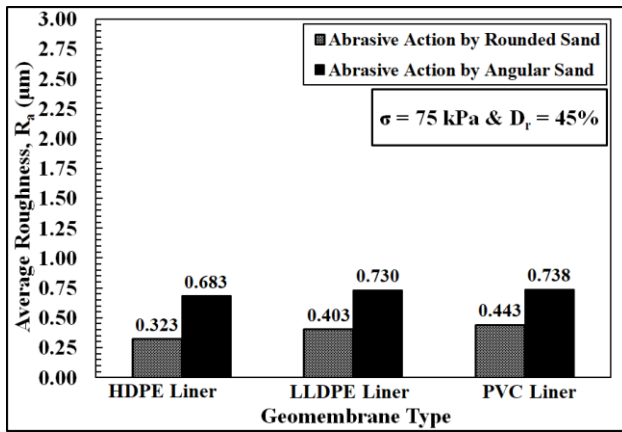
The fluctuations in the data in Figure 2 are attributed to the variations in surface topographical characteristics of the geomembrane liners. Considering surface topographies as demonstrated in Figure 2 where the traverses are evident on the profiles, asperity features such as size, shape, and spacing of material dislocations including peaks and valleys in the topographies were different and unique to geomembrane type. As such, the softer the geomembrane liner sheet (HDPE → LLDPE → PVC) becomes, the greater the abrasion has developed in that the surface topography demonstrated more severe peaks and valleys (i.e. ups and downs). Furthermore, the angular features of sand grains led to the mobilization of more violent (i.e. aggressive) abrasive action in that angular particles were able to invade and penetrate into the surface geomembrane liner, and thus, gouge and plough on a trajectory along the surface. This resulted in observing material dislocations at greater intensities such that the surface topography exhibited both the peaks and the valleys not only at higher amplitudes but also displaying the traverses at larger size as well as spacing. That is to say, the dimensions and spacing of peaks and valleys were small-scale in relatively stiffer (harder) geomembrane liner sheet of HDPE in which the surface topography did not possess sharp corners such that the transitions from peaks to valleys to peaks were smooth and rounded as compared to that of LLDPE as well as PVC geomembranes where sharp and rough transitions from peaks to valleys to peaks exhibited. Consequently, the surface topography of inherently harder HDPE liner sheet depicted fewer ups and downs as well as smoother and unsharpened returns from peaks and valleys. The fluctuations in the surface topography data were considerably less owing to relatively firm and intensified core material characteristics of HDPE liner in comparison to that of LLDPE and PVC geomembranes. To sum up, the dimensions and spacing of peaks and valleys for the surface topography were small-scale in relatively stiffer geomembrane liner sheet of HDPE in which the surface topography did not possess sharp corners such that the transitions from peaks to valleys to peaks were smooth and rounded as compared to that of LLDPE as well as PVC geomembranes where sharp and rough transitions from peaks to valleys to peaks exhibited.

4.2. Quantification of Surface Topography Alterations

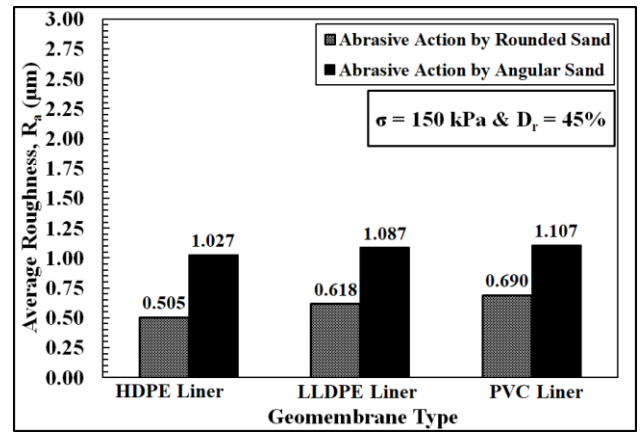
A proper engineering analysis of surface topography involves in accurate quantification of topographical alterations on the geo-material surface. Thereafter, the detected surface profiles require to be numerically quantified to be able to perform further comparative analysis among the distinct characteristic surfaces of different geo-materials. To this end, the quantification of alterations in topography on the surfaces of geomembranes were determined in a quantitative manner by means of the average roughness parameter (R_a) so as that the topographical changes were quantized to characterize and to compare the alterations in surficial topography of different geomembranes manufactured from

distinct core polymeric materials including HDPE, LLDPE and PVC. The changes in the values of R_a with respect to several essential factors involved in the testing program such as the grain shape and/or the density of granular material, loading condition and geomembrane base polymer are presented in Figure 3.

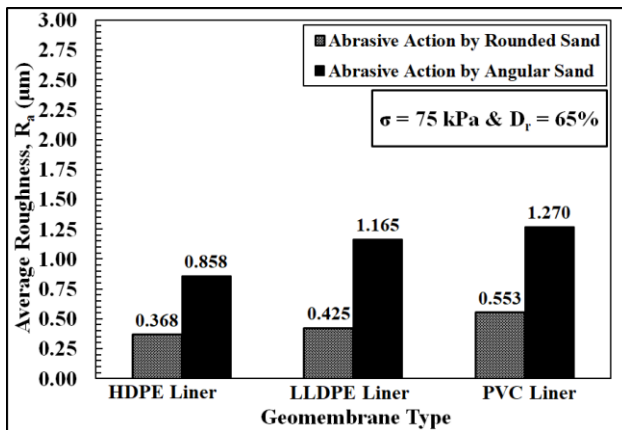
The comparative analysis in Figure 3 exhibits that the average roughness (R_a) increases with an increase in normal load from 75 kPa up to 150 kPa as well as with an increase in relative density (D_r) of granular sand. The larger the loading the higher the contact stresses will develop at the contact surface in between sand grains and continuum geomembrane leading to severe and harsh indentation of grains into the liner material that causes significant alterations in surface topographical characteristics. Likewise, as the density of granular material (D_r) becomes larger, the number of particles that exist at the contact surface in between sand and geomembrane increases resulting in greater amount of grains to penetrate into counterfaced polymeric material, and thus, plough on a trajectory along the surface by inducing and triggering considerably major variations in surface topography. This is associated with larger magnitude of topographical changes such that the polymeric-material dislocations mobilized on the surface of geomembrane develops at higher intensities. Additionally, the higher values of average roughness (R_a) were attained for the angular sand regardless of geomembrane type which demonstrates that the greater aggressive abrasion is induced into the surface of geomembrane resulting in the substantial alteration of surface topography. This is attributed to the angular features of sand grains having sharp corners such that the invasion and penetration of angular particles into the surface of geomembrane liner at greater extremity, and thus, gouging surface resulting in exceptional surficial topographical changes. Further, the greatest abrasion – regardless of the grain shape of sand particles (rounded or angular) – has been induced to the softest PVC geomembrane liner such that the softer the geomembrane liner becomes in an order of HDPE, LLDPE, PVC, the significance of abrasive action of granular material on the liner sheet has happened to be evident and vital as demonstrated from the detected increase in the values of average roughness (R_a). This shows that the base polymer type from which the geomembrane has been manufactured plays a crucial role such that the physical material characteristics of polymeric continuum liner sheet are of importance regarding the resultant surficial topographical changes.



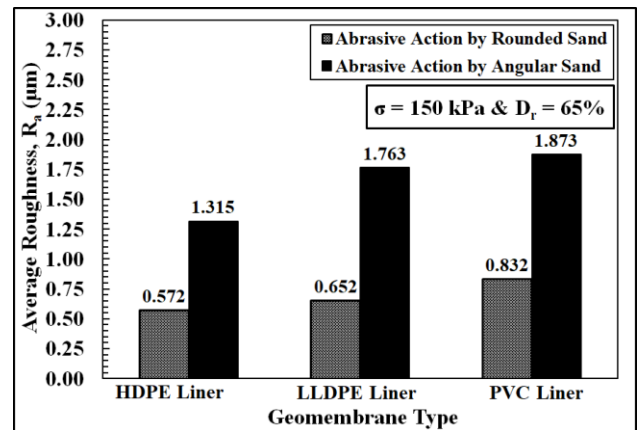
(a) $\sigma = 75 \text{ kPa}$ & $D_r = 45\%$



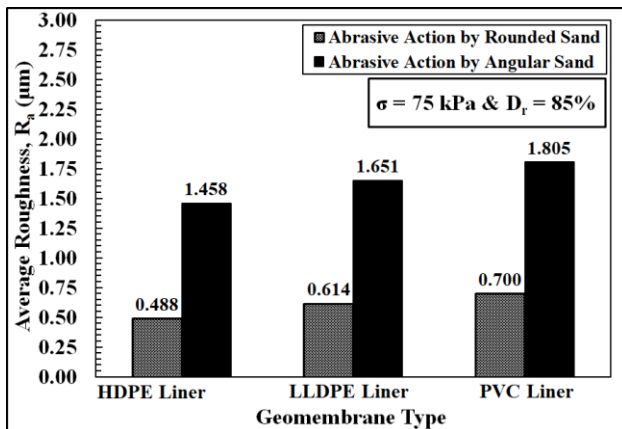
(b) $\sigma = 150 \text{ kPa}$ & $D_r = 45\%$



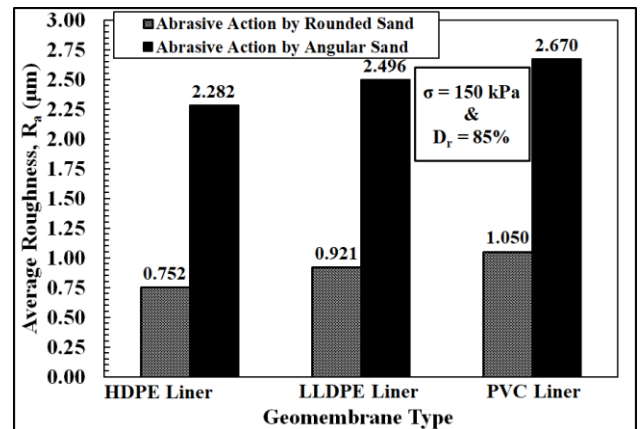
(c) $\sigma = 75 \text{ kPa}$ & $D_r = 65\%$



(d) $\sigma = 150 \text{ kPa}$ & $D_r = 65\%$



(e) $\sigma = 75 \text{ kPa}$ & $D_r = 85\%$



(f) $\sigma = 150 \text{ kPa}$ & $D_r = 85\%$

Figure 3. Comparison of Average Roughness (R_a) of Different Geomembrane Liners for Different Relative Density and Loading Conditions

The variation of average roughness (R_a) with respect to the change in relative density (D_r) as well as normal stress (σ) and grain shape (particle angularity/roundness) for the geomembrane liners produced from HDPE, LLDPE, and PVC base polymeric materials are presented in Figures 4a, 4b, and 4c, respectively. Regardless of the type of base polymer, the R_a increased with an increase in D_r and/or σ . In addition, when the counterface soil particle shape turns into more angular, the increase in the resultant

measured value of R_a becomes relatively larger for the same identical geomembrane liner as compared to the counterface soils having more roundness features in grain shape. Further, the largest increment in the magnitude of R_a was detected for the PVC geomembrane, whereas the smallest rise in the value of R_a was observed in the HDPE geomembrane. The increase in the R_a was medium by the value for the LLDPE geomembrane.

Furthermore, the rate (i.e. slope) of increase in R_a was lower from $D_r = 45\%$ to 65% , and then, beyond the relative density of 65% , the rate of increase became larger particularly for the HDPE geomembrane in all loading conditions (i.e. 75 kPa , 150 kPa) for both rounded and angular sand systems; as well as for the LLDPE geomembrane in all loading conditions (i.e. 75 kPa , 150 kPa) but for only rounded sand system. On the other hand, the LLDPE geomembrane for angular sand system didn't exhibit a change in the rate of increase throughout the entire range of relative density tested from 45% up to 85% . Moreover, the PVC geomembrane didn't display a discernable and noteworthy change in the rate of increase regardless of loading condition or granular soil grain shape such as sand particle angularity or roundness.

In light of comparative analysis presented in Figure 4, it is further noted that the softer and the more flexible the geomembrane liner becomes, the higher the increase in the detected magnitude of R_a is explored. Therefore, the hardness/softness of the geomembrane plays an important role for the resultant alterations in surface topography of the liners, and thus, for the resulting surficial abrasion or wear mobilized on the geomembrane counterfaced with granular materials including sandy soils possessing different grain shape features such as distinct particle angularity/roundness. Moreover, the rate of increase in the detected value of R_a becomes higher for the counterface soils possessing angular grain properties, while the rate of that increase is displayed relatively lower for the counterface soils having rounded particle features. Consequently, it is further highlighted that the angular soil grains lead to the development of more abrasive wear, and thus, greater alterations in surface topographical features of geomembrane liners that are in direct contact with soil particles under imposed loads/forces, and hence, under induced stresses at different modes and directions.

To sum up, surficial topographical alterations of geomembranes are controlled by the liner hardness/softness characteristics as per polymeric core material flexibility/stiffness properties as well as granular soil particle shape such as roundness, angularity, relative density and loading conditions. In this regard, the greatest increase in the value/magnitude of R_a was observed for angular sand systems in largest loading case (i.e. 150 kPa) whereas the smallest increase in the value/magnitude of R_a was seen for rounded sand systems in lowest loading situation (i.e. 75 kPa) regardless of the type of the geomembrane liner. Consequently, the surficial wear induced on the liner surface due to abrasion is strongly governed by the morphology/shape of the sand particles (i.e. rounded, angular). Further, sufficient magnitude of loading is necessarily required for the sand particles to implement and excite abrasive action in order to penetrate and generate abrasion on the liner surface. Therefore, it is evident

that different surface topographical changes could be observed depending on geomembrane or sand material selection as well as based on their mutual interaction over the entire extent of the contact area.

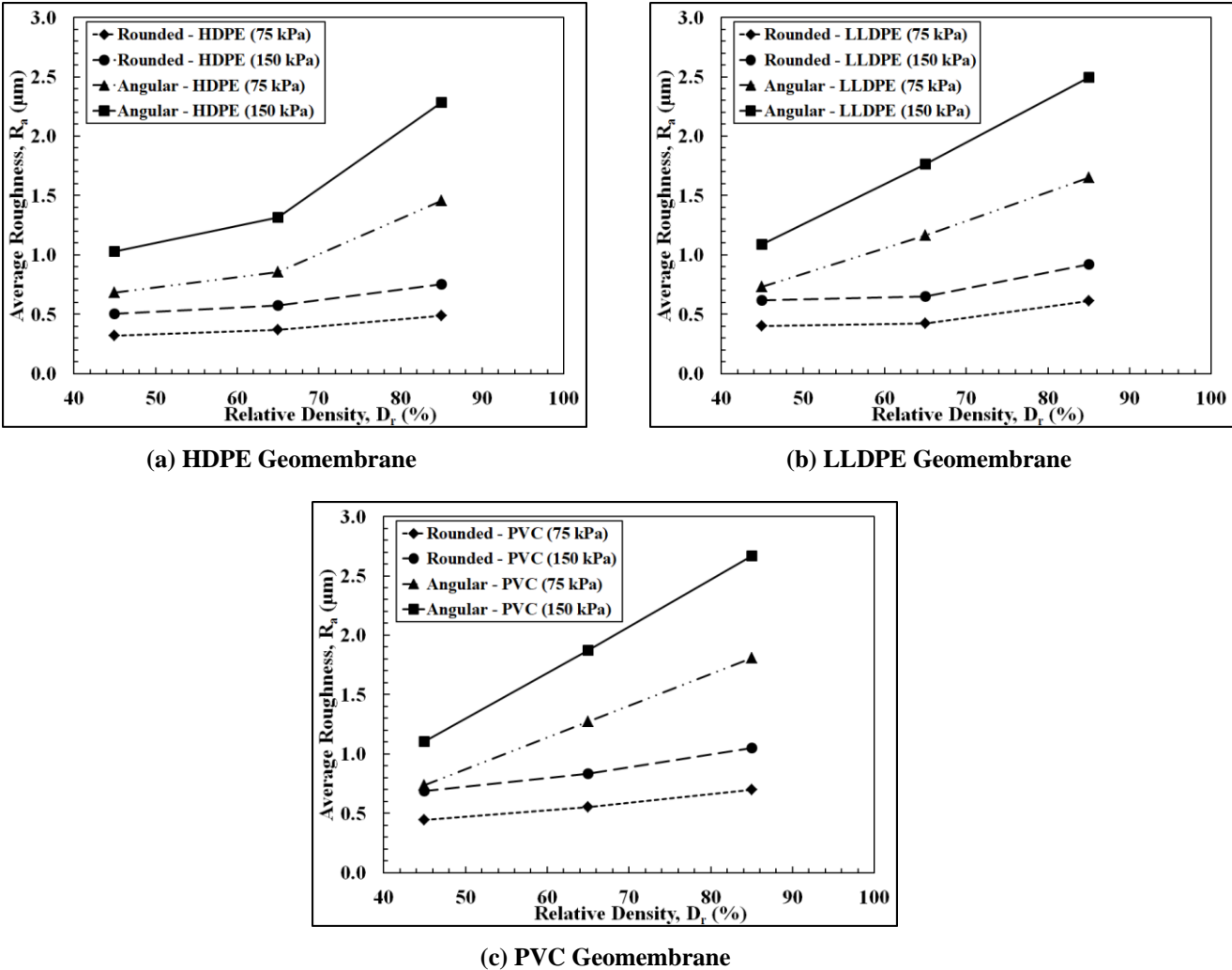


Figure 4. The variation of Average Roughness (R_a) with respect to the change in Relative Density (D_r) as well as Normal Stress (σ) and Grain Shape (Particle Angularity/Roundness)

5. Conclusions

In light of experimental findings/results of the current research study presented in the paper, the surface topographical characteristics as evident on the detected profiles including asperity features such as size, shape, and spacing of material dislocations comprised of peaks and valleys in the topographies were different and unique to geomembrane type. As such, the softer the geomembrane liner sheet (from HDPE to LLDPE then to PVC) becomes, the greater the abrasion has developed in that the surface topography demonstrated more severe peaks and valleys. Further, the angular features of sand grains led to the mobilization of more violent abrasive action in that angular particles were able to penetrate into the surface geomembrane liner, and thus, gouge on a trajectory along the surface. The dimensions and spacing of peaks and valleys for the surface topography were small-scale in relatively stiffer geomembrane liner sheet of HDPE in which the surface topography did not possess sharp corners such

that the transitions from peaks to valleys to peaks were smooth and rounded as compared to that of LLDPE as well as PVC geomembranes where sharp and rough transitions from peaks to valleys to peaks exhibited. As such, the fluctuations in the surface topography data were considerably less owing to relatively firm and intensified core material characteristics of HDPE liner in comparison to that of LLDPE and PVC geomembranes. Consequently, the quantification of surface topography alterations of different geomembranes by means of the computed values of average roughness (R_a) determined for the measured surface topographies of the liners unveiled that the R_a (i.e. surficial topographical changes) increases with an increase in load, relative density, particle angularity of grain shape and softness of geomembrane liner sheet. As such, for the rounded sand system, the value of R_a increased 129%, 133%, 137% for HDPE, LLDPE, PVC geomembrane liners, respectively when the relative density arised from 45% to 85% as well as the normal stress raised up from 75 kPa up to 150 kPa. For the angular sand system, the value of R_a increased 234%, 242%, 262% for HDPE, LLDPE, PVC geomembrane liners, respectively when the relative density arised from 45% to 85% as well as the normal stress raised up from 75 kPa up to 150 kPa. Therefore, it is evidently seen that the grain shape (roundedness versus angularity) of particulate materials (i.e. sand) plays a significant role for the induced surface wear onto geomembrane liner regardless of its type or its core polymer (i.e. HDPE, LLDPE, PVC) due to greater magnitude of abrasive action mobilized by the sharp features of angular sand particles. For this reason, a higher increase in the value of R_a was displayed for the angular sand system as compared to that of the rounded sand system. Furthermore, when the increase in the value of R_a as the D_r arised from 65% to 85% is compared with the increase in the value of R_a as the D_r arised from 45% to 65%, it was obviously realized that a greater rise was identified beyond $D_r = 65\%$ up until $D_r = 85\%$ substantially in particular for the HDPE geomembrane, considerably for the LLDPE geomembrane, and marginally for the PVC geomembrane system.

To sum up, the alteration of surface topography is not only a function of geomembrane material properties including softness/hardness characteristics but also controlled by counterface material physical properties, shape features as well as boundary conditions including the magnitude of loading, the severity of external forces, and induced stresses. For this reason, the selection of materials and the design of multi-layered infrastructural application plays an important and critical role for the sake of safety and stability in a typical composite system designed and constructed for a geotechnical or geoenvironmental facility including more than one distinct materials which are counterfacing each other through a contact surface along with a direct interaction due to imposed external loads/forces and induced resultant stresses. Consequently, the design engineers shall necessarily pay special attention to mutual interactive behavior and engineering properties of materials in construction including strength and durability characteristics in addition to single/unique material strength and durability response against imposed loads and forces in any mode of application such as compression, tension or shear induced singly or jointly/collectively.

