



**Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**  
Osmaniye Korkut Ata University Journal of The Institute of Science and Technology

**Year (Yıl): 2023, Volume (Cilt):6, Number (Sayı):3**

**Dergi Sahibi / Owner**

Prof. Dr. Turgay UZUN

Rektör

**Sorumlu Müdür / Director**

Prof. Dr. Eyyüp TEL

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

**Baş Editör / Editor in Chief**

Doç. Dr. Tugay AYAŞAN

**Yardımcı Editorler / Associate Editors**

Prof. Dr. Coşkun ÖZALP

Doç. Dr. Özge SÜFER

Dr. Öğretim Üyesi Aybüke LEBA

Dr. Öğretim Üyesi Mustafa SÖYLER



**Osmaniye Korkut Ata University Journal of The Institute of Science and Technology**  
**Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**

**Editorial Board**

**(Editör Kurulu)**

Prof. Dr. Özgecan KORKMAZ AĞAOĞLU	Mehmet Akif Üniversitesi, BURDUR	ozgecanagaoglu@mehmetakif.edu.tr
Prof. Dr. Mehmet BİLGİLİ	Çukurova Üniversitesi, ADANA	mbilgili@cu.edu.tr
Prof. Dr. Alpaslan DAYANGAÇ	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	alpaslandayangac@osmaniye.edu.tr
Prof. Dr. Şeyma TÜLÜCÜ DEMİRAY	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	seymademiray@osmaniye.edu.tr
Prof. Dr. Güray ERENER	Ondokuz Mayıs Üniversitesi, SAMSUN	gerener@omu.edu.tr
Prof. Dr. Hasan Basri İLA	Çukurova Üniversitesi, ADANA	ila@cu.edu.tr
Prof. Dr. Önder KAŞKA	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	onderkaska@osmaniye.edu.tr
Prof. Dr. Murat KÖKSAL	Cumhuriyet Üniversitesi, SİVAS	mkoksal@cumhuriyet.edu.tr
Prof. Dr. Mustafa ÖZCANLI	Çukurova Üniversitesi, ADANA	ozcanli@cu.edu.tr
Prof. Dr. Hüsnüye Aka SAĞLIKER	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	hasaglikler@osmaniye.edu.tr
Prof. Dr. Ayşe Tülin ÖZ	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	aysetulinoz@osmaniye.edu.tr
Prof. Dr. Bahri Devrim ÖZCAN	Çukurova Üniversitesi, ADANA	dozcan@cu.edu.tr
Prof. Dr. Eyyüp TEL	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	eyuptel@osmaniye.edu.tr
Prof. Dr. Khalid JAVED	University of Veterinary and Animal Sciences, PAKİSTAN	javeddrkhalid@yahoo.com
Prof. Dr. Kyung-WOO LEE	Konkuk University, Seoul, SOUTH KOREA	kyungwoolee@hotmail.com
Doç. Dr. Çağdaş AKPINAR	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	cagdasakpinar@osmaniye.edu.tr
Doç. Dr. İsa COŞKUN	Kırşehir Ahievran Üniversitesi, KİRŞEHİR	isa.coskun@ahievran.edu.tr
Doç. Dr. Feridun DEMİR	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE	feridundemir@osmaniye.edu.tr
Doç. Dr. Jülide ÖNER	Uşak Üniversitesi, UŞAK	julide.oner@usak.edu.tr
Doç. Dr. Behlül SEVİM	Aksaray Üniversitesi, AKSARAY	behluls68@gmail.com
Doç. Dr. Dilek TEKDAL	Mersin Üniversitesi, MERSİN	dilektekdal@mersin.edu.tr
Doç. Dr. Esra TELLİ	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi,	esratelli@osmaniye.edu.tr



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

#### Yazım Editörleri /Spelling Editors

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

#### Dil Editörleri /Language Editors

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

#### İstatistik Editörleri /Statistics Editors

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

**Alan Editörleri/Konu Editörleri/Subject Editors**

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

**Mizanpaj Editörleri/Layout Editors**

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

\*Mizanpaj editörleri, çıkan sayılara göre değişiklik gösterebilecektir.