In conclusion, the detected surficial topographical changes on the geomembrane liners were quantitatively evaluated by means of a common roughness parameter (i.e. average roughness, R_a) in order to comprehend the degree, magnitude and significance of surficial wear induced on the geomembrane liners due to abrasive action of granular particulate materials (i.e. sand) that are in direct contact and interaction with geomembranes employed in geotechnical and geoenvironmental projects in the infrastructural field applications including embankments, landfills, artificial ponds. The engineering quantification and the comparative analysis conducted in the current study and presented in this paper as well as the test results and the experimental findings of the laboratory program not only filled the gap in the literature regarding the detection and the quantitative evaluation of the resultant polymeric material condition due to abrasive wear but also provided a comprehensive understanding for the engineers in design and the contractor practitioners in construction sites in terms of material selection, the resulting mutual compatibility of the preferred materials, and the consequential changes exhibited on the physical characteristics, mechanical properties of the selected materials in construction as well as operation stages. In this way, the design engineers and the contractor practitioners would be able to estimate stable durability and secure lifespan of the utilized polymeric geomembranes and particulate granular soils as well as their safe and secure mutual interaction in the multi-layered composite systems typically applied in infrastructural facilities including embankments, landfills and artificial ponds.

Statement of Conflict of Interest

No conflict of interest is declared such that no known competing financial interests or personal relationships exist which could have appeared to influence the work reported in this paper.

References

- Adeleke D., Kalumba D., Nolutshungu L., Oriokot J., Martinez A. The influence of asperities and surface roughness on geomembrane/geotextile interface friction angle. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering* 2021; 20(2): 107-120.
- Araujo GLS., Sanchez NP., Palmeira EM., Almeida MGG. Influence of micro and macroroughness of geomembrane surfaces on soil-geomembrane and geotextile-geomembrane interface strength. *Geotextiles and Geomembranes* 2022; 50(3): 751-763.
- Brumund WF., Leonards GA. Experimental study of static and dynamic friction between sand and typical construction materials. *Journal of Testing and Evaluation, JTEVA* 1973; 1(2): 162-165.
- DeJong JT., Frost JD. A multi-sleeve friction attachment for the cone penetrometer. *ASTM, Geotechnical Testing Journal, GTJODJ* 2002; 25(2): 111-127.
- Feng SJ., Shen Y., Zheng QT., Shi JL. Multi-functional direct shear apparatus for geosynthetic interfaces with its application on various GMB/GCL interfaces. *Acta Geotechnica* 2022; 17(4): 993-1008.
- Frost JD., DeJong JT., Recalde M. Shear failure behavior of granular-continuum interfaces. *Engineering Fracture Mechanics* 2002; 69(17): 2029-2048.

- Khan R., Latha GM. Multi-scale understanding of sand-geosynthetic interface shear response through micro-CT and shear band analysis. *Geotextiles and Geomembranes* 2023; 51(2): 437-453.
- Paikowsky SG., Player CM., Connors PJ. A dual interface apparatus for testing unrestricted friction of soil along solid surfaces. *ASTM, Geotechnical Testing Journal, GTJODJ* 1995; 18(2): 168-193.
- Potyondy JG. Skin friction between various soils and construction materials. *Geotechnique* 1961; 11(3): 339-355.
- Uesugi M., Kishida H. Influential factors of friction between steel and dry sands. *Soils and Foundations* 1986; 26(2): 33-46.
- Uesugi M., Kishida H. Frictional resistance at yield between dry sand and mild steel. *Soils and Foundations* 1986; 26(4): 139-149.
- Vangla P., Gali ML. Shear behavior of sand-smooth geomembrane interfaces through micro-topographical analysis. *Geotextiles and Geomembranes* 2016; 44(2): 592-603.
- Ward HC. Profile characterization: Rough surfaces (Chapter IV). Thomas, T.R., ed., London: Longman Group Limited; 1982: 72-90.
- Xia X., Pan Z., Qiu H., Xie X., Guo K. Effect of geomembrane liner on landfill stability under long-term loading: interfacial shear test and numerical simulation. *Environmental Science and Pollution Research* 2024; 31(4): 345-355.
- Xu G., Shi J., Li Y. Change pattern of geomembrane surface roughness for geotextile/textured geomembrane interfaces. *Geotextiles and Geomembranes* 2023; 51(1): 88-99.

Relationship of Calpastatin Gene Polymorphism with Growth Traits in Some Locally Reared Awassi and Akkaraman Sheep Breeds

Mehmet DOKGÖZ¹, Bahri Devrim ÖZCAN^{2*}

¹Çukurova University, Institute of Applied and Natural Sciences, Department of Animal Science, 01330, Adana, Türkiye

²Çukurova University, Faculty of Agriculture, Department of Animal Science, 01330, Adana, Türkiye

¹<https://orcid.org/0009-0002-9793-8013>

²<https://orcid.org/0000-0002-9198-656X>

*Corresponding author: bdozcan@gmail.com

Research Article

Article History:

Received: 31.03.2024

Accepted: 08.07.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

CAST gene

Awassi sheep

Akkaraman sheep

Polymorphism

Genotype frequencies

ABSTRACT

In this study, it was aimed to determine the polymorphism of the Calpastatin gene (*CAST*) in Awassi and Akkaraman sheep which were reared in Osmaniye province within the scope of the National Sheep Breeding Project in the Hand of the Public. The study was carried out on a total of 39 blood samples taken from 20 head Awassi sheep and 19 head Akkaraman sheep reared in 5 different farms. In the study in which PCR-RFLP method was used, 622 bp long PCR amplicons obtained from genomic DNA samples of Awassi and Akkaraman sheep breeds for *CAST* gene were digested with *MspI* restriction enzyme; Two bands of 336 and 286 bp in length for homozygous MM allele, a single band of 622 bp in length for homozygous NN allele and three bands of 622, 336 and 286 bp in length for heterozygous MN alleles were observed. The frequencies of M and N alleles in the Akkaraman breed were 0.82 and 0.18, respectively, while the frequencies of M and N in the Awassi breed were 0.75 and 0.25, respectively. The frequencies of MM, MN, and NN genotypes were 0.60, 0.30, and 0.10, respectively. Contrary to the Awassi breed, only MM and MN genotypes were observed in Akkaraman sheep and their frequencies were calculated as 0.63 and 0.37, respectively. While deviation in Hardy-Weinberg equilibrium was found to be insignificant in the Akkaraman population, it was found to be significant in Awassi sheep. The association analysis revealed that there was a significant association ($P<0.05$) between *CAST* gene polymorphism and 90th-day weight in Awassi breeds, while this association was not found in the Akkaraman breed ($P<0.05$).

Halk Elinde Yetiştirilen Bazı İvesi ve Akkaraman Koyun Irklarında Calpastatin Gen Polimorfizminin Büyüme Özellikleri ile İlişkisi

Araştırma Makalesi

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 31.03.2024

Kabul tarihi: 08.07.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

ÖZ

Bu çalışmada Osmaniye ilinde halk elinde ıslah projesi kapsamında yetiştiriciliği yapılan İvesi ve Akkaraman koyunlarında Kalpastatin geni (*CAST*) polimorfizminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma 5 farklı işletmede yetiştirilen 20 baş İvesi koyundan ve yine 5 farklı işletmede yetiştirilen 19 baş Akkaraman koyundan alınan

Anahtar Kelimeler:
CAST geni
İvesi koyunu
Akkaraman koyunu
Polimorfizm
Genotip frekansı

toplam 39 kan örneği üzerinde yürütülmüştür. PCR-RFLP yönteminin kullanıldığı çalışmada, CAST geni için İvesi ve Akkaraman koyun ırklarına ait genomik DNA örneklerinden elde edilen 622 bp uzunluğundaki PCR ampliconlarının *MspI* restriksiyon enzimi ile kesimi sonucunda; homozigot MM alleli için 336 ve 286 bp uzunluğunda iki adet bant, homozigot NN alleli için 622 bp uzunluğunda tek bir bant ve heterozigot MN allelleri için ise 622, 336 ve 286 bp uzunluğunda üç adet bant gözlenmiştir. Akkaraman ırkında M ve N allellerinin frekansı sırasıyla 0,82 ve 0,18 olarak hesaplanırken, İvesi ırkında M ve N frekansları sırasıyla 0,75 ve 0,25 olarak hesaplanmıştır. MM, MN ve NN genotiplerinin frekansları ise sırasıyla 0,60, 0,30 ve 0,10 olarak bulunmuştur. İvesi ırkının aksine Akkaraman koyunlarında sadece MM ve MN genotipleri gözlenmiş ve frekansları sırasıyla 0,63 ve 0,37 olarak hesaplanmıştır. Akkaraman popülasyonunda Hardy-Weinberg dengesinde sapma önemsiz bulunurken, İvesi koyununda önemli bulunmuştur. İlişki analizi İvesi ırklarında CAST geni polimorfizmi ile 90. gün ağırlığı arasında önemli bir ilişki olduğunu ($P<0,05$) ortaya koyarken, Akkaraman ırkında bu ilişki bulunamamıştır ($P<0,05$).

To Cite: Dokgöz M., Özcan BD. Relationship of Calpastatin Gene Polymorphism with Growth Traits in Some Locally Reared Awassi and Akkaraman Sheep Breeds. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(5): 2364-2373.

1. Introduction

Skeletal muscle mass is a significant economic trait, and the development and growth of muscles are crucial factors in providing sufficient meat for human consumption. Therefore, identifying the candidate genes that regulate skeletal muscle development is essential for comprehending the molecular genetic regulation of muscle growth (Mohammadabadi et al., 2021).

Palmer et al. (2000) and Khederzadeh (2011) reported that the Calpastatin gene (*CAST*) is located on the 5th chromosome in sheep. Calpastatin, consisting of five main domains, has a molecular weight of approximately 76 kDa (Suleman et al., 2012). Among these domains, the N-terminal leader (L) is thought to play no role in suppressing calpains (Emori et al., 1987), but it may contribute to determining the region where it settles within the cell (Averna et al., 2001). The other four domains are highly homologous and tend to suppress calpains (Emori et al., 1987; Cong et al., 1998). Within these domains, three regions, namely A, B, and C, have been identified. Regions A and C tightly bind to calpains with Ca^{+2} ions, but there is no calpain suppression activity in any of these regions (Todd et al., 2003).

The significance of animal protein in human nutrition is undeniable. Sheep have contributed to humanity for thousands of years with their yield characteristics such as meat, milk, and fleece, and continue to do so. Understanding the importance of this, people have tried to breed animals and plants involved in agricultural activities and have carried out studies to increase the quantity and quality of the products obtained from them. The *CAST* gene is one of the candidate genes affecting muscle growth and is involved in regulating the firmness of meat after slaughter (Zhou et al., 2007). While this suggests that the *CAST* gene is more involved in meat quality, there is also a link between muscle growth rate and Calpastatin activity. Muscle growth is due to a reduction in protein degradation as a result of Calpastatin activity. Thus, it appears that the *CAST* gene has a positive effect on meat yield in addition to meat quality. Amanda et al. (2004) also stated that the *CAST* gene should be of particular interest in studies to improve meat quality and body weight gain in livestock. Calpastatins inhibit endogenous biosynthesis and degradation of calpains (Khederzadeh, 2011). The *CAST* gene can be classified as a candidate gene

due to the presence of common genomic regions in livestock (sheep, goats, pigs, cattle, etc.) and also in rodent mouse (Hitomi et al., 2000). Palmer et al. (1998) determined two different (M and N) alleles of the *CAST* gene in Dorset sheep by PCR-RFLP method. These two alleles of the *CAST* gene were also determined in subsequent studies in different breeds (Shahroudi et al., 2006; Mohammadi et al., 2008; Szkudlarek-Kowalczyk et al., 2011; Khan et al. 2012).

This study was carried out to determine the *CAST* gene polymorphism by PCR-RFLP method at the DNA level in Awassi and Akkaraman sheep raised in Osmaniye province. Furthermore, the aim was to assess the association between the genotypes determined for the *CAST* gene in Akkaraman and Awassi sheep breeds and sheep growth characteristics.

2. Material and Method

2.1. Animals and sample collection

The animal material of the study consisted of a total of 39 animals, which consisted of 20 Awassi and 19 Akkaraman from a total of 10 sheep farms under the National Sheep Breeding Project in the Hand of the Public reared in different locations in Osmaniye province of Türkiye. Blood samples were collected from the *Vena jugularis* of the animal material using a vacutainer tube containing K3EDTA and stored at -20°C until analyses. The genomic DNA was extracted using GeneJET Whole Blood Genomic DNA Purification Mini Kit (Thermo Fisher Scientific) following the procedure given in the user manual. DNA quality and quantity were assessed using a NanoDrop spectrophotometer (Thermo Fisher Scientific, USA).

Table 1. Primer sequences of the *CAST* gene locus (Oligomer, Ankara, Türkiye)

Primer	Sequences (5' → 3')	G+C Content (%)	Tm (°C)	Reference
CAST-F	CCTTGTCATCAGACTTCACC	50	60	Khederzadeh (2011)
CAST-R	ACTGAGCTTTTAAAGCCTCT	40		

2.2. PCR amplification

A 622 bp fragment of the *CAST* gene was amplified by polymerase chain reaction (PCR) using the primers listed in Table 1. The PCR reaction was carried out in a 50 μL volume using 1 μL (200 ng) of DNA, 5 μL of PCR reaction buffer, 1 μL for each primer (forward and reverse, 20 pmol each), 4 μL of dNTP mix (10 mM), 3 μL of MgCl_2 (25 mM), 0.5 μL of Taq DNA polymerase (5 u/ μL , Thermo Fisher Scientific) and 34.5 μL of distilled water. The thermal cycling conditions were as follows: initial denaturation at 95°C for 5 min; 30 cycles of 95°C for 1 min, 60°C annealing for 1 min, and 72°C extension for 2 min; final extension at 72°C for 10 min. The PCR products were visualized by electrophoresis on a 0.8% agarose gel stained with ethidium bromide.

2.3. RFLP genotyping

The 622 bp PCR amplicons were genotyped by restriction fragment length polymorphism (RFLP) method using the *MspI* restriction enzyme (Thermo Fisher Scientific, USA, Cat. No: ER0541). The PCR products were digested using *MspI* restriction enzymes at 37°C, for 60 minutes. The reaction mixture consisted of 5 µL of PCR products, 3.5 µL of distilled water, 1 µL of 10X buffer, and 0.5 µL of the restriction enzymes. The digested PCR products were separated by electrophoresis on a 1% agarose gel stained with ethidium bromide and visualized under UV light (Vilber Lourmat, Germany).

2.4. Calculation of allele and genotype frequencies

After determining the genotype of each individual and documenting them in the gel images, gene and genotype frequencies were calculated using the direct counting method for Calpastatin genetic variants. Gene and genotype frequencies were calculated separately for two herds and also for the whole population.

2.5. Statistical analysis

The χ^2 (chi-square) test was used to determine whether the herds and the population were in Hardy-Weinberg equilibrium. Yates continuity correction was applied to genotypes with sample sizes of 5 or less. One-way analysis of variance (ANOVA) was used to determine the relationships between gene polymorphisms and growth traits. Tukey test was used for genotypic association analysis to determine the significance of differences in growth traits following ANOVA. Descriptive statistics of the growth efficiency of the studied individuals are shown with mean and standard error. All statistical analyses were performed using the Minitab 19.1 software package, and a significance level of $P < 0.05$ was adopted.

3. Results and Discussion

CAST gene with a length of 622 bp was amplified by PCR from the genomic DNA of Akkaraman and Awassi sheep. After digestion of the amplicons with *MspI* restriction enzyme, two bands of 336 and 286 bp in length for the homozygous MM allele, a single band of 622 bp in length for the homozygous NN allele, and three bands of 622, 336, and 286 bp in length for heterozygous MN alleles were observed in agarose gel (Figure 1).

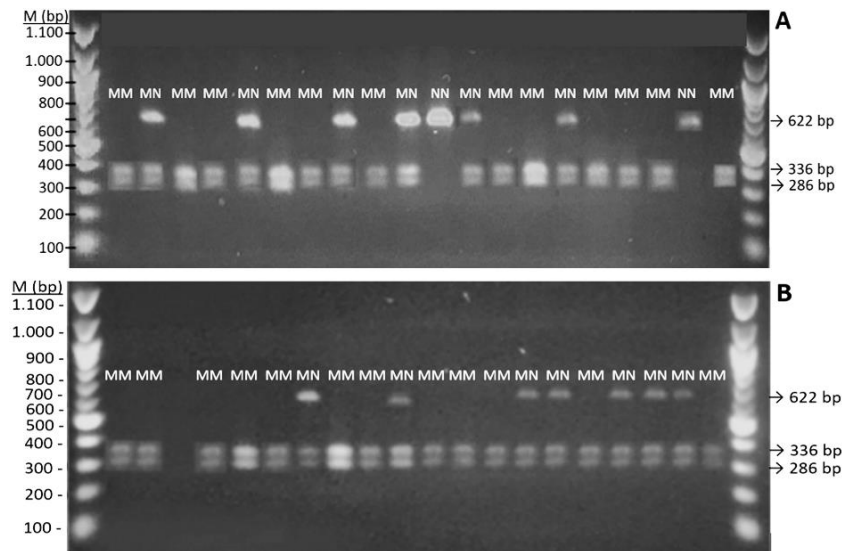


Figure 1. Genotypes of the *CAST* gene of Awassi (A) and Akkaraman (B) sheep bred on an agarose gel. MM (336 and 286 bp), MN (622, 336 and 286 bp), NN (622 bp) (M: 100 bp DNA ladder, Thermo Fisher Scientific, SM0241)

The obtained results revealed that both Awassi and Akkaraman sheep breeds reared by local shepherd in Osmaniye are polymorphic in terms of the *CAST* gene. It was observed that M and N alleles of the *CAST* gene were present with varying frequencies in the Awassi and Akkaraman sheep breeds. While the frequencies of M and N alleles in the Akkaraman breed were calculated as 0.82 and 0.18, respectively, the frequencies in the Awassi breed were calculated as 0.75 and 0.25, respectively (Table 2). Homozygous MM and heterozygous MN genotypes were observed in both breeds, while homozygous NN allele was observed only in the Awassi breed.

Table 2. Genotype and allele frequencies of the *CAST* gene in Awassi and Akkaraman sheep breed

Breed	N*	Genotype frequency			Allele frequency	
		MM	MN	NN	M	N
Awassi	20	0.60	0.30	0.10	0.75	0.25
Akkaraman	19	0.63	0.37	0	0.82	0.18
Total	39					

*Number of animals

While deviation from Hardy-Weinberg equilibrium was found to be insignificant in the Akkaraman population, significant deviation from Hardy-Weinberg equilibrium was observed in the Awassi sheep and the total population when the chi-square test was applied. Association analysis results revealed that there was a significant relationship between *CAST* gene polymorphism and 90th-day weight in Awassi breeds ($P < 0.05$). The 90th-day weight averages of the genotypes were MM (24.45 ± 0.17), MN (23.70 ± 0.24), and NN (24.72 ± 0.62) (Table 3). It was determined that the individuals with the NN genotype had a higher mean 90th-day weight maintenance than the other individuals. However, there was no relationship between *CAST* gene polymorphism and growth traits in Akkaraman breeds ($P > 0.05$) (Table 3).

Table 3. Association analysis between *CAST* gene and growth traits in Awassi and Akkaraman breeds

Breed	Description	Genotype			P value
		MM	MN	NN	
Awassi	Birth weight (kg)	3.41±0.24	3.43±0.23	3.42±0.31	0.985
	60 th Day weight (kg)	16.41±0.60	16.13±0.29	16.98±0.32	0.152
	90 th Day weight (kg)	24.45±0.17 ^a	23.70±0.24 ^b	24.72±0.62 ^a	0.006*
Akkaraman	Birth weight (kg)	4.12±0.22	4.06±0.30	-	0.602
	60 th Day weight (kg)	17.20±0.72	16.74±0.50	-	0.160
	90 th Day weight (kg)	24.42±1.28	23.78±0.71	-	0.244

In this study in which *CAST* gene polymorphism was determined in Awassi and Akkaraman sheep breeds raised in Osmaniye within the scope of the National Sheep Breeding Project in the Hand of the Public, M, and N allele frequencies in Akkaraman sheep were calculated as 0.82 and 0.18, respectively, while the frequencies in Awassi sheep were calculated as 0.75 and 0.25, respectively. In previous studies on another population of Akkaraman sheep, Kırıkçı (2021) reported M and N allele frequencies as 0.68 and 0.32, respectively, while similar studies reported M and N allele frequencies as 0.69 and 0.31 (Balcioglu et al., 2014), 0.90 and 0.10 (Bayram et al., 2019). In a study on the Awassi breed, M and N allele frequencies were reported as 0.59 and 0.41, respectively (Balcioglu et al., 2014). These data show that the M and N alleles of the *CAST* gene in Akkaraman and Awassi sheep in Turkey generally show similar frequencies and the M allele frequency is higher than the N allele frequency. This similarity is not limited to Akkaraman and Awassi sheep breeds. In other domestic sheep breeds in which *CAST* gene polymorphism was investigated, M and N allele frequencies were reported as 0.92 and 0.08 in Kangal breed, 0.67 and 0.33 in Güney Karaman breed, 0.87 and 0.13 in Morkaraman breed, 0.86 and 0.14 in Karayaka breed, 0.89 and 0.11 in Karakaş breed (Balcioglu et al., 2014). In another study, the frequencies of M and N allele were reported as 0.70-0.30, 0.963-0.037, 0.909-0.091, 0.895-0.105, 0.733-0.267 and 0.75-0.25 in Kırırcık, İmroz, Karayaka, Hemşin, Karakul and Morkaraman breed sheep, respectively (Avanus, 2015). Kaplan and Atalay (2017) reported M and N allele frequencies as 0.90 and 0.10 in Kırırcık crossbred sheep. In studies conducted in other countries, the frequencies of M allele in local breeds were generally reported to be high (Mohammadi et al., 2008; Gabor et al., 2009; Szkudlarek-Kowalczyk et al., 2011; Khederzadeh, 2011; Khan et al., 2012; Suleman et al., 2012). However, in the *CAST/MspI* polymorphism study conducted in the Chios breed, the M allele frequency was found to be as low as 0.35 (Yılmaz et al., 2014), which is not a common situation. In the Awassi breed, frequencies of MM, MN, and NN genotypes for *CAST/MspI* were found to be 0.60, 0.30, and 0.10, respectively. On the other hand, only MM and MN genotypes were observed in Akkaraman sheep and their frequencies were 0.63 and 0.37, respectively. While the frequency of the NN genotype was found to be very low in Awassi breed sheep, the NN genotype was not observed in Akkaraman breed sheep. Similar results were reported for Gökçeada (Yılmaz et al., 2014), Ost Friz (Gabor et al., 2009), Kangal (Balcioglu et al., 2014), Balkhi (Khan et al., 2012), Thalli (Suleman et al., 2012), Berichon du Cher and Ile de France (Szkudlarek-Kowalczyk et al., 2011) sheep breeds. In another study conducted on the Akkaraman breed, the NN genotype frequency was reported as a meager rate of 0.02 (Kırıkçı,

2022). This frequency value is very similar to the NN frequency obtained for Akkaraman sheep in this study. On the other hand, low MN genotype frequencies were observed in both Awassi and Akkaraman sheep in our study. These results indicate that homozygosity in favor of M allele occurred in both populations. Because the animals used in this study were selected from elite and closed flocks, it is expected to show different frequencies from the results obtained in other studies. Because the absence of the NN genotype in the Akkaraman sheep breed indicates the closed nature of the flock. On the other hand, the similarity with the results determined in different studies is the result of the fact that the studied gene is a conserved region between the breeds. The fact that the Awassi breed is not in Hardy-Weinberg equilibrium can be explained by homozygotization due to the closed herds. When the obtained genotype frequencies and Hardy-Weinberg equilibrium results are evaluated together, considering that the 90th-day live weight was also found to be significant, the *CAST* gene can be considered as a candidate gene associated with growth, especially for the Awassi breed and can be used in marker-assisted selection studies.

The results of the association analysis showed that there was a significant association between *CAST* gene polymorphism and 90th-day weight in Awassi breed animals ($P < 0.05$). However, no association was found between *CAST* gene polymorphism and birth weight and 60th-day weight in Awassi breed sheep and birth, 60th-day, and 90th-day weight in Akkaraman breed sheep ($P > 0.05$). It was determined that the individuals with the NN genotype in the Awassi breed had a higher mean 90th-day weight than the other individuals. However, Jawasreh et al. (2017) reported that individuals with the MN genotype recorded higher body weight gain than individuals with the MM genotype in a study conducted in Awassi breed sheep. Similarly, Chung and Davis (2012) conducted a study on the *CAST* gene in Polypay, Targhee, and crossbred ewes and found that *CAST* gene polymorphism was effective on body weight gain and birth weight. However, there are also reports in the literature that individuals with the NN genotype have lower body weight than other genotypes (Khan et al., 2012). Bayraktar and Shoshin (2022) reported that *CAST* gene polymorphism was associated with body weight, body length, cidago height, and chest depth in a study conducted in Awassi breed animals.

The *CAST* gene is known to be a candidate gene with a major effect on meat quality and tenderness. At the same time, the findings obtained from this study and other similar studies show that there is a relationship between *CAST/MspI* polymorphism and growth traits. These studies suggest that the *CAST* gene can be taken into consideration in future genetic breeding studies and included in breeding programs.

Conclusion

In the study on the determination of *CAST* gene polymorphism by PCR-RFLP method in Awassi and Akkaraman sheep raised in Osmaniye province, it was determined that animals were polymorphic in terms of *CAST/MspI* locus in both sheep breeds. While the frequency of individuals with MM genotype was high in both breeds, individuals with NN genotype were not observed in Akkaraman breed. This

study also revealed the CAST/MspI locus variation in both breeds. The findings of association analysis revealed that individuals with the NN genotype in the Awassi breed reached higher 90th-day live weight. These findings will contribute to genetic improvement by including the *CAST* gene in future breeding studies in terms of the aforementioned characters.

Acknowledgements

The authors acknowledge the Çukurova University Research Fund (FYL-2019-12464) for support to carry out this study.

Conflict of Interest Statement

The authors declare that there is no conflict of interest.

Summary of Researchers' Contribution Rate Declaration

The authors declare that they have made a similar contribution to the article.

Kaynakça:

- Amanda W., Thompson VF., Goll DE. Interaction of calpastatin with calpain: a review. *Biological Chemistry* 2004; 385: 465-472.
- Avanus K. Genetic variability of *CAST* gene in native sheep breeds of Turkey. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2015; 21(6): 789-794.
- Averna M., Tullio RD., Passalacqua M., Salamini F., Ponteremoli S., Mellon E. Changes in intracellular calpastatin localization are mediated by reversible phosphorylation. *Biochemical Journal* 2001; 354: 25-30.
- Balcıoğlu MS., Karşlı T., Şahin E., Ulutaş E., Aksoy Y. Türkiye’de yetiştirilen bazı yerli koyun ırklarında kalpastatin (*CAST*) geni polimorfizminin PCR-RFLP yöntemiyle belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi* 2014; 20: 427-433.
- Bayraktar M., Shoshin O. Association between *CAST* and *MSTN* gene polymorphisms with growth traits in Awassi sheep. *Kuwait Journal of Science* 2022; 49(2): 1-5.
- Bayram D., Akyüz B., Arslan K., Özdemir F., Aksel EG., Çınar MU. *DGATI*, *CAST* and *IGF-I* gene polymorphisms in Akkaraman lambs and their effects on live weights up to weaning age. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2019; 25 (1): 9-15.
- Chung H., Davis M. PCR-RFLP of the ovine calpastatin gene and its association with growth. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances* 2012; 7: 641-652.
- Cong M., Thompson VF., Goll DE., Antin PB. The bovine calpastatin gene promoter and a new N-terminal region of the protein are targets for campdependent protein kinase activity. *Journal of Biological Chemistry* 1998; 273: 660-666.

- Emori Y., Kawasaki H., Imajoh S., Imahori K., Suzuki K. Endogenous inhibitor for calcium-dependent cysteine protease contains four internal repeats that could be responsible for its multiple reactive sites. *PNAS of the United States of America* 1987; 84: 3590-3594.
- Gábor M., Trakovická A., Miluchová M. Analysis of polymorphism of *CAST* gene and *CLPG* gene in sheep by PCR-RFLP method. *Scientific Papers: Animal Science and Biotechnologies* 2009; 42(2): 470-476.
- Hitomi K., Murase M., Kawamura T., Maki M. Constant expression of mouse calpastatin isoforms during differentiation in myoblast cell line, C2C12. *Cytotechnology* 2000; 33: 63-70.
- Jawasreh KI., Jadallah R., Al-Amareen AH., Abdullah AY., Al-Qaisi A., Alrawashdeh IM., Al-Zghoul MBF., Ahamed MKA., Obeidat B. Association between *MspI* calpastatin gene polymorphisms, growth performance, and meat characteristics of Awassi sheep. *Indian Journal of Animal Sciences* 2017; 87(5): 635-639.
- Kaplan S., Atalay S. Determination of calpastatin gene polymorphism in Kıvrıkcık crossbred ewes by PCR-RFLP method. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences* 2017; 31(3): 147-150.
- Khan SUH., Riaz MN., Ghaffar A., Khan MFU. Calpastatin (*CAST*) gene polymorphism and its association with average daily weight gain in Balkhi and Kajli sheep and Beetal goat breeds. *Pakistan Journal of Medical Sciences* 2012; 44: 377-382.
- Khederzadeh S. Polymorphism of calpastatin gene in crossbreed Dalagh sheep using PCR-RFLP. *African Journal of Biotechnology* 2011; 10: 10839-10841.
- Kırıkçı K., Mehmet CAM., Mercan L. Investigation of the *CAST* gene polymorphism in Karayaka sheep. *Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences* 2021; 11(1): 89-93.
- Mohammadabadi M., Bordbar F., Jensen J., Du M., Guo W., Key G. Genes regulating skeletal muscle development and growth in farm animals. *Animals* 2021; 11(3): 1-25.
- Mohammadi M., Nasiri MTB., Alami-Saeid KH., Fayazi J., Mamoe M., Sadr AS. Polymorphism of calpastatin gene in Arabic sheep using PCR-RFLP. *African Journal of Biotechnology* 2008; 7(15): 2682-2684.
- Palmer BR., Roberts N., Hickford JGH., Bickerstaffe R. Rapid communication: PCR-RFLP for *MspI* and *NcoI* in the ovine calpastatin gene. *Journal of Animal Science* 1998; 76: 1499-1500.
- Palmer BR., Su HY., Roberts N., Hickford JGH., Bickerstaffe R. Single nucleotide polymorphisms in an intron of the ovine calpastatin gene. *Animal Biotechnology* 2000; 11: 63-67.
- Shahroudi FE., Nassiry MR., Valizadh R., Moussavi AH., Pour MT., Ghiasi H. Genetic polymorphism at *MTNRIA*, *CAST* and *CAPN* loci in Iranian Karakul sheep. *Iranian Journal Biotechnology* 2006; 4: 117-122.
- Suleman M., Khan SU., Riaz MN., Yousaf M., Shah A., Ishaq R., Ghafoor A. Calpastatin (*CAST*) gene polymorphism in Kajli, Lohi and Thalli sheep breeds. *African Journal of Biotechnology* 2012; 11(47): 10655-10660.

- Szkudlarek-Kowalczyk M., Wiśniewsk E., Mroczkowsk S. Polymorphisms of calpastatin gene in sheep. *Journal of Central European Agriculture* 2011; 12: 425-432.
- Todd B., Moore D., Deivanayagam CCS., Lin G., Chattopadhyay D., Maki M., Wang KKW., Narayana SVL. A structural model for the inhibition of calpain by calpastatin: Crystal structures of the native domain VI of calpain and its complexes with calpastatin peptide and a small molecule inhibitor. *Journal of Molecular Biology* 2003; 328(1): 131-146.
- Yılmaz O., Sezenler T., Ata N., Yaman Y., Cemal İ., Karaca O. Polymorphism of the ovine calpastatin gene in some Turkish sheep breeds. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 2014; 38: 354-357.
- Zhou H., Hicford JGH., Gong H. Polymorphism of the ovine calpastatin gene. *Molecular and Cellular Probes* 2007; 21: 242-244.

Adıyaman ve Iğdır İlleri'nde Tüketicilerin Su Ürünleri Tüketim Tercihlerinin Belirlenmesi

Naime Filiz KARADAŞ^{1*}, Köksal KARADAŞ², Hakan DUMAN³

¹Atatürk Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Erzurum

²Iğdır Üniversitesi Ziraat, Fakültesi Tarım Ekonomisi Bölümü, Iğdır

³Iğdır Üniversitesi Iğdır Meslek Yüksek Okulu Ulaştırma Hizmetleri Bölümü, Iğdır

¹<https://orcid.org/0000-0003-3488-3481>

²<https://orcid.org/0000-0003-1176-3313>

³<https://orcid.org/0000-0001-6166-5776>

*Sorumlu yazar: filizkaradas66@gmail.com

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 05.06.2024

Kabul tarihi: 26.08.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Su ürünleri

Tüketici tercihleri

Adıyaman

Iğdır

Balık

ÖZ

Su ürünleri; protein, vitamin ve mineraller bakımından oldukça zengin içerikli olup yeterli miktar ve çeşitte tüketilmeleri dengeli ve sağlıklı beslenme açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmanın amacı; Adıyaman ve Iğdır illeri'nde su ürünleri tüketiminde tüketici tercihleri ve bu tercihler üzerinde etkili olan unsurları belirlemektir. Çalışmada kullanılan veriler "Basit Tesadüfi Örnekleme Yığın Oran Tahmini Yöntemi"ne göre belirlenen 400 adet tüketici ile yüz yüze yapılan anketlerden elde edilmiştir. Tüketicilerin demografik verileri yanında su ürünleri tercihlerini etkileyen faktörler tespit edilmeye çalışılmış olup bu kapsamda frekans tabloları, Chi-Square ve Mann-Whitney U testi ile Fisher Kesin Testi, Post Hoc Testi ve Mozaik Grafikleri yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre çalışmaya katılan tüketicilerin yarısı erkek olarak belirlenmiş yükseköğretim düzeyinde eğitime ve yarıdan fazlası 6000 TL'nin altına aylık gelire sahip oldukları saptanmıştır. Hane halkı büyüklüğü ortalama 4,75 bireyden oluşmaktadır. Tüketiciler daha çok tavuk eti ve kırmızı et tüketirken, balık etini diğer etlere göre pahalı bulduklarını, çoğunluğun ayda bir defa veya daha nadir balık eti tükettiği, tüketme sebebinin sağlıklı olmasından kaynaklandığını, genellikle balığı pazar yeri ve balık halinden aldıklarını belirtmişlerdir. Tüketiciler balığın tazeliğini deri parlaklığı ve gözlerin durumundan anladıklarını ve balık alırken tazelik ve lezzetine dikkat ettiklerini belirtmişlerdir. Tüketicilerin çoğunluğu balığı kış mevsiminde, aylık 1-3 kg arasında ve taze olarak tüketmektedirler. Adıyaman'da daha çok kırmızı et, Iğdır'da ise daha çok tavuk eti tüketilirken her iki ilde eğitim seviyesinin artmasının balık eti tüketimini artırdığı saptanmıştır. Ayrıca Adıyaman'da daha çok alabalık, Iğdır'da ise hamsi tercih edilmektedir. Tüketicilerin yarıya yakını balığın faydaları hakkında yeterli bilgiye sahip olmadıklarını, yarıdan fazlası yeterli miktar ve çeşitte taze balık bulamadıklarını belirtmekte ve balık satışları için balık çarşısı kurulmasını istemektedirler. Tüketicilerin balık tüketiminin faydaları hakkında yeterli bilgiye sahip olmaları sağlanmalı, bölgede yeterli miktar ve çeşitte taze balık satışlarının yapılacağı balık çarşısı kurulmalıdır.

Determination of Consumers' Fisheries Consumption Preferences in Adıyaman and Iğdır Provinces

Research Article

Article History:

Received: 05.06.2024

Accepted: 26.08.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

ABSTRACT

Fisheries are rich in protein, vitamins and minerals, and consuming them in sufficient quantity and variety is very important for a balanced and healthy diet. The aim of this study is to determine consumer preferences in fish consumption in Adıyaman and Iğdır provinces and the factors affecting these preferences. The data used in the study were obtained from face-to-face surveys with 400 consumers determined according to the Simple Random Sampling

Mass Rate Estimation Method. In addition to demographic data of consumers, factors affecting seafood preferences analyzed, and in this context, frequency tables, Chi-Square and Mann-Whitney U tests, Fisher Exact Test, Post Hoc Test and Mosaic Graphs were made. According to the research results, half of the consumers participating in the study are male and have a higher education level and more than half have a monthly income below 6000 TL. Average household size is 4.75 individuals. While consumers mostly consume chicken and red meat, it has been determined that fish meat is found to be more expensive than other meats, the majority consume fish meat once a month or rare, and the reason for consuming it is because it is healthy, and it is generally purchased from fish markets.. They assess the freshness of the fish by the brightness of the skin and the condition of the eyes, and when buying fish, they pay attention to its freshness and taste. The majority of consumers consume it fresh, between 1-3 kg per month, in the winter season. While more red meat is consumed in Adiyaman and more chicken meat in Iğdır, it is seen that the increase in the education level increases the consumption of fish meat. In addition, trout is preferred in Adiyaman and anchovy is preferred in Iğdır. Nearly half of the consumers do not have sufficient information about the benefits of fish, and more than half cannot find fresh fish in sufficient quantity and variety and express a desire to establish a fish market for fish sales. Consumers should be provided with sufficient information about the benefits of fish consumption, and a fish market should be established in the region where fresh fish could be sold in sufficient quantity and variety.

To Cite: Karadaş NF., Karadaş K., Duman H. Adiyaman ve Iğdır İlleri'nde Tüketicilerin Su Ürünleri Tüketim Tercihlerinin Belirlenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2024; 7(5): 2374-2392.

1. Giriş

Yetersiz beslenme birçok hastalığın ortaya çıkmasına ve insan sağlığının bozulmasına neden olmaktadır. Özellikle yeterince gelişmemiş ülkelerde hayvansal gıdalarla alınan protein düzeyi oldukça yetersiz olduğundan karasal kaynaklı hayvansal ürünlerdeki protein miktarlarından daha yüksek oranda protein içeren su ürünleri, bu protein eksikliğini tamamlamak için iyi bir alternatif olarak değerlendirilmektedir (Aydın ve Karadurmuş, 2013). Su ürünleri; zengin protein içeriği, doymamış yağ asitlerine sahip olması, içeriklerinde birçok vitamin ve mineralleri barındırması nedeniyle gıda güvencesinin sağlanması ve dengeli-sağlıklı beslenme bakımından oldukça önemli olup (Nesheim ve Yaktine, 2007) içerdikleri azotlu bileşiklerden dolayı, yüksek besin değerine sahip gıdalar arasında yer almaktadır (Binici ve Kurtkaya, 2014). Yetişkin bir bireyin günlük protein ihtiyacının %50-60'ını 150 gramlık bir balık karşılamaktadır (TÜBA, 2019). Fonksiyonel gıdalar arasında yer alan su ürünleri düzenli olarak tüketildiklerinde ruh ve göz hastalıkları ile kalp rahatsızlarının önlenmesinde rol oynamakla birlikte (FAO, 2018) özellikle gelişim sürecinde çocuklar için başta olmak üzere, yüksek bir biyolojik protein değerine ve kalitesine sahip olup anne sütüne eşit bir değer içermekte ve vücut proteinine dönüşebilir bir yapıya sahip olduğu bilinmektedir (Küçük ve ark., 2022). Önemli bir iyot kaynağı olan balıklar içerdikleri faydalı besin öğeleri sayesinde insan vücudunun gelişmesine ve çalışmasına katkı sağlarken, bazı hastalıklara yakalanma riskini de azaltmaktadırlar (Sidhu, 2003; Kearney, 2010). Özellikle soğuk su balıklarından uskumru, somon, ton balığı ve sardalya omega-3 bakımından oldukça zengindir. Omega-3'ün; gözde sarı nokta hastalığı riskini azaltması, kalp ve damar sağlığını koruması, kanın pıhtılaşmasını önleyerek akışkanlığını artırması, kan şekerinin düzenlenmesine yardımcı olma, kandaki

trigliserit yani serbest yağların düşürülmesini sağlaması, tansiyonu düşürmesi ve daha birçok açıdan insan sağlığına fayda sağladığı bilinmektedir (Djoussé ve ark., 2012).

Türkiye 25 milyon hektarlık su kaynağına, 8333 km'lik kıyı şeridinde ve 177714 km uzunluğunda akarsulara sahip olduğundan gerek kıyı şeridinde ve gerekse iç bölgelerde yeterince balık arzı sağlanması bakımından avantajlı konumdadır (Sarıözkan, 2016).

Türkiye'de 2009 yılında 662962 ton olan toplam su ürünleri üretimi 2022 yılına gelindiğinde %36 artarak 849808 tona yükselmiştir. Aynı yıllar deniz ürünleri üretimi 425046 tondan 301747 tona (-%29) ve iç su ürünleri üretimi 39187 tondan 33256 tona gerilerken (-%15) yetiştiricilik üretimi ise 158729 tondan 514805 tona yükselmiştir (+%224) (TÜİK, 2022). Türkiye'de su ürünleri üretimi artmasına karşın kişi başı tüketim miktarı dünya ortalamasının (20,5 kg) oldukça altındadır (6,8 kg) (Balaban, 2023). Tüketicilerin daha ucuza ve daha sağlıklı beslenebilmeleri için gıda güvenliğine katkıda bulunan ve insan vücudunun ihtiyaç duyduğu temel besin maddelerinin 40'tan fazlasının tamamına yakını sağlayabilen yegâne besin kaynağı olan su ürünleri tüketiminin artırılması gerekmektedir (TÜBA, 2019). Bu noktada su ürünleri tüketiminde tüketici tercihleri ve davranışları ile bunları etkileyen faktörlerin bilinmesi gerekmektedir.