**Son Okuyucu Editörleri /Final Reader Editors**

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

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



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

**Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi** yılda 3 kez yayınlanmaktadır (Mart, Temmuz 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 three times in a year (March, July and December).

**Dergi İçin Yazışma Adresi / Correspondence Address**

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

Osmaniye Korkut Ata University, Osmaniye-TURKEY

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

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



### The referees list (Hakem listesi)

Year 2023, Volume 6, Issue 3 list of referees is given below.  
(2023 yılı, Cilt 6, Sayı 3'deki hakemlerin listesi aşağıda verilmiştir.)

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

Hakemler	Kurum
Prof. Dr. Yasemin ŞAFAK ASAR	Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü, ANKARA
Prof. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU	Adana Alparslan Türkeş Bilim Ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, ADANA
Prof. Dr. Murad ÇANAKÇI	Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, ANTALYA
Prof. Dr. Kazim ÇARMAN	Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, KONYA
Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAVDAR	Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, TRABZON
Prof. Dr. Ömer DEPERLİOĞLU	Afyon Kocatepe Üniversitesi Afyon Meslek Yüksekokulu Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, AFYONKARAHİSAR
Prof. Dr. Güngör DURUR	Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, DENİZLİ
Prof. Dr. Önder KAŞKA	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, OSMANİYE
Prof. Dr. Niyazi Uğur KOÇKAL	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, ANTALYA
Prof. Dr. Fuat KÖKSAL	Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, YOZGAT
Prof. Dr. Dursun Ali KÖSE	Hitit Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, ÇORUM
Prof. Dr. Birsun Şengül OKSAL	Giresun Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, GİRESUN
Prof. Dr. Osman OLGUN	Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü, KONYA
Prof. Dr. Hakan ÖZTÜRK	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, OSMANİYE
Prof. Dr. Emel CEYHUN SABIR	Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, ADANA
Prof. Dr. Necibe Füsün OYMAN SERTELLER	Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, İSTANBUL
Prof. Dr. Yadigar GÜLSEVEN SIDIR	Bitlis Eren Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, BİTLİS
Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ	Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, GÜMÜŞHANE
Prof. Dr. Serap ULUSAM SEÇKİNER	Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, GAZİANTEP
Prof. Dr. Mehmet ŞENER	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, NİĞDE

Prof. Dr. Ali Hamza TANRIKULU	Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Mekanik, ADANA
Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU	Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, AFYONKARAHİSAR
Prof. Dr. Emel YILDIZ	Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, ADANA
Doç. Dr. Emine Saka AKIN	Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, YOZGAT
Doç. Dr. Çağdaş AKPINAR	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, OSMANİYE
Doç. Dr. Mustafa AKYOL	Adana Alparslan Türkeş Bilim Ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği Bölümü, ADANA
Doç. Dr. Gönül BİLGEÇ AKYÜZ	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü, AYDIN
Doç. Dr. Bülent ARPAT	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Çalışma Ekonomisi Ve Endüstri İlişkileri Bölümü, Bandırma, BALIKESİR
Doç. Dr. Mustafa Selman AYDOĞAN	Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, BALIKESİR
Doç. Dr. Savaş BAYRAM	Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, KAYSERİ
Doç. Dr. Önder Halis BETTEMİR	İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, MALATYA
Doç. Dr. Özgü CAN	Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü İZMİR
Doç. Dr. Gülden DOĞAN	Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü, ELAZIĞ
Doç. Dr. Asuman ARSLAN DURU	Uşak Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü, UŞAK
Doç. Dr. Gökhan BÜYÜK	Adıyaman Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ziraat Mühendisliği Bölümü, ADIYAMAN
Doç. Dr. Züleyha DEĞİRMENCİ	Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, GAZİANTEP
Doç. Dr. Tahir GÖNEN	Uşak Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, UŞAK
Doç. Dr. Gökhan GÖRHAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, AFYONKARAHİSAR
Doç. Dr. Hikmet ELDEK GÜNER	İzmir Demokrasi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü Restorasyon Anabilim Dalı, İZMİR
Doç. Dr. Yelda KADIOĞLU	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü, AYDIN
Doç. Dr. Ezgi TAYLAN KOPARAN	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Ereğli Eğitim Fakültesi Matematik Ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, ZONGULDAK
Doç. Dr. Çetin KURNAZ	Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, SAMSUN
Doç. Dr. Gökhan KÜRKLÜ	Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, AFYONKARAHİSAR
Doç. Dr. Müge ENSARİ ÖZAY	Üsküdar Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, İSTANBUL
Doç. Dr. Recep ÖZDAĞ	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, VAN
Doç. Dr. Hakan ÖZDEMİR	Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, İZMİR
Doç. Dr. Ertekin ÖZTEKİN	Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, GÜMÜŞHANE