Tüketici davranışları, satın alma noktasında insan davranışları ile ilgilenmekle birlikte tüketicilerin satın alma kararlarında hangi yöntemleri kullandığı, ürün veya hizmeti seçerken ve kullanırken dikkat edilen özellikler ile ürün ve hizmetlere karşı dışsal veya içsel faktörlerle oluşturduğu tutumları kapsamaktadır (Muter, 2002). Tüketici davranışlarının temelinde satın alma davranışları bulunmakta olup bu durum satın alma kararı öncesini ve sonrasını içeren bir süreçtir. Tüketici bu süreçte almak istediği mal ve hizmetlerle ilgili araştırma yapar, sonuçları değerlendirir ve kararını verir. Bu süreç oldukça karmaşık olup kişilere göre farklılık göstermekte ve birçok etkenlere bağlı olarak değişmektedir. Tüketicilerin sosyal çevresi, eğitim düzeyi, mesleği, ekonomik durumu vb. demografik özellikleri diğer fertlerden farklılık gösterebilir ve tüketici tercihlerini etkileyebilir (Anonim, 2018). Sağlıklı beslenme için besin maddeleri seçiminin doğru bir şekilde yapılması gereklidir. Bu noktada sağlıklı beslenme için son derece önemli olan ve tüketilmesi gereken su ürünlerinin de hangi tercihlere göre yapılması gerektiği sorusu akla gelmektedir. Bazı araştırmalarda su ürünleri tüketiminde bireylerin sağlık inançları, duyuşsal özellikler, alışkanlıklar, su ürünleri bilgi düzeyleri vb. konuların etkili oldukları belirtilirken (Carlucci ve ark., 2015; Dursun ve Gümüş, 2023) diğer araştırmalarda ise ürünlerle ilgili unsurlar (doku, tat, koku, kolaylık vb.), bireysel unsurlar (tutum, algı, kişilik, değerler vb.) çevresel ve sosyo-kültürel unsurların (mevsim, bulunabilirlik, kültür vb.) etkili olduğu belirtilmiştir (Thong ve Olsen, 2012; Thong ve Solgaard, 2017; TÜPADEM, 2018).

Balık tüketimi yukarıda açıklanan birçok nedenden dolayı oldukça önemli olmasına karşın, çalışma kapsamına alınan illerde daha önce konu hakkında çalışma yapılmamış olması yöre halkının balık tüketim tercihlerinin belirlenmesini gerekli kılmaktadır. Bu tercihler hem balık tüketim miktarını hem de tüketilen balığın çeşidini etkilemektedir. Kıyı şeridinde yer alan illerde kış mevsiminde yeterince balık arzı olmakla birlikte yaz mevsiminde de kısmen tüketicilerin erişebilecekleri miktarda balık

bulunmasına karşın iç bölgelerdeki illerde özellikle yaz mevsiminde yalnızca tatlı su balığı arzı bulunmaktadır. Bu durum ise bu illerde dört mevsim boyunca yeterince balık tüketilip tüketilmediği sorusunu akla getirmektedir. Bu çalışmanın amacı; kıyı şeridinden uzak iç bölgelerde yer alan Adıyaman ve Iğdır İlleri'nde tüketicilerin su ürünleri tüketim davranışlarını ve tercihlerini etkileyen faktörler, tercih edilen su ürünleri çeşitleri ve tüketim miktarları ile çeşitli faktörler aralarındaki ilişkilerin belirlenmesidir. Böylece bölge halkının daha fazla miktarda su ürünleri tüketmesi için alınması gereken önlemlerin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Kurulan hipotezler

H_0 =Tüketici tercihleri ile balık tüketimi arasında ilişki yoktur.

H_1 = Tüketici tercihleri ile balık tüketimi arasında ilişki vardır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışma, Iğdır Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etik Kurulu tarafından 2022/20 no'lu kararı ile onaylanmıştır.

Adıyaman İli'ne deniz balığı 320 km uzaklıktaki İskenderun ilinden gelirken Iğdır İli'ne 650 km mesafedeki Trabzon İli'nden gelmektedir. Tatlısu balığı temini bakımından Adıyaman'da Atatürk Barajı ve doğusunda Fırat Nehri bulunurken Iğdır'dan Aras Nehri geçmektedir. Her iki ilin iç bölgelerde yer alması bu bölgelerde yaşayanların kıyı şeridi halklarına göre daha az veya yetersiz miktarda su ürünleri tüketip tüketmediklerini akla getirmektedir. Bu sorunun cevaplanabilmesi için araştırma alanı olarak daha önce bu konuda çalışma yapılmayan Adıyaman ve Iğdır seçilmiştir. Çalışmanın ana materyalini bu iki ildeki tüketiciler ile yapılan anketlerden elde edilen veriler oluştururken, konu ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar ve istatistiklerden de yararlanılmıştır.

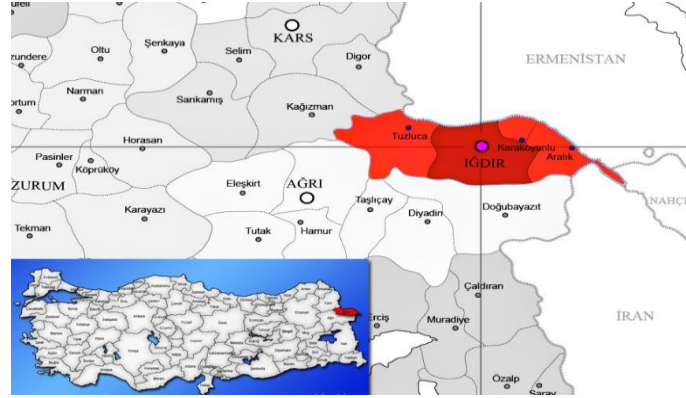
Adıyaman ili Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Fırat Nehri'nin batısında yer almakla birlikte ilin güneyinde Gaziantep ve Şanlıurfa, doğusunda Diyarbakır, batısında Kahramanmaraş, kuzeyinde ise Malatya yer almaktadır. Adıyaman ili $37^{\circ} 45'$ kuzey enlemi $36^{\circ} 16'$ doğu boylamı arasında ve 669 m rakımda yer almaktadır (Anonim, 2020).



Şekil 1. Adıyaman İl Haritası

Iğdır İli Türkiye'nin Doğu sınırında yer almakta olup $39^{\circ} 55'$ kuzey enlemleri ve $44^{\circ} 02'$ doğu boylamları arasında yer almakla birlikte denizden yüksekliği 850 m'dir. Iğdır'ın Kuzey ve Kuzeydoğu sınırında

Ermenistan, Güneydoğu ve Doğu sınırında ise Nahçıvan ve İran yer almaktadır. Ayrıca, Kuzeybatısında Kars, Güney ve Güneybatısında ise Ağrı illeri ile komşudur (Özer ve Karadağ, 2022).



Şekil 2. Iğdır İl Haritası

2023 yılı TÜİK verilerine göre Adıyaman nüfusu 604978 kişi Iğdır nüfusu ise 209738 kişi olup (TÜİK, 2023) araştırmada temsili örnek hacmini hesaplamak için aşağıda formülü verilen “Ana Kitle Oranlarına Dayalı Basit Tesadüfi Olasılık Örnekleme” yöntemi kullanılmıştır (Yamane, 2010).

$$n = \frac{z^2}{e^2} p x q$$

1

n: Örnek hacmi

z: % 95 önem derecesine karşılık gelen standart tablo değeri (1,96)

e: örneklemede kabul edilen hata payı (bu çalışmada % 5’lik hata kabul edilmiştir.) (0,05)

p: Hesaplanması istenen oran (0,5)

q=p-1 (0,5) popülasyonu temsil edecek maksimum örneğe ulaşmak için oran % 50 alınmaktadır

$$n = \frac{1,96^2}{0,05^2} 0,5 x 0,5 = 384$$

Eksik ve hatalı anket yapılma ihtimaline karşı örnek sayısı %10 artırılarak 422 olarak hesaplanmış, Adıyaman ve Iğdır İlleri’nde 2022 yılında 211 adet anket yapıldıktan sonra eksik ve hatalı anketler çıkarılarak her 2 ilde de değerlendirme 200 anket üzerinden yapılmıştır. Anketler kamu özel kurumlarda araştırmacılar tarafından rastgele bireyler üzerinde yapılmıştır. Çalışmada kullanılan cinsiyet, aile birey sayısı, gelir düzeyi, balık tüketiminin faydaları hakkında bilgi sahibi olma durumu, balık tüketim miktarı ve sıklığı, tüketicilerin satın aldığı balığın fiyatı ve satın alma yeri, balık tercih sebebi, balığın tazeliğini anlama şekli, balık alırken dikkat edilen hususlar, su ürünleri tüketilen mevsim, en çok tüketilen su ürünleri ve balık çeşidi, balık pişirme ve tüketme yöntemi ve tüketilen yer değişkenleri kategorik olarak sınıflandırılmıştır. Her iki ildeki değişkenler arasında önemli farklılık bulunmayan değişkenler genel ortalama ile tek grafik ve tablo olarak verilirken önemli farklılık bulunan değişkenler arasında ayrıca karşılaştırma yapılmıştır. Kategorik değişkenler sıralayıcı (ordinal) ya da sınıflayıcı (nominal) kategorik verilerden oluşmaktadır. Tek yönlü olumsuzluk grafiği tek bir değişkenin kategorilerine ilişkin farklı

dağılımları yansıtmaktadır. Farklılığın belirlendiği kategori araştırmasına dayalı Chi-Square analizi aynı zamanda uyum analizi (homogeneity) olarak da adlandırılmaktadır. Uyum analizleri, verilerin (gözlenen sıklıkların) kuramsal bir dağılıma (örneğin normal dağılım) uyum gösterme durumunun belirlenmesinde kullanılabilmesi gibi, tek yönlü olumsuzluk grafiklerinin çözümlenmesinde de kullanılabilir (Terzi ve ark., 2023) ve iki kategorik değişken arasında ilişki olmadığına dair hipotezi (H_0) test etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu istatistik, Karl Pearson tarafından 1900 yılında tanıtılmış olup aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır (Agresti, 2007; Navarro, 2015)

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad 2$$

Burada O_{ij} gözlenen frekansı, E_{ij} ise H_0 altında beklenen frekansı temsil etmektedir. Tüm gözlemler H_0 'a uyduğunda (yani, tüm durumlar için $O_{ij} = E_{ij}$ olduğunda), χ^2 sıfır değerini alır. Gözlenen ve beklenen frekanslar arasındaki büyük farklar, H_0 'a karşı daha güçlü kanıt sağlayarak daha büyük χ^2 değerlerine yol açmaktadır. P değeri, H_0 hipotezi altında, gözlemlenen χ^2 istatistiği kadar veya daha aşırı bir değer şans eseri meydana gelme olasılığıdır. Bu, gözlemlenen değerin üzerindeki Chi-Square dağılımının sağ kuyruk alanını temsil etmektedir. Büyük örneklem boyutları için Chi-Square dağılımına yapılan yaklaşım, N değerleri daha büyük olduğunda iyileşmekte olup genellikle $E_{ij} \geq 5$ olduğunda yeterli kabul edilmektedir (Agresti, 2007).

Beklenen frekansların 5'ten küçük olduğu durumlarda, Chi-Square testinin geçerliliğini ve güvenilirliğini etkileyebileceği göz önünde bulundurularak, alternatif bir test olan Fisher'in kesin testi uygulanabilmektedir. Fisher'in kesin testi, küçük örneklem büyüklükleri ve düşük frekanslar için daha uygun bir analiz yöntemidir ve beklenen frekansların düşük olduğu durumlarda daha doğru sonuçlar vermektedir (McDonald, 2014). Bu çalışmada, beklenen değerler içinde 5'ten küçük değer içeren durumlarda Chi-Square analizi yerine Fisher'in kesin testi tercih edilmiştir.

Chi-Square testi, 2×2 'den büyük matrislerde kullanıldığında, araştırmanın daha ileri götürülmesi gerekebilir. Bu amaçla, Post Hoc Testleri yapılarak tüm olası çiftler için ikili (pairwise) testler uygulanmaktadır. Ancak, bu testlere ait p değerlerinin düzeltilmesi gerekmektedir, çünkü birden fazla karşılaştırma yapılmaktadır (McDonald, 2014). Bu çalışmada, yanlış keşif oranını kontrol altına almak için Benjamini ve Hochberg (1995) tarafından önerilen düzeltilmiş p-değerleri tercih edilmiştir.

Bu yönteme ilave olarak, gözlenen ve beklenen değerler arasındaki hangi tutarsızlıkların şans eseri beklenenden daha büyük olduğunu belirlemek için her hücre için standartlaştırılmış artıklar incelenabilmektedir (Beasley ve Schumacker, 1995). Bu maksatla çalışmamızda, standartlaştırılmış hataları görsel olarak sunan mozaik grafiklerden yararlanılmıştır.

Mozaik grafikte, standartlaştırılmış hata artıklarının mutlak değeri 2'den küçük olan hücreler boş bırakılmıştır; standart sapma değeri 2 ile 4 arasında olan hücreler doldurulmuş ve standart sapma değeri 4 ve üzerinde olan hücreler ise daha koyu bir desenle doldurulmuştur. Standart bir Gauss dağılımından elde edilen standart sapmalar, sırasıyla bağımsızlık varsayımı altında iki kuyruklu olasılıkların yaklaşık

olarak $p < 0,05$ ve $p < 0,01$ olmasına karşılık gelmektedir. Bu değerler belirli bir standart sapma değerinin 2 veya 4'ü aşma olasılığını ifade etmektedir (Friendly, 1994). Gözlenen değer, verilerin rastgele olduğu varsayımı altında beklenen değerden yüksek olduğu hücreler mavi renkte gösterilmiştir. Gözlenen değer, verilerin rastgele olduğu varsayımı altında beklenen değerden düşük olduğu hücreler ise kırmızı renkte gösterilmiştir. Mann-Whitney U testi yaygın olarak bağımsız örneklem T testine alternatif olarak kullanılan nonparametrik testtir (Perme ve Menevski, 2019; Bulut ve ark., 2022). Çalışmada tüketicilerin demografik özellikleri ve su ürünleri tüketim tercihleri ile ilgili frekans tabloları ve % değerlerinin belirlenmesi yanında bu tercihler arasında istatistiki olarak önemli farklılıklar çıkan değişkenler arasında Chi-Square analizi ve Fisher'in kesin testi yanında Mozaik Grafiği yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Yapılan analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

Araştırmaya katılan tüketicilerin cinsiyetleri araştırılmış ve %53,3'ünün kadın ve %46,7'sinin ise erkek olduğu belirlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. İllere Göre Tüketicilerin Cinsiyet ve Sayıları

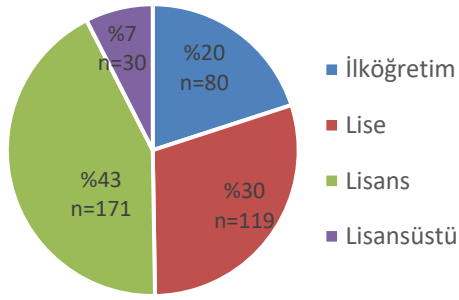
	Kadın	%	Erkek	%
İğdir	113	56,5	87	43,5
Adıyaman	100	50,0	100	50,0
Toplam	213	53,3	187	46,7

Balık eti tüketiminde bulunan bireylerin yaş grupları incelendiğinde 19-25 yaş grubu en fazla pay alırken (%27,5 n=110) en az payı 0-18 yaş grubu (%10,3 n=41) almaktadır (Tablo 2). Deniz (2019), araştırmasında tüketicilerin %20,2'sinin kadın, %79,8'inin erkek olduğunu, Kılıç ve ark. (2019) çalışmalarında katılımcıların %38,08'ini kadın, %61,92'sinin erkek, yaş ortalamasının 32,50 olduğunu belirlemiştir.

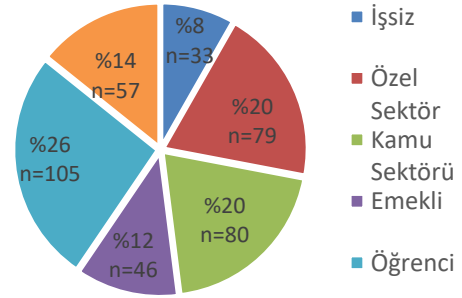
Tablo 2. İllere Göre Tüketicilerin Yaş Grupları ve Sayıları

	0-18	%	19-25	%	26-35	%	36-45	%	46+	%
İğdir	20	10,0	65	32,5	49	24,5	33	16,5	33	16,5
Adıyaman	21	10,5	45	22,5	54	27,0	39	19,5	41	20,5
Toplam	41	10,3	110	27,5	103	25,8	72	18,0	74	18,5

Çalışmaya katılan tüketicilerin yarısının (%50) yüksek öğretim düzeyinde eğitime sahip olduğu diğer yarısının ise ilk ve orta öğretim düzeyinde eğitime sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 3). Anket yapılan bireylerin ne ile meşgul oldukları incelendiğinde en fazla öğrenci (%26), ardından sırasıyla özel sektör (%20) ve kamu sektörü çalışanı (%20), ev hanımı (%14), emekli (%12) ve işsiz (%8) gruplarının geldiği tespit edilmiştir (Şekil 4). Hanede bulunan birey sayısı 1-18 arasında değişmekle beraber ortalama 4,75 birey olduğu belirlenmiş olup bu miktar Türkiye ortalama aile nüfusunun (3,14 birey) üzerindedir (TÜİK, 2023).



Şekil 3. Eğitim Seviyesi



Şekil 4. Gelir Kaynakları

Hane halkı aylık gelir bakımından en fazla yüzdeleri payı 0-3000 TL (%31, n=124) aylık gelire sahip tüketici grubu alırken aylık 20000 TL üzeri gelire sahip tüketiciler %18,8'lik pay almaktadır (Tablo 3). Erdoğan, (2013) Afyonkarahisar'da hanelerdeki aylık ortalama geliri 3000±1009 TL, Deniz (2019) Kayseri'de ailelerdeki birey sayısını 4,2 ortalama geliri 3399 TL ve %31'inin ilköğretim, %28'inin lise ve %36'sının üniversite mezunu olduğunu ayrıca %9'unun serbest meslek, %10'unun emekli, %21'inin işçi ve %31'inin memur olduğunu, Kılıç ve ark. (2019) Ardahan'da tüketicilerin ortalama aylık gelirlerinin 1862 TL olduğunu tespit etmişlerdir.

Tablo 3. İllere Göre Tüketicilerin Hane Halkı Aylık Gelir Düzeyleri

	0-3000	%	3001-6000	%	6001-10000	%	10001-15000	%	15001-20000	%	20000+	%
Iğdır	63	31,5	21	10,5	19	9,5	32	16,0	30	15,0	35	17,5
Adıyaman	61	30,5	36	18,0	31	15,5	20	10,0	12	6,0	40	20,0
Toplam	124	31,0	57	14,2	50	12,5	52	13,0	42	10,5	75	18,8

Çalışmaya katılan bireylerin %53'ü (n=212) daha çok tavuk eti, %34'ü (n=136) daha çok kırmızı et ve %8,5'i (n=36) ise daha çok balık eti tüketmektedirler (Tablo 4). Çolakoğlu ve ark. (2006) Çanakkale İli'nde tüketicilerin beyaz eti birinci sırada (%47,50) balık etini ikinci sırada (%29,85), kırmızı eti ise üçüncü sırada (%22,05) tükettiklerini, Abikoğlu ve ark. (2015) Tekirdağ İli'nde tüketicilerin kırmızı et tüketim oranını %37,93, tavuk eti tüketim oranını %34,82 ve balık tüketim oranı %27,25 olarak hesaplarlarken, Deniz (2019), Kayseri'de tüketicilerin et tercih sıralamasında %53,1 ile kırmızı et, %35,8 beyaz et ve %11,1 balık tercih edildiğini, Kılıç ve ark. (2019) Ardahan'da tüketicilerin %21,98'inin balık eti, %18,73'ünün tavuk eti, %17,62'si dana eti, %13,52'sinin kaz eti, %13,34'ünün koyun eti tercih ettiğini belirlemişlerdir.

Tablo 4. İllere Göre Daha Çok Tüketilen Et Çeşidi

	Balık eti	%	Kırmızı et	%	Tavuk eti	%	Kabuklu	%	Hiçbiri	%
Iğdır	12	6,0	48	24,0	138	69,0	1	0,5	1	0,5
Adıyaman	22	11,0	88	44,0	74	37,0	3	1,5	13	6,5
Toplam	34	8,5	136	34,0	212	53,0	4	1,0	14	3,5

Fisher'in kesin testi sonuçları aşağıda verilmiştir.

Yapılan Fisher'in kesin testi sonucunda elde edilen p-değeri (0,0005), genel olarak kabul edilen %5 anlamlılık seviyesinin altındadır. Bu nedenle, null hipotez (H_0) reddedilmiştir.

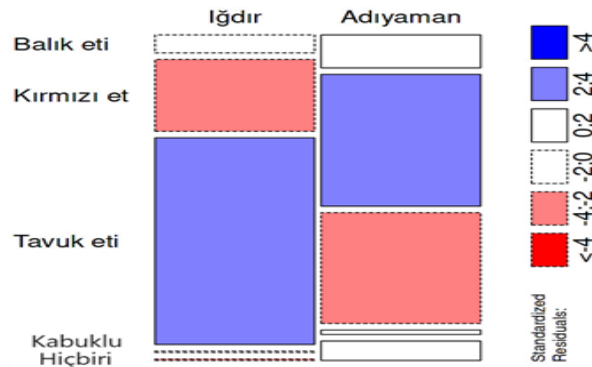
Bu sonuca göre, Iğdır ve Adıyaman İlleri'ndeki tüketicilerin et tüketim tercihleri arasında anlamlı bir fark vardır. Bu, yaşanan il ile et tüketim tercihlerinin birbirinden bağımsız olmadığı ve yaşanan ille bağlı olarak belirli et türlerinin diğerlerine göre daha fazla tercih edildiği anlamına gelmektedir.

Tablo 5. İllere Göre Daha Çok Tüketilen Et Çeşidi Post Hoc Analizi

Iğdır:Adı yaman	B.eti:Kır mızı et	B.eti:Ta vuk eti	B.eti:K abuklu	B.eti:Hi çbiri	Kır. et: Tav. eti	Kırmızı		Tav.eti:Ka buklu	Tav.eti:H içbiri	Kabuklu: Hiçbiri
						et:Kabukl u	et:Hiçbiri			
p	1	0,0041	1	0,1467	0	1	0,0911	0,2177	0,0001	0,5789

Yapılan Post Hoc analiz sonuçlarına göre, p-değerleri 0,05'in altında olan karşılaştırmalar anlamlıdır. Buna göre: Iğdır ve Adıyaman illeri arasında öncelikli et tercihi olarak balık eti ve tavuk eti tüketenlerin oranları açısından anlamlı bir fark vardır ($p = 0,0041$), kırmızı et ve tavuk eti tüketenlerin oranları açısından anlamlı bir fark vardır ($p = 0,0000$), öncelikli et tercihi olarak tavuk eti tüketenler ile hiçbir et türü tüketmeyenlerin oranları açısından anlamlı bir fark vardır ($p = 0,0001$) (Tablo 5).

Post hoc analizde anlamlı bulunan bu karşılaştırmalar, Iğdır ve Adıyaman İlleri'ndeki et tüketim tercihlerinin belirli et türleri arasında farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular; il bazında et tüketim tercihleri hakkında önemli ipuçları sunmaktadır ve bu tür farklılıkların nedenlerinin daha detaylı araştırılması gerekebilir.



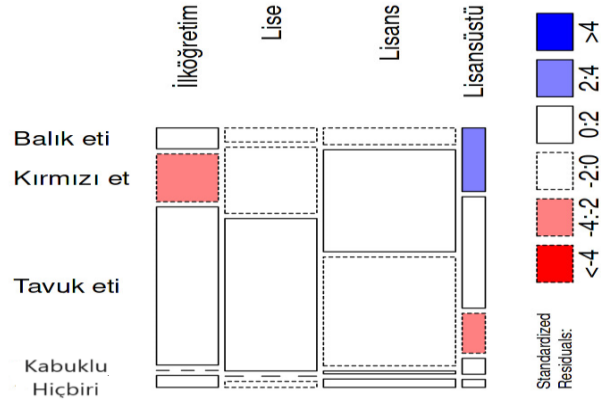
Grafik 1. İllere Göre Daha Çok Tüketilen Et Çeşidi Mozaik Grafiği

Mozaik Grafiğine göre (Grafik 1), kırmızı etin Iğdır İli'nde tüketiminin az, Adıyaman ilinde fazla olduğu; tavuk etinin ise Iğdır İli'nde tüketiminin fazla, Adıyaman'da az olduğu görülmüştür.

Tablo 6. Eğitim Seviyesi ve Daha Çok Tüketilen Et Çeşidi Post Hoc Analizi

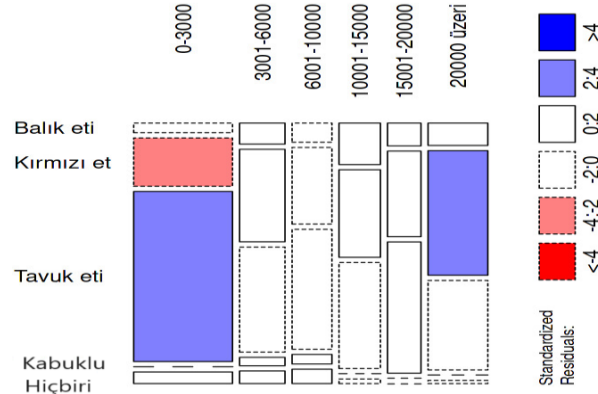
	Balık eti: Kırmızı et	Balık eti: Balık eti: Tavuk eti	Balık eti: Kabuklu	Balık eti: Hiçbiri	Kırmızı et: Tavuk eti	Kırmızı		Tavuk eti: Kabuklu	Tavuk eti: Hiçbiri	Kabuklu : Hiçbiri
						et: Kabuklu	et: Hiçbiri			
İlköğretim:Lise	0,8	0,8315	1	1	0,8	1	0,7378	1	0,8	1
İlköğretim:Lisans	0,4714	1	0,8	1	0,0047	1	0,4714	0,8	1	0,8
İlköğretim:Lisansüstü	1	0,0047	0,8	0,8	0,0025	0,8	0,8	0,0791	0,8	0,4762
Lise:Lisans	0,8439	0,8	0,8	1	0,041	1	1	0,8	0,8	1
Lise:Lisansüstü	0,4714	0,0025	0,8	0,8315	0,0053	0,471	1	0,0463	0,7738	0,8
Lisans:Lisansüstü	0,1696	0,0047	1	0,8	0,2525	0,4762	1	0,1696	0,8	0,8

Eğitim seviyeleri ile daha çok tüketilen et çeşitleri arasında anlamlı ilişki bulunan çiftler 0,05 ten küçük p değerine sahip olan eğitim seviyesi ve et çeşitleridir (Tablo 6).



Grafik 2. Eğitim Düzeyine Göre Daha Çok Tüketilen Et Çeşitidi Mozaik Grafiği

Mozaik Grafik (Grafik 2) analizi, ilköğretim seviyesinde eğitim alan bireylerin kırmızı et tüketme alışkanlığının az, lisans üstü seviyesinde ise balık eti tüketimi fazla iken tavuk eti tüketiminin az olduğu eğilimine işaret etmektedir. Elde edilen bulgular, eğitim seviyesinin et tüketim tercihlerini etkileyebileceğini göstermektedir.

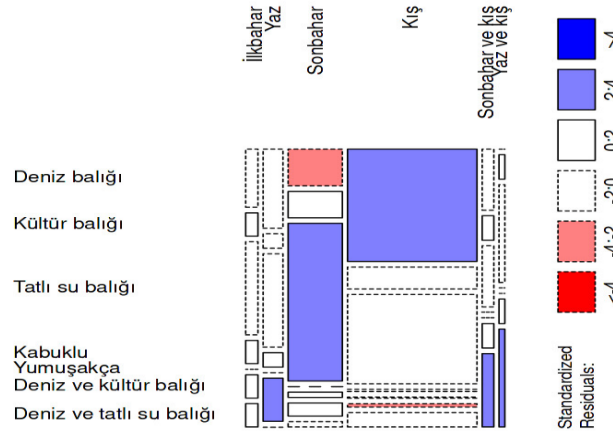


Grafik 3. Gelir Düzeyine Göre Daha Çok Tüketilen Et Çeşitidi Mozaik Grafiği

Mozaik Grafiği 3'e göre, 0-3000 TL aylık gelire sahip tüketicilerin kırmızı et taleplerinin beklenen değerden az, tavuk eti tüketim taleplerinin ise yüksek olduğu; 20000 TL ve üzeri gelire sahip tüketicilerin kırmızı et tüketim taleplerinin beklenen değerden yüksek olduğu anlaşılmıştır (Grafik 3).

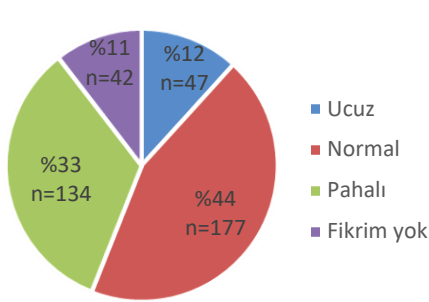
Tablo 7. Mevsime Göre Daha Çok Tüketilen Balık Çeşitidi Post Hoc Analizi

Mevsim	Balık Çeşitidi	P
Yaz:Kış	Tatlı su balığı:Deniz ve kültür balığı	0,0443
Yaz:Kış	Deniz ve kültür balığı:Deniz ve tatlı su balığı	0,0443
Yaz:Yaz ve kış	Deniz balığı:Deniz ve tatlı su balığı	0,0443
Sonbahar:Yaz ve kış	Tatlı su balığı:Deniz ve tatlı su balığı	0,0443
Kış:Yaz ve kış	Deniz balığı:Deniz ve tatlı su balığı	0,0236
Yaz:Kış	Deniz balığı:Deniz ve kültür balığı	0,0209
Sonbahar:Sonbahar ve kış	Tatlı su balığı:Deniz ve tatlı su balığı	0,0105
Sonbahar:Kış	Deniz balığı:Tatlı su balığı	0

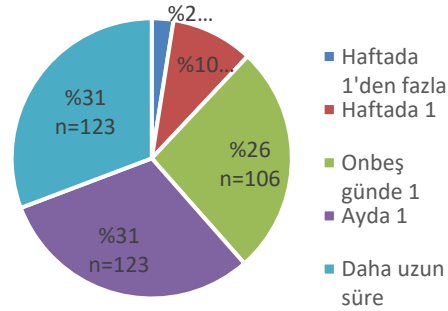


Grafik 4. Mevsime Göre Daha Çok Tüketilen Balık Çeşidi Mozaik Grafiği

Mozaik Grafik 4, yaz döneminde deniz ve kültür balığının, sonbahar döneminde tatlı su balığının, kış döneminde deniz balığının, yılın ikinci döneminde deniz ve tatlı su balığının, yılın ilk altı aylık döneminde ise deniz ve tatlı su balığının tüketiminin beklenen değerlerinden anlamlı şekilde yüksek olduğunu; sonbahar dönemi için deniz balığının ve kış dönemi için deniz ve kültür balığının tüketiminin beklenen değerden anlamlı şekilde düşük olduğunu göstermiştir.

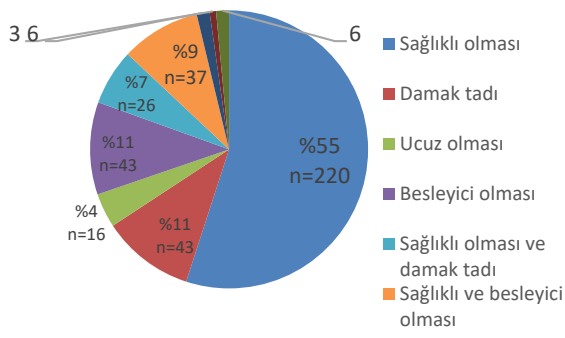


Şekil 5. Diğer Etlere Göre Balık Fiyatı

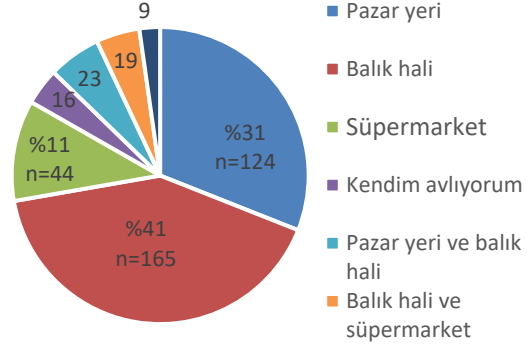


Şekil 6. Balık Tüketim Sıklığı

Balık fiyatları ile diğer et fiyatları karşılaştırıldığında üreticilerin %44'ü balık fiyatlarının normal olduğunu, %33'ü pahalı olduğunu, %12'si ucuz olduğunu beyan etmiştir (Şekil 5). Balık tüketim sıklığı incelendiğinde haftada 1 veya daha sık balık tüketenler tüm katılımcıların %12'sini (n=48), on beş günde 1 defa balık tüketenler %26'sını (n=106) ve ayda 1 veya daha seyrek sürede balık tüketenler %62'sini (n=246) oluşturmaktadır (Şekil 6). Abikoğlu ve ark. (2015) Tekirdağ İlinde ortalama balık tüketim sıklığının %60,61 oranında 15 günde bir olduğunu, Tolon ve Elbek (2016), İzmir, Adana ve Ankara illerindeki tüketicilerin %6'sının hiç su ürünleri tüketmediği, %25'inin ayda bir, %28'inin iki haftada bir, %42'sinin ise haftada bir ve daha fazla su ürünleri tükettiğini, Özbay ve Özoğul (2020) Elazığ'da tüketicilerin % 28'inin ayda bir, % 25'inin on beş günde bir, % 25'inin yılda bir/birkaç kez, %16'sının haftada bir, balık tükettiğini, Küçük ve ark. (2022) Osmaniye'de tüketicilerin % 49,3'ünün ayda 2-4 defa su ürünlerini tükettiklerini belirlemişlerdir.

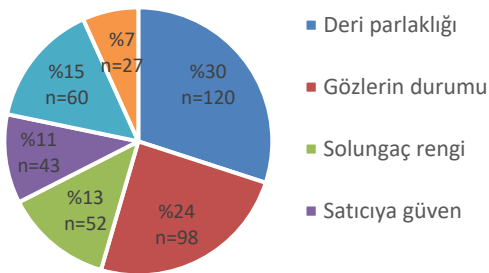


Şekil 7. Balık Tercih Sebebi

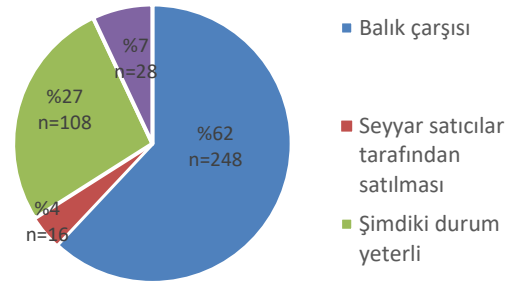


Şekil 8. Balık Satın Alma Yeri

Ankete katılan tüketicilerin %55'i (n=220) sağlıklı olduğu için ve %22'si (n=86) ise damak tadı ve besleyici olmasından dolayı balık tercih ettiklerini belirtmişlerdir (Şekil 7). Balığın nereden alındığı sorusuna ise %41'i (n=165) balık halinden, %31'i (n=124) pazar yerinden ve %11'i (n=44) ise süpermarketten balık aldıkları yanıtını vermişlerdir (Şekil 8). Tolon ve Elbek (2016) İzmir, Adana ve Ankara illerindeki tüketicilerin %71'inin balık tercih sebebini sağlığa olumlu etkileri ve lezzetinden dolayı, Deniz (2019), Kayseri'de balık tercih edenlerin %47,3'ü çok lezzetli olması ve %43,5'i besin değerinin yüksek olmasından dolayı, Kılıç ve ark. (2019), Ardahan'da halkın %45,03'ünün sağlıklı olmasından dolayı, Küçük ve ark. (2022) Osmaniye'de halkın %70'inin lezzetli ve besleyici olmasından dolayı balık tercih edildiğini belirtmişlerdir. Aydın ve Karadurmuş (2013) Ankara'da tüketicilerin %51,3 ile yarısından fazlasının balığı balık satış yerinden (balıkçılardan) alırken, %31,1'inin marketlerden, %15,2'sinin balık halinden aldığını, Abikoğlu ve ark. (2015) Tekirdağ İlinde tüketicilerin %54,51'i balığı öncelikli olarak balıkçıyı tercih ettiklerini ve %72'sinin sağlıklı olduğu için balık tükettiklerini, Küçük ve ark. (2022) Osmaniye ilinde tüketicilerin %64,7'sinin balık halinden balık aldıklarını, Balaban (2023), Bursa ilinde tüketicilerin %58,9'unun balığı semt ve mahalle pazarından almayı tercih ettiklerini belirtmiştir.



Şekil 9. Balığın Tazeliğini Anlama Şekli

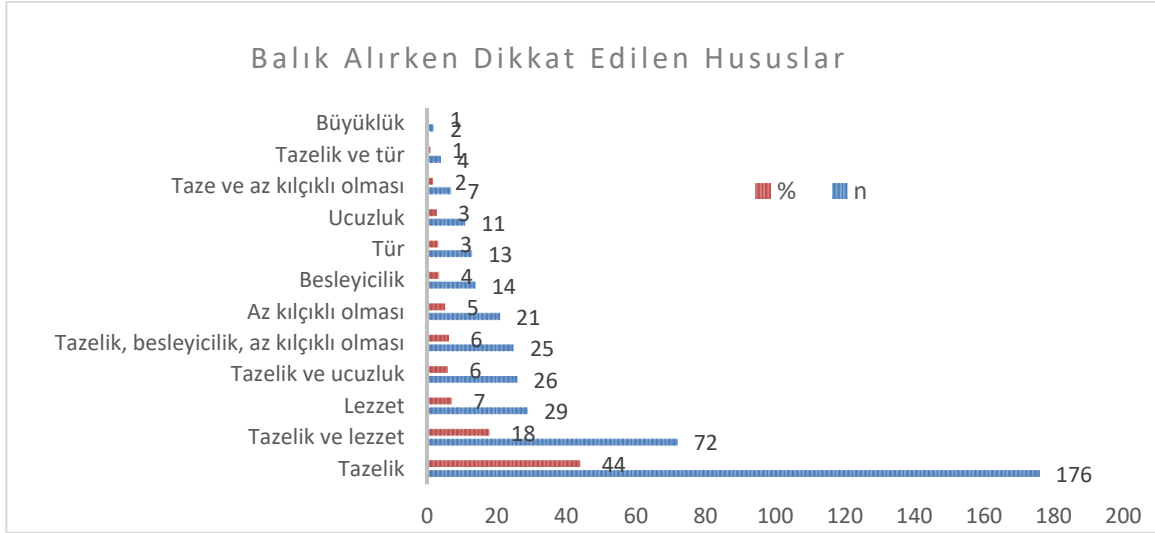


Şekil 10. Balık Satış Şekli Talebi

Çalışmaya katılan tüketicilerin %69'u deri parlaklığı ve gözlerin durumuna bakarak balığın taze olup olmadığına karar vermektedir. Balaban (2023) Bursa ilindeki tüketicilerin %27'sinin balığın tazeliğini anlamak için solungaçlarının kırmızı olmasına, %23'ünün ise gözlerinin parlak olmasına dikkat ettiklerini bildirmiştir. Diğer taraftan balık satış şeklinin balık çarşısında olması gerektiğini belirtenler

çalışmaya katılanların %62'sini oluşturduğundan bölgede tüketicilerin balık alabilecekleri balık çarşısı kurulması önerilebilir.

Balık alırken dikkat edilen hususlar incelenmiş olup tüketicilerin %44'ü (n=176) yalnızca taze olup olmamasına göre, %18'i (n=72) tazelik ve lezzet, %7'si (n=29) yalnızca lezzet ve %6'sı ise tazelik ve ucuz olmasına bakarak balık almaya karar verdikleri tespit edilmiştir (Şekil 11).

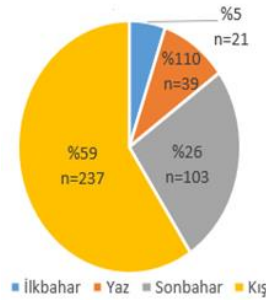


Şekil 11. Balık Alırken Dikkat Edilen Hususlar

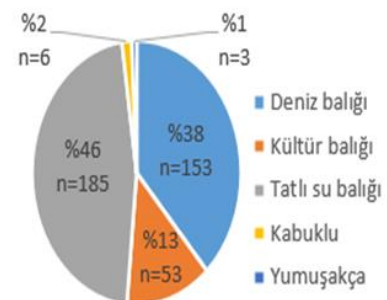
Tüketicilerin balıkların bayat olup olmadığını anlama şekilleri değerlendirilmiş ve %37'si (n=147) gözlerin donuk ve mat olduğunu, %34'ü (n=137) derini parlak olmadığını ve diğerleri (%29 n=116) solungaçlar, deri ve gözlerin renginin birlikte donuk ve mat olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 12). Su ürünleri en fazla kış mevsiminde tüketilmekte (%59, n=237), en çok tüketilen su ürünleri ise tatlı su balığı (%46 n=185) ve deniz balığı (%38 n=153) olarak belirlenmiştir (Şekil 14).