Dr. Öğretim Üyesi Melih Naci AĞAOĞLU	Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mühendislik Ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, TOKAT
Dr. Öğretim Üyesi Özge BOZGEYİK	Hasan Kalyoncu Üniversitesi Güzel Sanatlar Ve Mimarlık Fakültesi, GAZİANTEP
Dr. Öğretim Üyesi Esra GÜRSOY	Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, AĞRI
Dr. Öğretim Üyesi Zeynep Feride OLCAY	İstanbul Aydın Üniversitesi Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Mülkiyet Koruma Ve Güvenlik Bölümü İş Sağlığı Ve Güvenliği Pr. İSTANBUL
Dr. Öğr. Üyesi Başar SEVİNDİK	İzmir Demokrasi Üniversitesi, İZMİR
Dr. Öğretim Üyesi Gözde KILINÇ	Amasya Üniversitesi Suluova Meslek Yüksekokulu, AMASYA
Dr. Öğretim Üyesi Tefide KIZILDENİZ	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, NİĞDE
Dr. Öğretim Üyesi Ahmet TAŞER	Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Patnos Meslek Yüksekokulu, AĞRI
Dr. Öğretim Üyesi Melis ALPASLAN TAKAN	Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, BİLECİK
Dr. Öğretim Üyesi Zeynep UZUNOĞLU	Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Patnos Meslek Yüksekokulu, AĞRI
Dr. Öğretim Üyesi Umut YÜCEL	Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, NEVŞEHİR
Öğretim Gör. Alper TÛTÛNSATAR	Süleyman Demirel Üniversitesi, ISPARTA



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

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

Year (Yıl): 2023, Volume (Cilt):6, Number (Sayı):3

CONTENTS (İçindekiler)