Şekil 12. Bayat Balığı Anlama Şekli



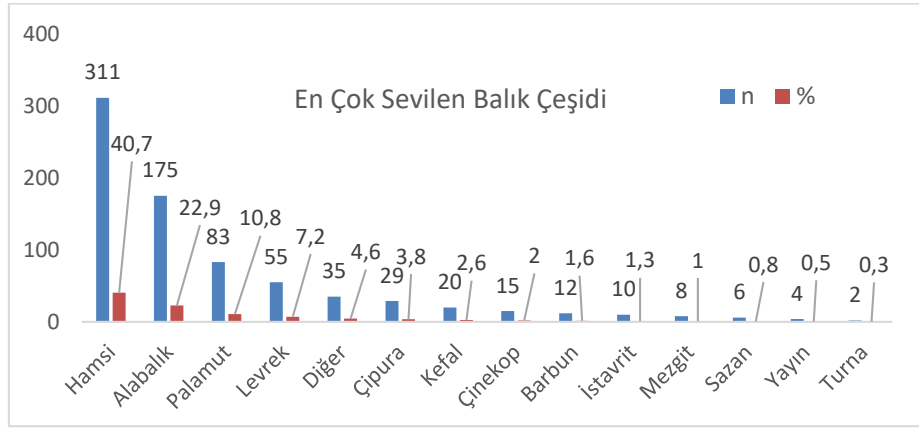
Şekil 13. Su Ürünleri Tüketilen Mevsim



Şekil 14. En Çok Tüketilen Su Ürünleri

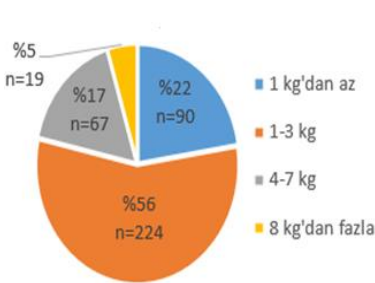
Kılıç ve ark. (2019) Ardahan'da tüketicilerin %76'sının balık dışında su ürünleri tüketmediğini, Özbay ve Özoğul (2020) Elazığ'da en çok su ürünleri tüketilen mevsimin; %56,5 kış, %26,8 hepsi, %8,2 sonbahar, %4,2 yaz, %2,3 ilkbahar olduğunu, Küçük ve ark. (2022) Osmaniye İli'nde tüketicilerin ilk

sırada deniz balıklarının (%86) ve sonbahar mevsiminde (%39) tüketmeyi tercih ettiklerini, Balaban (2023), Bursa ilindeki tüketicilerin en fazla (%62) deniz balığı tercih ettiklerini belirlemiştir.

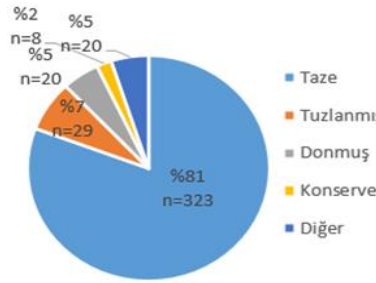


Şekil 15. En Çok Tüketilen Balık Çeşidi

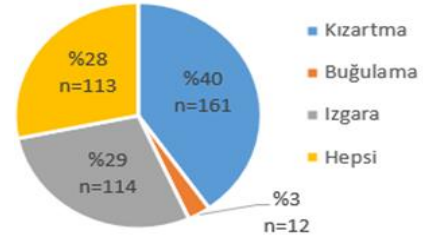
Ankete katılan bireylerin en fazla tükettikleri balık çeşidi belirlenmeye çalışılmış ve %42,8'inin (n=171) en fazla hamsi, %23,8'inin (n=95) alabalık, %9'unun (n=36) palamut ve %5,8'inin (n=23) levrek tükettikleri tespit edilmiştir (Şekil 15). Kılıç ve ark. (2019), Ardahan'da tatlı su balıklarından en çok tercih edilen türün alabalık (%75,22), deniz balıklarında ise hamsi (%48,57) olduğunu, Özbay ve Özoğul (2020) Elazığ'da tüketicilerin en çok tükettikleri balık türlerinin %31,4 hamsi, %31,4 alabalık, %10,8 istavrit, %7,8 levrek, %6,9 sazan, %5,2 çipura, %4,6 palamut olduğunu, Balaban (2023), Bursa'da en çok tüketilen balık türünün %39,4 ile hamsi ve %18,05 ile levrek olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 16. Ailenin Balık Tüketim Miktarı



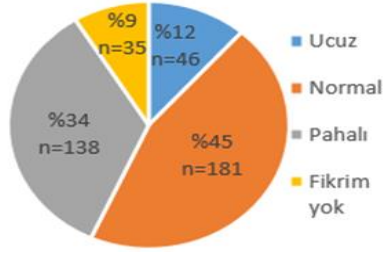
Şekil 17. Balık Tüketme Biçimi



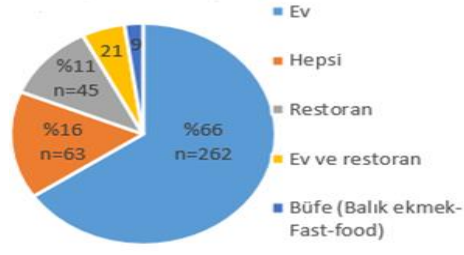
Şekil 18. Balık Pişirme Yöntemi

Tüketicilerin %56'sı (n=224) aylık 1-3 kg arasında balık tüketirken, %22'si (n=90) 1kg'dan az, %17'si (n=67) 4-7 kg ve %5'i (n=19) 8 kg'dan fazla balık tüketmektedir (Şekil 16). Katılımcıların %81'i (n=323) balığı taze olarak tüketirken (Şekil 17), pişirme yöntemi tercihinde ise tüketicilerin %40'ı (n=161) balığı kızartma şeklinde, %29'u (n=114) ızgara, %3'ü buğulama ve %28'i (n=113) karışık şekilde pişirerek tüketmektedirler (Şekil 18). Çolakoğlu ve ark. (2006) Çanakkale İli'nde tüketicilerin %65'inin balığı taze olarak tükettiği, tüketim şekli olarak da kızartma (%45,73) veya ızgara (%39,08) tercih ettiğini, ailelerin aylık tükettikleri balık miktarını 1-6 kg (%87,46), Hatırlı ve ark. (2004) Isparta'da 3,78 kg, Gül Yavuz ve ark. (2015), Ankara'da 3,4 kg, kişi başına yıllık balık tüketimi Elbek ve ark. (1997) 26,3 kg, Adıgüzel ve ark. (2009) Tokat'ta 14,71 kg, Aydın ve Karadurmuş (2013) Trabzon ve Giresun Bölgeleri'nde 22-43 kg, Erdoğan (2013), 9,42 kg, Çiçek ve ark. (2014), Elazığ'da 3,3 kg,

Deniz (2019) 5,6 kg/yıl olarak tespit etmişlerdir. Ayrıca en fazla (%40) kızartma ve ızgara (%29) şeklinde balık pişirildiği belirlenmiştir (Şekil 18).



Şekil 19. Balık Fiyatları Görüşü



Şekil 20. Balık Tüketilen Yer

Katılımcıların %45'i (n=181) balık fiyatlarının normal ve %34'ü (n=138) pahalı olduğunu belirtirken %66'sı (n=262) büfelerde balık ekmek şeklinde balık tükettiklerini belirtmişlerdir. Ankete katılan tüketicilerin %58'i yeterli miktar ve çeşitte taze balık bulamadıklarını belirtmişlerdir. Tüketicilere yeterli miktarda ve çeşitte balık temin edilmesi sağlanması amacıyla gerekli tedbirler alınmalı üretim planlamaları yapılmalıdır. Bu kapsamda iç su balık yetiştiriciliğine verilen destekler artırılmalı, düşük faizli kredi temini yanında girdi desteği ve hibe programları ile tesis desteği sağlanmalıdır.

Tablo 8. En Çok Tüketilen Balık Çeşidi (kg)

		En çok tüketilen balık													Chi-Square	P-value	
		Hamsi	Kefal	Çinekop	Palamut	Levrek	Alabalık	Mezgit	Barbun	Çipura	İstavrit	Sazan	Turna	Diğer			Toplam
İl	Iğdır	128	4	3	21	5	21	0	0	8	2	3	2	3	200	97,232	0,000
	Adıyaman	43	9	5	15	18	74	2	3	13	1	1	2	14	200		
	Toplam	171	13	8	36	23	95	2	3	21	3	4	4	17	400		

(*p<0.00)

Yapılan Chi-Square testi sonucunda balık tüketim miktarı açısından iller arasında önemli derecede fark bulunamazken iller ve tüketilen balık çeşidi arasında önemli derecede fark belirlenmiş olup Iğdır'da daha çok hamsi, Adıyaman'da daha çok alabalık tüketildiği belirlenmiştir.

Tablo 9. Balık Eti Faydası ile Balık Tüketim Miktarı İlişkisi

		Ailenin aylık balık tüketim miktarı				Toplam	Chi-Square	p-value
		1 kg'dan az	1-3 kg	4-7 kg	8 kg'dan fazla			
Balıkentinin faydaları hakkında bilginiz var mı?	Evet	37	148	40	14	239	18,257	0,000*
	Hayır	53	76	27	5	161		
Toplam		90	224	67	19	400		

(*p<0.00)

Chi-Square testi sonucunda balık tüketiminin faydaları hakkında bilgi sahibi olma durumuna göre ailelerin aylık balık tüketim miktarları arasında önemli derecede fark olduğu belirlenmiştir. Balık tüketiminin faydaları hakkında bilgi sahibi olanlar diğerlerine göre daha fazla balık tüketmektedirler

(Tablo 9). Bu bağlamda balık tüketiminin artırılması için ilgili kurumlar tarafından afiş, broşür, televizyon programları vb. ile balığın faydaları hakkında yeterli bilgilendirme yapılmalıdır.

Tablo 10. Balık Eti Faydası ile İller arasındaki İlişki

		Balık etinin faydaları hakkında bilginiz			Chi-Square	p-value
		var mı				
		Evet	Hayır	Toplam		
İl	Iğdır	153	47	200	46,664	0,000*
	Adıyaman	86	114	200		
Toplam		239	161	400		

(*p<0.00)

Tablo 10'da görüldüğü üzere yapılan Chi-Square testi sonucunda Iğdır'da bulunan tüketiciler Adıyaman'da bulunanlara göre balık etinin faydaları hakkında önemli derecede farklı olacak şekilde daha fazla bilgiye sahiptirler.

4. Sonuç

Çalışma sonucunda tüketici tercihleri ile balık tüketimi arasında ilişki olduğu belirlendiğinden H₀ Hipotezi reddedilmiştir. Adıyaman ve Iğdır İlleri'ndeki demografik verilere göre tüketicilerin yarısını kadınlar ve 19-35 yaş grubu bireyler oluştururken bu bireylerin yükseköğretim düzeyinde eğitime sahip oldukları belirlenmiştir. Her iki ilde bulunan tüketicilerin su ürünleri tüketim tercihleri ve bu tercihleri etkileyen faktörler arasında önemli derecede farklılık belirlenememiş olup tüketicilerin demografik özellikleri ile su ürünleri tüketimini etkileyen faktörler birbirine yakındır. Benzer şekilde balık tercih sebepleri, tüketim şekilleri, mevsimleri ve miktarları arasında anlamlı derecede fark bulunmamıştır. Iğdır ve Adıyaman İlleri'ndeki et tüketim tercihleri belirli et türleri arasında farklılık göstermekte ve Iğdır İli'nde daha çok tavuk eti tüketilirken Adıyaman'da ise daha çok kırmızı et tüketilmekte ve genel olarak tüketicilerin %86'sı tavuk eti ve kırmızı et tüketirken, %60'ı ayda bir defa veya daha uzun sürede balık tüketmektedirler. Bu durum her iki ilde de tüketicilerin yeterli miktarda ve çeşitte taze balık tüketmediklerini ve balık yemenin sağlık açısından faydalarını yeterince bilmediklerini göstermektedir. Sağlıklı yaşamın sürdürülebilmesi için daha fazla su ürünleri tüketimi gereklidir. Eğitim seviyesinin artmasına paralel olarak daha fazla balık tüketilmesi eğitimin sağlıklı beslenmedeki önemini ortaya koymaktadır. Yalnızca kış mevsimi yerine yıl boyunca yeterli miktar ve çeşitte balık tüketimi sağlayabilmek için bölge halkına broşür, afiş, reklam vb. ile balık tüketmenin sağlık açısından faydaları öğretilmeli, balık avının yasak olduğu yaz aylarında da yeterince balık arzı sağlanabilmesi için balık üretim planlarının yapılması gereklidir. Bu kapsamda tatlı su balık yetiştiriciliği desteklenmesi ve özellikle yaz mevsiminde tatlı su balık arzının artırılması sağlanmalıdır. Ayrıca tüketicilerin %62'sinin balık çarşısı kurulmasını istemeleri göstermektedir ki bölgede balık satışının yapılacağı balık çarşısının oluşturulması, tüketicilerin yeterli miktarda ve çeşitte balık almalarını sağlamaları açısından önem arz etmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Abikoğlu DA., Azabaoğlu MÖ., Unakıtan G. Tekirdağ ilinde balık tüketim eğilimlerinin belirlenmesi. *Balkan and Near Eastern Journal of Social Sciences* 2015; 1(1): 69-75.
- Adıgüzel F., Sayılı M., Oruç Büyükbay E. Tokat ili Almus ilçesinde ailelerin balık tüketim durumları. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2009; 26(2): 35-43.
- Agresti A. An introduction to categorical data analysis. 2th ed. Hoboken; NJ: John Wiley & Sons; 2007.
- Anonim. Tüketicisi profili ve bilinç düzeyi araştırma raporu. Türkiye Tüketicisinin korunması ve Piyasa Gözetimi Genel Müdürlüğü. Ankara. Kakan Matbaacılık. <https://ticaret.gov.tr/data/5cca9f5c13b8760c08096092/17-12-2018%20tuketici%20baski.pdf> (Erişim Tarihi: 29.11.2023). 2018.
- Anonim. T. C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. İpekyolu Kalkınma Ajansı. <https://www.ika.org.tr/bolgemiz/adiyaman/nufus> (Erişim Tarihi: 12.10.2023). 2020.
- Aydın M., Karadurmuş U. Trabzon ve Giresun bölgelerindeki su ürünleri tüketim alışkanlıkları. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi* 2013; 3(9): 57-71.
- Balaban BD. Bursa Bölgesindeki tüketicilerin su ürünleri tüketim alışkanlıklarının araştırılması. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:55, Bursa, Türkiye, 2023.
- Beasley TM., Randall ES. Multiple regression approach to analyzing contingency tables: post hoc and planned comparison procedures. *The Journal of Experimental Education* 1995; 64(1): 79-93. <https://doi.org/10.1080/00220973.1995.9943797>
- Benjamini Y., Hochberg Y. Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society* 1995; Series B, (57): 289-300.
- Bulut OD., Çelik Kaysim Z., Karadaş K. Determination of consumers' fresh fruit and vegetable (ffv) purchasing preferences during the covid-19 pandemic period: The case of Turkey. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2022; 59(4): 567-577.
- Binici A., Kurtkaya G. Soğukta depolama yöntemlerinin su ürünleri kalitesine etkileri. *Bilim ve Gençlik Dergisi* 2014; 2(2): 23-40.
- Carlucci D., Nocella G., De Devitiis B., Viscicchia R., Bimbo F., Nardone G. Consumer purchasing behaviour towards fish and seafood products. patterns and insights from a sample of international studies. *Appetite* 2015; 84: 212-227.
- Çiçek E., Akgün H. İlhan S. Elâzığ ili balık eti tüketim alışkanlığı ve tercihinin belirlenmesi. *Yunus Araştırma Bülteni* 2014; (1): 3-11.

- Çolakoğlu FA., İsmen A., Özcan Ö., Çakır F., Yığın Ç., Ormancı HB. Çanakkale ilindeki su ürünleri tüketim davranışlarının değerlendirilmesi. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 2006; 23(1-3): 387-392.
- Deniz B. Kayseri ilinde balık tüketimi ve tüketici tercihlerinin araştırılması. Erciyes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:71, Kayseri, Türkiye, 2019.
- Djoussé L., Akinkuolie AO., Wu JH., Din EL., Gaziano JM. Fish consumption, omega-3 fatty acids and risk of heart failure: a meta-analysis. *Clinical Nutrition* 2012; 31(6): 846-853.
- Dursun F., Gümüş B. Su ürünleri tüketimini ve tüketici davranışlarını etkileyen faktörler. *Aydın Gastronomy* 2023; 7(1): 145-159.
- Elbek AG., İşgören Emiroğlu D., Saygı H. Balık tüketimi ve tüketime yönelik sorvey. Akdeniz Balıkçılık Kongresi, 9-11 Nisan 1997, sayfa no:431-439: İzmir,
- Erdoğan N. Hayvansal gıdaların tüketim düzeyi ve tüketici tercihlerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. Afyon Kocatepe Üniversitesi personeli örneği. Afyon Kocatepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:75, Afyonkarahisar, Türkiye, 2013.
- FAO. The state of world fisheries and aquaculture. meeting the sustainable development goals. food and agriculture organization of the united nations, Rome; 2018.
- Friendly M. Mosaic displays for multi-way contingency tables. *Journal of the American Statistical Association* 1994; 89(425): 190-200.
- Gül Yavuz G., Yasan Ataseven Z., Gül U., Gülaç NZ. Su ürünleri tüketiminde tüketici tercihlerini etkileyen faktörler: Ankara ili örneği. *Yunus Araştırma Bülteni* 2015; (1): 73-82.
- Hatırlı SA., Demircan V., Aktas AR. Isparta ilinde ailelerin balık tüketiminin analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 2004; 9(1): 245-256.
- Kearney J. Gıda tüketimi eğilimleri ve etkenleri. *Royal society b'nin felsefi işlemleri. Biyolojik Bilimler* 2010; 365(1554): 2793-2807.
- Kılıç E., Soylu M., Uzmanoğlu MS. Determination of consumption habits of aquatic products in Ardahan province. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology* 2019; 7(7): 028-1039.
- Küçük H., Çelil K., Kadak AE., Küçükgülmez A., Ünal HM., Bozkurt Z. Altunbaş E. Osmaniye ilinde su ürünleri tüketim alışkanlıklarının anket çalışması ile belirlenmesi. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi* 2022; 8(1): 39-49.
- McDonald JH. Fisher's exact test of independence. in *handbook of biological statistics*. 3th ed. Sparky House Publishing; 2014. <http://www.biostathandbook.com/fishers.html> (Erişim Tarihi: 15.10.2023). 2014.
- Muter C. Bilinçaltı Reklamcılık (Bilinçaltı reklam mesajlarının tüketiciler üzerindeki etkileri). Ege Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:159, İzmir, Türkiye, 2002.
- Navarro Danielle. *Learning statistics with r: a tutorial for psychology students and other beginners (Version 0.6)*. <https://learningstatisticswithr.com/> (Erişim Tarihi: 12.12.2023). 2015.

- Nesheim MC., Yaktine AL. Seafood choices. balancing benefits and risks. Washington. The National Academies Press; 2007.
- Özbay Ö., Özoğul F. Elazığ ili su ürünleri tüketim alışkanlıklarının belirlenmesi. Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 2020; 39(2): 114-123.
- Özger Ö., Karadağ K. Determination of buffalo milk production cost: the case of Iğdır province. Journal of Animal Production 2022; 63(2): 91-96.
- Perme MP, Manevski D. Confidence intervals for the mann-whitney test. Statistical Methods in Medical Research 2019; 28(12): 3755-3768.
- Sidhu KS. Health benefits and potential risks related to consumption of fish or fish oil. Regulatory Toxicology and Pharmacology 2003; 38(3): 336-344.
- Terzi C., Şahin M., Yurdugül H. İki-Yönlü olumsuzluk çizelgelerinde gözenek artık testi: ki-kare analizi için post-hoc testleri. Eğitim Teknolojisi Kuram ve Uygulama 2023; 13(4): 301-327.
- Thong, NT., Olsen SO. Attitude toward and consumption of fish in Vietnam. Journal of Food Products Marketing 2012; 18(2): 79-95.
- Thong NT., Solgaard HS. Consumer's food motives and seafood consumption. Food Quality and Preference 2017; 56: 181-188.
- Tolon MT., Elbek AG. Su ürünleri tüketim yapısı ve tüketim sıklığını etkileyen etkenlerin incelenmesi. Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 2016; 33(3): 271-277.
- TÜBA. Türkiye Bilimler Akademisi. II. Gıda ve Sağlıklı Beslenme Sempozyumu Raporu. "Su Ürünleri ve Sağlık". Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları, TÜBA Raporları No: 31, Tek Ses Ofset Matbaacılık, Ankara, 2019.
- TÜİK. Türkiye İstatistik Kurumu. Nüfus İstatistikleri. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=49685#:~:text=T%C3%BCrkiye%20n%C3%BCfusu%2085%20milyon%20279,575%20bin%20441%20ki%C5%9Fi%20oldu> (Erişim Tarihi: 12.03.2024). 2023.
- TÜPADEM. Türkiye tüketicinin korunması ve piyasa gözetimi genel müdürlüğü. Tüketici profili ve bilinç düzeyi araştırma raporu. Ankara. Kalkan Matbaacılık; 2018.
- Yamane T. Temel örnekleme yöntemleri. İstanbul. Literatür Yayıncılık; 2010.

Rizobakterilerin Potansiyel Antimikrobiyalleri: Bakteriyosinler

Çiğdem KÜÇÜK^{1*}

¹Harran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 63050, Şanlıurfa

¹<https://orcid.org/0000-0001-5688-5440>

*Sorumlu yazar: ckucuk@harran.edu.tr

Derleme

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 21.03.2024

Kabul tarihi: 08.07.2024

Online Yayınlanma: 10.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Rizosfer

Rizobakteriler

Bakteriyosin

ÖZ

Bitki patojeni bakteriler tarımsal ürünler için önemli bir tehdittir. Bu patojenler, çok sayıda bitki hastalığından sorumludur ve birçok üründe önemli kayıplardan sorumludur. Bitkilerde verim kayıplarını azaltmaya yönelik mevcut hastalık yönetim stratejileri, genellikle hem insan sağlığına hem de çevreye zararlı olan kimyasal uygulamalarını içermektedir. Bakteriler, diğer mikrobiyal rakiplerine karşı kendilerini savunmak için çok yönlü bileşikler üretir ve salgırlar. Bunlardan bakteriyosinler, bakteriler tarafından yakın ilişkili bakterileri öldürmek ve böylece bir niş içerisinde hakimiyet kurmak için üretilen küçük proteinli antibiyotikler olup, kimyasal ilaçlara göre potansiyel olarak daha güvenli bir alternatif oluştururlar. Bu derlemede, bitki rizosferindeki bakteriler tarafından üretilen ve tarımda kullanım alanı olabilecek bakteriyosinlerle ilgili yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Potential Antimicrobials of Rhizobacteria: Bacteriocins

Reviews

Article History:

Received: 21.03.2024

Accepted: 08.07.2024

Published online: 10.12.2024

Keywords:

Rhizosphere

Rhizobacteria

Bacteriocin

ABSTRACT

Plant pathogenic bacteria are a significant threat to agricultural products. These pathogens are responsible for numerous plant diseases and significant losses in many crops. Current disease management strategies to reduce yield losses in plants often involve the application of chemicals that are harmful to both human health and the environment. Bacteria produce and secrete a versatile compounds to defend themselves against other microbial competitors. Of these, bacteriocins are small protein antibiotics produced by bacteria to kill closely related bacteria and thus establish dominance in a niche, representing a potentially safer alternative to chemicals. This review includes studies on bacteriocins produced by bacteria in the plant rhizosphere and which may be used in agriculture.

To Cite: Küçük Ç. Rizobakterilerin Potansiyel Antimikrobiyalleri: Bakteriyosinler. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2024; 7(5): 2393-2404.

1. Giriş

Mikroorganizmalar, besin kaynakları ve niş için birbirleriyle rekabet etmek amacıyla antimikrobiyal maddeler üretirler. Bu üretilen mikrobiyal maddeler; geniş spektrumlu ribozomal olmayan antibiyotikler, metabolik ürünler (organik asitler), litik ajanlar (lizozimler) ve bakteriyosinlerdir (Riley, 1998). Bakteriyosinler, hedef suşun kimliğine, büyüme koşullarına ve bakteriyosin konsantrasyonuna bağlı olarak bakterisidal ve/veya bakteriyostatik özellik gösterir (Nes ve ark., 2006).

İncelenen hemen hemen her bakteri türünün bakteriyosin ürettiği belirlenmiş ve bir tür içinde onlarca hatta yüzlerce farklı bakteriyosinin üretildiği saptanmıştır (Cesa- Luna ve ark., 2020). Bakteriyosinler, bakteriler tarafından üretilen, çok düşük veya yüksek molekül ağırlıklı bileşikler arasında değişen, ayırt edici morfolojik ve biyokimyasal özelliklere sahip olan ve aktivitenin ağırlıklı olarak bir protein ile ilişkili olduğu hücre dışı maddelerdir. Çoğunlukla plazmitlerden sentezlendiği, birçoğunun da kromozomal kökenli olduğu tespit edilmiş, bakteri büyümesinin çeşitli aşamalarında ve çeşitli çevresel koşullar altında sentezlendiği saptanmıştır (Cesa- Luna ve ark., 2020). Bakteriyosinler, translasyon modifikasyonları, yan zincirler, ısı stabilitesi, N-terminal sekans homolojisi ve moleküler ağırlık gibi peptid özelliklerine dayalı olarak farklı sınıflara ayrılmıştır (Klaenhammer, 1993). Doğal koruyucular olarak ticari bakımdan önemleri olan ve patojenik bakterilere karşı terapötik maddeler olarak bu antimikrobiyal peptidler, bilimsel araştırmaların önemli bir alanını oluşturmaktadır (De la Fuente-Salcido ve ark., 2008).

Rizosfer, aralarında Gram-pozitif bakterilerin baskın olduğu çeşitli mikroorganizma gruplarını içerir. Rizosferde yaşayan bakteriler genellikle rizobakteriler olarak adlandırılır ve bitki gelişimi üzerindeki etkilerine göre; bitki gelişiminden sorumlu olan ve bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler, bitki hastalıklarından sorumlu zararlı rizobakteriler ve hiçbir etkisi olmayan bakteriler olmak üzere 3 gruba ayrılırlar (Kumar ve ark., 2018). Bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler; hormonlar salgılayarak, antibiyotik veya bakteriyosin gibi antagonist maddeler üreterek yararlı etkiler gösterirler (Kumar ve ark., 2018). *Bacillus* ve *Pseudomonas* spp. bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler olarak bilinir ve aynı zamanda potansiyel bakteriyosin üreticileri olarak tanımlanmıştır (Nazari ve Smith, 2020). Prokaryotların büyük bir kısmı, ilişkili türlerin rekabetini azaltmak için bakteriyosinler (antimikrobiyal aktiviteye sahip proteinler) üretir ve salgılar (Nazari ve Smith, 2020). Bakteriyosinlerin tarımsal potansiyeli üzerine çok az araştırma yapılırken, gıda endüstrisinde bakteriyosinlerin uygulanması büyük önem taşımaktadır. Aynı zamanda, çevresel olarak sürdürülebilir tarıma ulaşmak amacıyla kimyasal gübrelerin, herbisitlerin ve pestisitlerin çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılmasına yönelik bakteriyosin çalışmalarına ihtiyaç vardır. Antimikrobiyal aktivitesi sayesinde, belirli bitki patojenlerini kontrol ederek bitki büyümesini de artırabilir. İzole edilen bakteriyosinlerin hiçbiri bitki büyümesinin teşviki konusunda thuricin 17 kadar geniş bir şekilde incelenmemiştir. Bitkilerin stresi yönetmesine ve tarım sistemlerini iklim değişikliğine daha dayanıklı hale getirmesine yardımcı olan bir mikroorganizma- bitki sinyali olan bakteriyosinler ile yapılacak birçok çalışmaya gereksinim vardır. Bu nedenle bu derlemede bakteriyosinlerin tarımda bitki gelişimi ve bitki patojenleri üzerine olan etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi ve yapılacak olan çalışmalara öncülük etmesi amacıyla bu konuda yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

2.Gram Pozitif Bakterilerin Bakteriyosinleri

Gram pozitif bakteriler tarafından üretilen bakteriyosinlerin, genellikle katyonik ve amfifilik özellikte; yaklaşık 30 kDa'luk boyutlu proteinler olduğu bildirilmiştir. Bu bakteriyosinler biyokimyasal

özelliklerine göre sınıflandırılmıştır (Kemperman ve ark., 2003). Özellikle *Bacillus* cinsi tarafından lipopeptit tipi farklı bakteriyosinlerin üretildiği bilinmektedir (Abriouel ve ark., 2011). *Bacillus* cinsi tarafından üretilen ve en iyi bilinen bakteriyosinler subtilin ve koagulindir. *Bacillus licheniformis* ZJU12'nin geniş bir antagonistik spektruma sahip bakteriyosin benzeri bir peptit ürettiği bulunmuştur. Bu peptit, *S.aureus*, *M.flavus* gibi bazı patojenik mikroorganizmaların ve *Fusarium oxysporum* gibi bazı fitopatojenlerin gelişimini inhibe edebilmiş olmasına rağmen toksisite testlerinde fareler üzerinde herhangi bir olumsuz etkisi de saptanmamıştır. Bu da biyokontrol için tercih edilebileceğini göstermiştir (He ve ark., 2006). Antimikrobiyal bileşikler üreten *B.thuringiensis* model organizma olarak kabul edilmiştir. *B.thuringiensis* tarafından sentezlenen bakteriyosinlerin çoğunun, *Aspergillus* ve *P.aeruginosa* gibi fitopatojenleri inhibe eden geniş bir spektruma sahip olduğu rapor edilmiştir (Uğraş ve ark., 2013). Yapılan bir çalışmada, böceklerden izole edilen *Bacillus thuringiensis* subsp *kurstaki* Bnl tarafından üretilen bakteriyosin thuringisin Bn1 olarak adlandırılmış ve bitki patojeni olan *P.syringae*'nin büyümesini inhibe etmiştir (Uğraş ve ark., 2013).

3.Gram Negatif Bakterilerin Bakteriyosinleri

Gram-pozitif bakterilerden elde edilen bakteriyosinlerin aksine, Gram negatiflerden sentezlenen bakteriyosinler daha kapsamlıdır ve farklı etki mekanizmalarına sahiptirler. En çok bilineni ve kapsamlı olarak çalışılan bakteriyosin *E.coli*'de tanımlanan kolisinlerdir (Riley ve Wertz, 2002). Kolisin; *E.coli* tarafından salgılanan plazmit kodlu antimikrobiyal peptidlerdir. *Pseudomonas* cinsi tarafından piyosin olarak bilinen bakteriyosin üretilmiştir. Piyosin, üretilen diğer bakteriyosinlere karşı sınırlı bir spektrum göstermiştir (Naz ve ark., 2015). *Pseudomonas* türleri tarafından üretilen piyosinler, özellikle *Burkholderia cepacia* üzerinde etkili bulunmuştur. Bu piyosinler; *Campylobacter* türleri, *Neisseria gonorrhoea*, *Neisseria meningitidis*, *Haemophilus ducreyi*, *Pseudomonas fluorescens* ve *Pseudomonas putida*'ı inhibe etmiştir (Naz ve ark., 2015). *P.putida* tarafından üretilen putadisin T01, sadece Gram-negatiflere karşı geniş bir spektrum göstermekle kalmamış, aynı zamanda *Bacillus megaterium* gibi Gram-pozitif bakteriler ve *Enterococcus faecalis* gibi patojenik bakterilerin gelişimini de önlemiştir (Ghraiiri ve ark., 2014). Faj kuyruğu benzeri bakteriyosinler de rapor edilmiştir; özellikle bitkilerle ilişkili pseudomonad türlerinde taylosin olarak bilinen bu moleküller, bakterisidal özelliklidir (Ghraiiri ve ark., 2014). *Burkholderia cenocepacia* BC0425, geniş spektrumlu taylosin üretmiş, *Pseudomonas aeruginosa* hücre yüzeyine bağlanarak bakteriyi inhibe etmiştir (Yao ve ark., 2017).

Bazı lektin benzeri bakteriyosinler; *P. syringae* ve *P. fluorescens*'ten putidasin L1, *P. putida*'dan LlpABW; *P. syringae*'den LlpAPss642 ve *P. fluorescens*'ten LlpA1Pf-5 olarak tanımlanmıştır. Bu lektin benzeri bakteriyosinler birkaç *Pseudomonas* türünü inhibe edebilmiş ancak bu cinsin dışında aktif bulunmamıştır (Parret ve ark., 2005). Benzer şekilde, *Xanthomonas citri* pv *malvacearum* LMG 761'den lektin benzeri bakteriyosin LlpAXcm761 de, *Xanthomonas* cinsi içindeki çeşitli türleri inhibe edebilmiştir (McCaughy ve ark., 2014). Bakteriler ayrıca uçucu bileşikler ve geniş spektrumlu

antibiyotik gibi diğer metabolitler de üretmiştir. Uçucu bileşikler, bakteriyel iletişim süreçlerinde hayati öneme sahiptir, ancak yapılan araştırmalarda bu bileşikler; bakteriler tarafından salgılandığında, diğer mikroorganizmalara antagonist özellik göstermiştir (Chaurasia ve ark., 2005; Kai ve ark., 2016). Bakteriler tarafından üretilen uçucu bileşiklerden biri, *Pseudomonas* cinsinin ürettiği hidrosiyanik asittir. Hidrosiyanik asitin farklı antibiyotik aktiviteleri saptanmıştır; *Thielaviopsis basicola*'nın biyokontrolünde etkin olduğu kanıtlanmıştır (Matilla ve Krell, 2018).

4. Rizosfer Bakterilerince Üretilen Bakteriyosinlerin diğer Mikroorganizmalar Üzerine Etkileri
Bitki rizosferi; bitki patojeni, faydalı ve komensal bakteriler içerir. Bu son derece rekabetçi ortamda hayatta kalabilmek için bakteriler, tür içi ve türler arası rekabetin üstesinden gelmek için çeşitli metabolitleri kullanarak diğer bakteri hücreleriyle rekabet eder. Bu antibiyotikler, fitopatogenik mantarlara karşı bakteriyolitik enzimler (Haas ve Defago, 2005) ve bakteriyosinler olarak bilinen proteinli antibiyotiklerdir (Riley ve Wertz, 2002). Çoklu enzim kompleksleri tarafından üretilen geniş spektrumlu metabolitler olan antibiyotiklerin aksine bakteriyosinler; çok çeşitli bakteri türleri tarafından ribozomal olarak sentezlenen dar spektrumlu proteinli maddelerdir (Holtsmark ve ark., 2008; Alvarez-Sieiro ve ark., 2016). Bakteriyosinlerin hedef özgüllüğü nedeniyle, bitki patojenlerini seçici olarak öldüren biyolojik ajanlar olarak kullanılma olasılığı araştırmacıların ilgisini çekmiştir (Rooney ve ark., 2020). Antibiyotik ve bakteriyosin üretimi karmaşık bir şekilde düzenlenmektedir (Niehus ve ark., 2021). Örneğin, antibiyotik üretimi yalnızca filogenetik olarak uzak türlere karşı rekabet ettiğinde ve rakip hücreler belirli bir antibiyotik sınıfına duyarlı olduğunda arttırılır (Maan ve ark., 2022). Diğer yandan, bakteriyosin üretimi aynı zamanda UV ışınımı, besin sınırlaması ve diğer bakteriler tarafından antimikrobiyal bileşiklerin üretilmesi gibi spesifik koşullar tarafından da desteklenmektedir (Holtsmark ve ark., 2008). Yapılan çalışmalara göre; bakteriyosinlerin, yakın ilişkili rakip bakterileri etkilemeden hedef organizmayı öldürme yeteneğine sahip olduğunu göstermiştir (Rooney ve ark., 2020). Farklı bakteriyosin türleri: R-, F-, S- ve M-tipi piyosinler, rizosferle ilişkili bakterilerde tanımlanmış olup, morfolojileri ve inhibisyon oranları bakımından farklılık göstermektedirler (Mojgani ve ark., 2017).

Yapılan çalışmalar, bakteriyosinlerin tarımda, bitki büyümesi ve gelişiminin biyostimülanları ve biyokontrol ajanları olarak kullanılabileceğini öngörmektedir. Örneğin Cerein 8A, Bac-GM17, Putidacin, Bac 14B, Amilosiklin gibi bakteriyosinler, antimikrobiyal aktivite mekanizmaları açısından incelenmiştir. Bac IH7, domates ve kavunun gelişimini desteklemiştir. Thuricin 17 (Th17), moleküler düzeyde de dahil olmak üzere bitki gelişmesinin teşviki için kapsamlı olarak incelenen tek bakteriyosin olarak tanımlanmıştır. Th17; baklagillerde ve baklagil olmayan bitkilerde bitki büyümesini teşvik eden bakteriyel bir sinyal bileşik olarak işlev görmüştür. *Bacillus cereus*'tan 3.94 kDa'luk bakteriyosin cerein 7, bu türden ilk izole edilen bakteriyosin olmuştur (Oscariz ve ark., 1999). Ancak *B.thuringiensis*, *B.subtilis*, *B.stearothermophilus*, *B.licheniformis*, *B.megaterium* ve *B.cereus*'un bakteriyosin benzeri ürünler ürettikleri daha önce rapor edilmiştir ve bunlar arasında *B.subtilis*'ten elde

edilen subtilin geniş çapta incelenmiştir. Yapılan bir çalışmada, baklaların kök nodüllerinden izole edilen *Rhizobium lupini*'nin 16-2 ve 16-3 izolatları tarafından bakteriyosin üretimi incelenmiştir (Lotz ve Mayer, 1972). Afrika'da yetişen bir çalı bitkisinin rizosferinden izole edilen *Bacillus clausii* strain GM17'nin bakteriyosin Bac-GM17 ürettiği belirlenmiş, bu bakteriyosinin *Agrobacterium tumefaciens* C58'e bakterisidal ve *Candida tropicalis* R2 CIP203 üzerine de fungistatik etkiye sahip olduğu açıklanmıştır (Mouloud ve ark., 2013). Muz kökünden izole edilen *Pseudomonas putida* BW11M1 suşu tarafından üretilen bakteriyosin putidasin, bitki lektinlerine çok benzetilmiştir (Parret ve ark., 2003). *B. amyloliquefaciens* RC-2 suşu; *C. dematium* R. *necatix*, *P. oryzae*, *A. tumefaciens* ve *X. campestris* pv. *campestris* gibi fitopatojenleri inhibe edebilen bakteriyosin benzeri bir madde üretmiştir (Abriouel ve ark., 2011). *Bacillus subtilis* 14B; bitkilerde *Agrobacterium tumefaciens*'in neden olduğu enfeksiyon yüzdesini azaltmış, domates bitkilerinde taç gal hastalığının biyokontrolü için önerilmiştir (Hammami ve ark., 2009).

Bacillus amyloliquefaciens FZB42'den 6.381 kDa'lık bir peptid olan amilosiklin, Gram-pozitif bakterilere karşı yüksek antibakteriyel aktiviteye sahip dairesel, ribozomal olarak sentezlenmiş bakteriyosindir (Scholz ve ark., 2014). *B.subtilis* suşu 14B tarafından 21 kDa'luk Bac 14B bakteriyosinin, *A.tumefaciens*'in neden olduğu taç gal hastalığına karşı etkili olduğu bildirilmiştir (Hammami ve ark., 2009). *B.subtilis* suşu IH7, bitki büyümesini teşvik eden bir bakteriyosin olan Bac IH7 üretmiştir. Bac IH7 uygulanmış domates ve kavunun, çimlenme oranının arttığı, sürgün ağırlığı, boy ve kök uzunluğunun arttığı; ayrıca *Alternaria solani* ve diğer tohum kaynaklı patojenler için bir biyokontrol görevi gördüğü saptanmıştır (Hammami ve ark., 2009). Meyve ve sebze atıklarından izole edilen bakteri *Lysinibacillus* jx416856'dan elde edilen 25–35 kDa'lık bir bakteriyosinin, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* ve *B.cereus* gibi gıda kaynaklı patojenleri inhibe ettiği gözlemlenmiştir (Ahmad ve ark., 2014).

Bazı bitki patojenlerinin de bakteriyosin ürettiği saptanmıştır. Fitopatojenik tür *Erwinia carotovora* NA4, hastalıklı meyve ve sebzelerden izole edilerek bakteriyosin Erwinicin NA4 ürettiği; biber rizosferinden izole edilen *Agrobacterium radiobacter* NA5'in ise bakteriyosin Agrosin NA5 ürettiği tespit edilmiştir (Jabeen ve ark., 2004). Domates patojeni *Clavibacter michiganensis* ssp. *michiganensis*, patateslerde hastalığa neden olan başka bir patojen *C.michiganensis*'in büyümesini engelleyen bakteriyosin michiganin A üretmiştir. Bu bakteriyosin ayrıca aktinomiset *Actinoplanes liguriae* tarafından üretilen antibiyotiğe de benzerlik göstermiştir (Holtsmark ve ark., 2006).