RESEARCH ARTICLES ( ARAŞTIRMA MAKALELERİ)	Sayfalar
<b>Behlül SEVİM, Erinç GÜMÜŞ, Selim SIRAKAYA, Yusuf CUFADAR, Selma BÜYÜKKILIÇ BEYZİ</b> Farklı Oranlarda Sodyum Format İlavesi İle Hazırlanan Mısır Silajının Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi <i>Determining the Effect of Sodium Format Supplementation at Different Levels on Corn Silage Quality</i>	1768-1784
<b>Yavuz Selim İŞLER</b> Özel Başlangıç Koşulları Altında Lineer LIF Nöron Modelinin Analizi ve Çözüm Metodu <i>Analysis of Linear LIF Neuron Model under Particular Initial Value Conditions and Solution Method</i>	1785-1795
<b>Ayşe KAROĞLU, Furkan TÜRK, Ülkü Sultan KESKİN</b> Comparison of the Effect of Nano Cellulosic Additives on the Rheological Parameters of Cement Paste <i>Nano Selülozik Katkıların Çimento Hamurunun Reolojik Parametrelerine Etkisinin Karşılaştırılması</i>	1796-1809
<b>Leyla KALENDER, Hatice KARA, Azar AKHUNDLU</b> Metaboksitin Pb İzotopik Özellikleri Üzerine Bir Çalışma (Milas-Muğla-Türkiye) <i>A Study on Pb Isotopic Characteristics of Bauxite (Milas-Muğla-Türkiye)</i>	1810-1819
<b>Yaşar Serhat SAYGILI, Bülent ÇAKMAK</b> TR31 Bölgesi Tarımsal Mekanizasyon Düzeyinin İncelenmesi <i>Investigation of Agricultural Mechanization Level of TR31 Region</i>	1820-1833
<b>Nusret BOZKURT, Erden Ozan KARACA</b> Bitlis Yöresi İgnimbiritleri ile Oluşturulan Numunelerin Dayanım Sonuçlarının Tespitinde Bulanık Mantık Yönteminin Kullanılabilirliğinin Araştırılması <i>Investigation of the Usability of the Fuzzy Logic Method in Determining the Strength Results of the Samples Created by Bitlis Region Ignimbrites</i>	1834-1850
<b>Bülent ÇAKIR, Celaleddin BARUTÇULAR</b> Mısır Bitkisinde Yaprakdan Uygulanan Eksogen Uygulamalarının Bitkideki Azota ve Verime Etkisi <i>The Effect of Foliar Exogenous Applications on Nitrogen and Yield in Corn Plant</i>	1851-1863
<b>Mehmet Ersin AYTEKİN, Ali YÜCE, Berdan ÖZKURT</b> Nano Boyutta Kalay ve Sodyum Katkılı Bi-2212 Süperiletken Sisteminde Elektriksel Özelliklerin Matematiksel Formülasyonlarının Elde Edilmesi <i>Obtaining Mathematical Formulations of Electrical Properties in Nanosized Tin and Sodium Doped Bi-2212 Superconductor System</i>	1864-1877
<b>A.Yeliz GÖGEBAKAN, Mücahit YILDIRIM</b> Kültürel Mirasın Turizm Açısından Değerlendirilmesi: Şanlıurfa Barutçu Hanı Örneği <i>The Evaluation of Cultural Heritage in Terms of Cultural Tourism: The Case of Barutçu Khan in Şanlıurfa</i>	1878-1889
<b>İlker İbrahim AVŞAR, Orhan ECEMİŞ</b> Türkiye'nin İthalat ve İhracatının Veri Madenciliği Yöntemleriyle Tahmini <i>Forecast of Turkey's Import and Export Data</i>	1890-1907
<b>Zehra KAMIŞLI ÖZTÜRK, Emine TUTSUN</b>	1908- 1926