Bacillus thuringiensis izolatlarının da Tohicin (Paik ve ark., 1997), Entomocin 9 (Cherif ve ark., 2003), Bacthuricin F4 (Kamoun ve ark., 2005), Thuricin 17 (Gray ve ark., 2006b) gibi çeşitli bakteriyosinleri ürettiği belirlenmiştir. Ayrıca üretilen bakteriyosinlerin *Aspergillus niger*, *A.fumigatus*, *A.flavus*, *Cryphonectria parasitica*, *Fusarium oxysporum*, *Monilia sitophila*, *Penicillium digitatum*, *Rhizopus* sp. gibi patojenik mantarlara karşı etkili olduğu incelenmiştir (Raddadi ve ark., 2009). Lavermicocca ve ark. (2002), zeytin ağaçlarında *P.syringae* pv. *ciccaronei*, *P. syringae* pv. *savastanoi*'nin neden olduğu hastalığı; tanımlayamadıkları bakteriyosin ile %60-80 oranında

azaltmayı başarmışlardır. Sakthivel ve Mew (1991), *Xanthomonas oryzae* 'nin patojenik olmayan bakteriyosin üreten mutantlarını çeltikte bakteriyel yanıklığını kontrol etmek için kullanmışlardır. *B.thuringiensis* strain NEB17 tarafından üretilen bakteriyosin, hem yapraklara sprey şeklinde hem de köke uygulandığında soya fasulyesi ve mısır üzerinde olumlu etkileri görülmüştür (Lee ve ark., 2009). Putidasin bakteriyosini muz köklerinden izole edilen *P.putida* suşu tarafından üretilmiştir (Parret ve ark. 2003). Ayrıca etki spektrumu putidasine benzeyen iki lektin benzeri bakteriyosinin, biyokontrol etmeni olan *P.fluorescens* Pf 5 tarafından üretildiği yapılan çalışmada açıklanmıştır (Parret ve ark. 2005). Mundticin QU2, soya fasulyesi köklerinden izole edilen *E.mundti*'nin suşunda rapor edilirken, Enterocin Xa ve b'nin elmadan izole edilen *E.faecium* tarafından üretildiği belirlenmiştir (Nazari ve Smith 2020). *B.amyloliquefaciens* spp. tarafından üretilen küçük bir peptid bakteriyosin olan Amilosiklin, yüksek antibakteriyel ve antifungal aktiviteye sahip dairesel bir bakteriyosindir (Scholz ve ark. 2014). Amilosiklin, kırmızı biber bakteriyel solgunluğuna neden olan *Ralstonia solanacearum*'a ve *Xanthomonas campestris*'e karşı aktif bulunmuştur (Nazari ve Smith 2020).

Buğday rizosferinden izole edilen *Pseudomonas fluorescens* SF39 gibi bitki gelişimini teşvik eden rizobakterilerin, bakteriyosin üretme kabiliyetleri rapor edilmiştir. *Pseudomonas fluorescens* SF39a'nin rizosferde salgıladıkları bakteriyosinler ile fitopatojenik *Pseudomonas* ve *Xanthomonas* izolatlarının gelişimini inhibe etmiştir (Godino ve ark., 2016). *Pseudomonas putida* BW11M1 suşunun, *P. putida* GR12-2R3'ü inhibe eden, ısıya ve proteaza duyarlı bir bakteriyosin salgıladığı tespit edilmiştir (Parret ve ark., 2003). Araştırmacılar, *P. putida* ve *P. fluorescens* bakteriyosinlerinin rizosferdeki popülasyon dinamikleri üzerinde önemli olabileceğini bildirmişlerdir (Parret ve ark., 2003). *Bradyrhizobium japonicum*, *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae*, yonca rizosferinden izole edilen ve yavaş gelişen *Rhizobium* bakterilerinden sentezlenen "Rizobiyosinler" bakteriyosin benzeri bileşiklerdir (Schwinghamer ve Brockwell, 1978; Wilson ve ark., 1998; Hafeez ve ark., 2005). Fasulye kök nodüllerinden izole edilen *Rhizobium* bakterileri tarafından da bakteriyosin üretimi belirlenmiştir (Küçük ve Kıvanç, 2009). *Rhizobium* spp. Y39 tarafından üretilen olası bakteriyosin, *Micrococcus* sp., *Bacillus* sp., *Actinomyces*, *Pseudomonas phaseolicola*, *Xanthomonas phaseolicola*, *Fusarium culmorum*, *F.moniliforme*, *F.solani*, *F.oxysporum*, *Cladosporium herbarum*, *Rhizoctonia solani*, *Azotobacter* spp.'i inhibe edebilmiştir (Küçük ve Kıvanç, 2009). *R.leguminosarum* suşlarının, temel nodülasyon ve azot fiksasyon genlerinin yanı sıra küçük, orta veya büyük bakteriyosinleri içeren simbiyotik plazmit pRL1J'ye sahip olduğu da bildirilmiştir (Schwinghamer ve Brockwell, 1978; Hirsch ve ark., 1980). Bazı bakteriyosinler, spesifik suşlara karşı nodülasyon rekabetçiliğinde önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin, *R.leguminosarum* 248 tarafından üretilen rhizobiocin'in moleküler özellikleri ve biyolojik özellikleri yapılan bir çalışmada belirlenmiş, yabancı suşlara göre nodülasyonda rekabet için avantaj sağlamıştır (Oresnik ve ark., 1999). *B.thuringiensis* NEB17 tarafından üretilen Thuricin 17, doğrudan ve dolaylı mekanizmalar yoluyla bitki gelişimini artırmıştır. Bu "sinyal" molekülünün dolaylı etki mekanizmalarının; bitki hastalık direncinin uyarılması, ortak yaşadıkları bitkilerin nodülasyonu veya üretici suşlara daha fazla ekolojik alan sağlamak amacıyla patojenik

suşların hücre duvarına bağlanma ile veya reseptörlere bağlanmasıyla inhibe ettiği bildirilmiştir (Mabood ve ark., 2014). Thuricin 17 soya fasulyesinin köküne uygulandığında nodül sayısı, kök, sürgün ve soya fasulyesinin toplam biyokütlesi artmış; yapraktan uygulama ile yaprak alanını, yaprak yeşilliğini ve sürgündeki azot konsantrasyonunu iyileştirmiştir (Lee ve ark., 2009). Benzer şekilde, mısır ve soya fasulyesi fidelerinin yaprak alanı ve kuru ağırlığı, thuricin 17 uygulamasıyla iyileştirilmiştir (Lee ve ark., 2009). *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas protegens* ve *Burkholderia tropica* ile bazı *Bacillus* suşlarının da bitkileri fitopatojenlerden koruduğu bilinmektedir (Munoz-Rojas ve ark, 2005; Laue ve ark., 2000; Mendez ve ark., 2014; Subramanian ve Smith, 2015; Bolivar-Anillo ve ark., 2016). Örneğin, *Gluconacetobacter diazotrophicus* tarafından üretilen pyoluteorin ile *F. oxysporum*, *F. solani*, *C. fimbriata* ve *C. falcatum* gibi önemli fitopatojenleri inhibe etme yeteneği ile antagonistik özellik göstermiştir (Logeshwaran ve ark., 2011).

Sonuç

Bakteriyosinler, en iyi çalışılan mikrobiyal savunma sistemlerinden birini temsil eder. Evrimsel ilişkilerini ve ekolojik rollerini keşfetmenin henüz ilk aşamalarında olsakta, bolluk ve çeşitliliklerinden dolayı mikrobiyal silahlar oldukları aşikardır. Bakteriyosinlerin neden bu kadar başarılı ve çeşitli toksin ailesi oluşturabildiklerini anlamak, gelecekteki araştırmalara katkı sağlayabilecektir. Ayrıca bakteriyosinlerin üretilme nedenleri, öldürme şekilleri, onları kodlayan gen kümeleri ve gen düzenleme mekanizmalarını tam olarak ortaya çıkaracak çok sayıda araştırmalara gereksinim vardır. Bakteriyosinler, tohum veya yumru kaynaklı patojenler için profilaktik tedavi olarak, enfekte bitkilerden patojenik bakterilerin yayılmasının önlenmesinde ve bitkilerin bakteriyel bitki patojenlerinden korunmasında da büyük bir potansiyele sahiptir. Bakteriyel bitki patojenleri, küresel gıda üretimi üzerinde büyük bir kısıtlama nedenidir. Kimyasal maddelerle bitki hastalık ve zararlılarına yönelik tedaviler, bazı hastalıkların kontrolüne yardımcı olabilirken; hedef dışı organizmaları olumsuz yönde etkileyebilir, çevresel bozulmaya katkıda bulunabilir ve hedef mikroorganizmalar uygulanan kimyasallara karşı direnç geliştirebilir. Rizobakterilerden izole edilecek yeni bakteriyosinler; mikrobiyal kökenli bitki hastalıklarının kontrolü ve bitki gelişiminin teşvik edilmesinde kimyasal girdilerin kullanımının azaltılması için yeni çözümler sunabilir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye % 100 oranında katkı sağladığını beyan eder.

Kaynakça

- Abriouel H., Franz CMAP., Omar N., Galvez A. Diversity and applications of *Bacillus* bacteriocins. FEMS Microbiology Reviews 2011; 35(1): 201–232.
- Ahmad E., Holmstrom S. Siderophores in environmental research: Roles and applications. Microbial Biotechnology 2014; 7(3): 196-208.
- Alvarez-Sieiro P., Montalbán-López M., Mu D., Kuipers OP. Bacteriocins of lactic acid bacteria: extending the family. Applied Microbiology & Biotechnology 2016; 100: 2939-2951
- Bolivar-Anillo HJ., Orzozo-Sanchez CJ., Da Silva Lima G., dos Santos CJO. Endophytic microorganisms isolated of plants grown in Colombia: A Short Review. Journal of Microbial and Biochemical Technology 2016; 8(8): 509-513.
- Cesa-Luna C., Baez A., Quintero-Hernandez V., De La Cruz-Enriquez J., Castaneda-Antonio MD., Munoz-Rojas J. The importance of antimicrobial compounds produced by beneficial bacteria on the biocontrol of phytopathogens. Acta Biologica Colombiana 2020; 25(1): 140-154.
- Chaurasia B., Pandey A., Palni LMS., Trivedi P., Kumar B., and Colvin N. Diffusible and volatile compounds produced by an antagonistic *Bacillus subtilis* strain cause structural deformations in pathogenic fungi in vitro. Microbiological Research 2005; 160(1): 75–81.
- Cherif A., Chehimi S., Limem F., Hansen BM., Hendriksen NB., Daffonchio D. Detection and characterization of the novel bacteriocin entomocin 9, and safety evaluation of its producer, *Bacillus thuringiensis* ssp. *entomocidus* HD9. Journal Applied Microbiology 2003; 95: 990–1000.
- De la Fuente-Salcido N., Alanís-Guzmaan MG., Bideshi D., Salcedo-Hernandez R., Bautista-Justo M., Barboza-Corona JE. Enhanced synthesis and antimicrobial activities of bacteriocins produced by Mexican strains of *Bacillus thuringiensis*. Archives of Microbiology 2008; 190: 633–640.
- Ghraiiri T, Braiek OB., and Hani K. Detection and characterization of a bacteriocin, putadicin T01, produced by *Pseudomonas putida* isolated from hot spring water. Journal of Pathology, Microbiology and Immunology 2014; 2: 260-268.
- Godino A., Principe A., Fischer S. A ptsP deficiency in PGPR *Pseudomonas fluorescens* SF39a affects bacteriocin production and bacterial fitness in the wheat rhizosphere. Research of Microbiology 2016; 167: 178–189.
- Gray E., Lee K., Souleimanov A., Di Falco M., Zhou X., Ly A. A novel bacteriocin, thuricin 17, produced by plant growth promoting rhizobacteria strain *Bacillus thuringiensis* NEB17: isolation and classification. Journal of Applied Microbiology 2006; 100: 545–554.
- Hafeez FY., Naeem FI., Naeem R., Zaidi AH., Malik KA. Symbiotic effectiveness and bacteriocin production by *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* isolated from agriculture soils in Faisalabad. Environmental and Experimental Botany 2005; 54: 142–147.

- Hammami I., Rhouma A., Jaouadi B., Rebai A., Nesme X. Optimization and biochemical characterization of a bacteriocin from a newly isolated *Bacillus subtilis* strain 14B for biocontrol of *Agrobacterium* spp. strains. *Letters Applied Microbiology* 2009; 48(2): 253–260.
- Haas D., Defago G. Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads. *Nature Reviews Microbiology* 2005; 3: 307-319.
- He L., Chen W., Liu Y. Production and partial characterization of bacteriocin-like peptides by *Bacillus licheniformis*. *Microbial Research* 2006; 161: 321-326.
- Holtsmark VG., Eijsink MB., Brurberg MB. Bacteriocins from plant pathogenic bacteria. *FEMS Microbiology Letters* 2008; 280: 1-7.
- Holtsmark I., Mantzilas D., Eijsink VGH., Brurberg MB. Purification, characterization, and gene sequence of michiganin A, an actagardine-like lantibiotic produced by the tomato pathogen *Clavibacter michiganensis* subsp. *Michiganensis*. *Applied Environmental Microbiology* 2006; 72:5814–5821.
- Jabeen N., Rasool SA., Ahmad S., Ajaz M., Saeed S. Isolation, identification and bacteriocin production by indigenous diseased plant and soil associated bacteria. *Pakistan Journal of Biological Science* 2004; 7: 1893–1897.
- Kai M., Effmert U., Piechulla B. Bacterial-plant-interactions: Approaches to unravel the biological function of bacterial volatiles in the rhizosphere. *Frontiers Microbiology* 2016; 7: 108.
- Kamoun F., Mejdoub H., Aouissaoui H., Reinbolt J., Hammami A., Jaoua S. Purification, amino acid sequence and characterization of Bacthuricin F4, a new bacteriocin produced by *Bacillus thuringiensis*. *Journal of Applied Microbiology* 2005; 98: 881–888.
- Kemperman R., Kuipers A., Karsens H., Nauta A., Kuipers O., Kok J. Identification and characterization of two novel clostridial bacteriocins, circularin A and closticin 574. *Applied Environmental Microbiology* 2003; 69(3): 1589–1597.
- Klaenhammer TR. Genetics of bacteriocins produced by lactic acid bacteria. *FEMS Microbiology Reviews* 1993; 12, 39-85.
- Kumar A., Singh VK., Tripathi V., Singh PP., and Singh AK. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): perspective in agriculture under biotic and abiotic stress. In *crop improvement through microbial biotechnology*. NY: Elsevier; 2018; 333-342.
- Küçük Ç., Kıvanç M. Bacteriocin production by bean root bacteria. III. International Conference on Environmental, Industrial and Applied Microbiology, Fostering Cross-disciplinary Applied Research in Microbiology and Microbial Biotechnology, BioMicroWorld, 2-4 December 2009, p.779, Lisbon, Portugal.
- Laue BE., Jiang Y., Chhabra SR., Jacob S., Stewart GSAB., Hardman A. The biocontrol strain *Pseudomonas fluorescens* F113 produces the *Rhizobium* small bacteriocin, N-(3-hydroxy-7-cis-tetradecenoyl) homoserine lactone, via HdtS, a putative novel N-acylhomoserine lactone synthase. *Microbiology* 2000; 146(10): 2469–2480.

- Lavermicocca P., Lognigro SL., Valerio F., Evidente A. Reduction of olive knot disease by a bacteriocin from *Pseudomonas syringae* pv. *ciccarone*. *Applied and Environmental Microbiology* 2002; 68: 1403-1407.
- Lee KD., Gray EJ., Mabood F., Jung WJ., Charles T., Clark SRD. The class IId bacteriocin thuricin-17 increases plant growth. *Planta* 2009; 229: 747–755
- Logeshwaran P, Thangaraju M., and Rajasundari K. In vitro suppression of soil borne pathogenic fungi and pyoluteorin production by *Gluconacetobacter diazotrophicus*. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*. 2011; 1(3): 150–156.
- Lotz W., Mayer F. Isolation and characterization of a bacteriophage tail-like bacteriocin from a strain of *Rhizobium*. *Journal of Virology* 1972; 9: 160-173.
- Mabood F., Zhou X., Smith DL. Microbial signaling and plant growth promotion. *Canadian Journal of Plant Science* 2014; 94: 1051–1063
- Matilla MA., Krell T. Plant growth promotion and biocontrol mediated by plant-associated bacteria. In: Egamberdieva D., Ahmad P. (eds) *Plant microbiome stress response microorganisms for sustainability*, vol 5, Singapore; Springer 2018, p.45-80.
- Maan H., Itkin M., Malitsky S., Friedman J., Kolodkin-Gal I. Resolving the conflict between antibiotic production and rapid growth by recognition of peptidoglycan of susceptible competitors. *Nature Communications* 2022; 13: 1-15.
- McCaughey LC., Grinter R., Josts I., Roszak AW., Waloen KI., Cogdell RJ. Lectin-Like bacteriocins from *Pseudomonas* spp. utilise D-Rhamnose containing lipopolysaccharide as a cellular receptor. *PLoS Pathology*. 2014; 10(2): 1-15.
- Mendez M., Mercado EC., Pineda EG. *Azospirillum* una rizobacteria con uso potencial en la agricultura. *Biologicas* 2014; 16(1): 11–18.
- Mojgani N. Bacteriocin-producing rhizosphere bacteria and their potential as a biocontrol agent. *Rhizotrophs Plant Growth Promotion Bioremediation* 2017; 2: 165-181.
- Mouloud G., Daoud H., Bassem J., Atef IL., Hani B. New bacteriocin from *Bacillus clausii* strain GM17: purification, characterization, and biological activity. *Applied Biochemistry Biotechnology* 2013; 171: 2186–2200
- Munoz-Rojas J., Fuentes-Ramírez L., Caballero-Mellado J. Antagonism among *Gluconacetobacter diazotrophicus* strains in culture media and in endophytic association. *FEMS Microbiology Ecology* 2005; 54: 57–66.
- Naz SA., Jabeen N., Sohail M., Rasool SA. Biophysicochemical characterization of pyocin SA189 produced by *Pseudomonas aeruginosa* SA189. *Brazilian Journal of Microbiology* 2015; 46(4): 1147–1154.
- Nazari M., Smith DL. A PGPR produced bacteriocin for sustainable agriculture: A review of thuricin 17 characteristics and application. *Frontiers in Plant Science* 2020; 11: 1-7.

- Nes IF., Brede DA., Holo H. The nonantibiotic heat-stable bacteriocins in Gram-positive bacteria. In Handbook of biologically active peptides. NY: Academic Press Elsevier 2006; 107-114.
- Niehus R., Oliveira NM., Li A., Fletcher AG., Foster KR. The evolution of strategy in bacterial warfare via the regulation of bacteriocins and antibiotics. *Elife* 2021; 10: e69756.
- Oresnik IJ., Twelker S., Hynes MF. Cloning and characterization of a *Rhizobium leguminosarum* gene encoding a bacteriocin with similarities to RTX toxins. *Applied Environmental Microbiology* 1999; 65: 2833–2840.
- Oscariz JC., Lasa I., Pisabarro AG. Detection and characterization of cerein 7, a new bacteriocin produced by *Bacillus cereus* with a broad spectrum of activity. *FEMS Microbiology Letters* 1999; 178: 337–341.
- Paik HD., Bae SS., Park SH., Pan JG. Identification and partial characterization of tochicin, a bacteriocin produced by *Bacillus thuringiensis* subsp. *tochigiensis*. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 1997; 19: 294–298.
- Parret AHA., Schoofs G., Proost P., De Mot R. Plant lectin-like bacteriocin from a rhizosphere-colonizing *Pseudomonas* isolate. *Journal of Bacteriology* 2003; 185: 897-908.
- Parret AHA., Temmerman K., De Mot R. Novel lectin-like bacteriocins of biocontrol strain *Pseudomonas fluorescens* Pf-5. *Applied Environmental Microbiology* 2005;71(9): 5197–5207.
- Raddadi N., Belaouis A., Tamagnini I., Hansen BM., Hendriksen NB., Boudabous A. Characterization of polyvalent and safe *Bacillus thuringiensis* strains with potential use for biocontrol. *Journal of Basic Microbiology* 2009; 49: 293–303.
- Riley MA. Molecular mechanisms of bacteriocin evolution. *Annual Review Genetics* 1998; 32: 255–278.
- Riley MA., Wertz JE. Bacteriocins: Evolution, ecology and application. *Annual Review Microbiology* 2002; 56: 117–137.
- Rooney WMR., Chai JJ., Milner D., Walker D. Bacteriocins targeting Gram-negative phytopathogenic bacteria: plantibiotics of the future. *Frontier Microbiology* 2020; 11: 575981.
- Sakthivel N., Mew TW. Efficacy of bacteriocinogenic strains of *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* on the incidence of bacterial blight disease of rice (*Oryza sativa* L.). *Canadian Journal of Microbiology* 1991; 37: 764-768.
- Scholz R., Vater J., Budiharjo A., Wang Z., He Y., Dietel K., Schewecke T., Herfort S., Lasch P., Borriss R. Amylocyclicin, a novel circular bacteriocin produced by *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42. *Journal of Bacteriology* 2014; 196: 1842-1852.
- Schwinghamer EA., Brockwell J. Competitive advantage of bacteriocin and phage-producing strains of *Rhizobium trifolii* in mixed culture. *Soil Biology Biochemistry* 1978; 10: 383–387.
- Subramanian S., Smith DL. Bacteriocins from the rhizosphere microbiome - from an agriculture perspective. *Frontiers Plant Science* 2015; 6: 909.

- Uğraş S., Sezen K., Kati H., Demirbağ Z. Purification and characterization of the Bacteriocin thuricin Bn1 produced by *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* Bn1 isolated from a hazelnut pest. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 2013; 23(2):167-176.
- Yao GW., Duarte I., Le TT., Carmody L., Li Puma JJ., Young R., Gonzalez CF. A Broad-host-range Tailocin from *Burkholderia cenocepacia*. *Applied Environmental Microbiology* 2017; 83(10): e03414-16.
- Wilson R., Handley B., Beringer J. Bacteriocin production and resistance in a field population of *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae*. *Soil Biology Biochemistry* 1998; 30: 413–417.