<b>Çok Oturumlu Sınavlarda Kitapçık Optimizasyonu</b> <i>Booklet Optimization in Multiple Session Exams</i>	
<b>Zeyneb KAHRAMAN, Keriman YÜRÜTEN ÖZDEMİR</b> <b>İklim Değişikliğine Bağlı Sıcaklık Artışının Tarım Sektöründe İş Kazalarına Etkisi</b> <i>The Effect of Temperature Increase Due to Climate Change on Occupational Accidents in the Agriculture Sector</i>	1927-1942
<b>Hasan Oğuz ZOROĞLU, Emine İKİKAT TÜMER</b> <b>Türkoğlu Ovası Arazi Toplulaştırma ve Tarla İçi Geliştirme Hizmetleri Projesinde Yer Alan Tahtalideder ve Kuyumcular Mahallelerinin Dar Kapsamlı Başarı Analizi Üzerine Bir Araştırma</b> <i>A Research on Narrow-Scope Success Analysis of Tahtalidedeler and Kuyumcular Neighborhoods in the Türkoğlu Plain Land Consolidation and In-Field Development Services Project</i>	1943-1958
<b>Murat ÇAVUŞ, Şinasi BİNGÖL</b> <b>Farklı Molaritelere sahip KOH Çözeltisi Kullanılarak Üretilen Cüruf Esaslı Geopolimer Harçlarda Kür Sıcaklığı Etkisinin İncelenmesi</b> <i>Curing Temperature Effect on Slag Based Geopolymer Mortars Produced Using KOH Solution with Different Molarities</i>	1959-1970
<b>Osman Murat ÖZKENDİR</b> <b>Değişen Sıcaklık Koşullarının LiNi<sub>2</sub>Sn Malzemesinin Elektronik Seviyeleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması: Bir Ab-Initio Çalışması</b> <i>Investigation of the Effects of Varying Temperature Conditions on the Electronic Levels of LiNi<sub>2</sub>Sn Material: An Ab-Initio Study</i>	1971-1980
<b>İlknur AKÇA, Dilek TEKDAL</b> <b>Farklı Fasulye (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) Genotipinin Mersin İli İklim Koşullarındaki Gelişim Durumunun Morfolojik Olarak İncelenmesi</b> <i>Morphological Investigation of Developmental Status of 10 Different Bean (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) Genotypes in Climate Conditions of Mersin Province</i>	1981-1989
<b>Tugrul TALASLIOĞLU, Gokhan YUCEL</b> <b>A Review of Fundamental Approaches for Fatigue Analysis of Welded Steel Joints</b> <i>Kaynaklı Çelik Birleşimlerin Yorulma Analizinde Kullanılan Temel Yaklaşımların Gözden Geçirilmesi</i>	1990-1997
<b>Olçay ALTINTAŞ, Erkan TETİK</b> <b>Detection of Toxic Gases Using Flexible Metamaterial Absorber at Terahertz Frequencies</b> <i>Terahertz Frekanslarında Esnek Metamalzeme Emici Kullanarak Zehirli Gazların Tespiti</i>	1998-2008
<b>Eren ÖNER</b> <b>Tüketici Sonrası Tekstil Atıklarının Geri Dönüşümüne Yönelik Tüketici Tutumlarının İncelenmesi</b> <i>Investigation of Consumer Attitudes towards the Recycling of Post-Consumer Textile Waste</i>	2009-2022
<b>İbrahim KARATAŞ, Abdulkadir BUDAK</b> <b>İnşaat Sektöründe Yalın İnşaatın ve Yapı Bilgi Modellemesinin Birlikte Kullanılmasının Atıklara Etkisi</b> <i>The Effect of Using Lean Construction and BIM System Together on Waste in the Construction Industry</i>	2023-2033
<b>Halil ÖZERLİ</b> <b>Düşük Frekanslarda Ag/GO-NiO/p-Si/Al Yapısının Frekans ve Voltaja Bağlı Özellikleri</b> <i>Frequency and Voltage Dependent Properties of Ag/GO-NiO/p-Si/Al Structure at Low Frequencies</i>	2034-2045
<b>Yakup ERMURAT</b> <b>Bioprocesses Modeling of Acidolysis and Redoxolysis Activities of [Fe<sup>+3</sup>] and [Fe<sup>+2</sup>] Iron by <i>Saccharomyces cerevisiae</i> and <i>Acetobacter aceti</i></b> <b>[Fe<sup>+3</sup>] ve [Fe<sup>+2</sup>] Demirin Asidoliz ve Redoksoliz Aktivitelerinin <i>Saccharomyces Cerevisiae</i> ve <i>Acetobacter Aceti</i> ile Biyoproses Modellemesi</b>	2046-2062
<b>Nazlı AYBAR YALINKILIÇ, Şilan ÇİÇEK, Sema BAŞBAĞ</b> <b>Bazı Şeker Pancarı (<i>Beta vulgaris</i> L.) Çeşitlerinde Farklı Tuz Konsantrasyonlarının Çimlenme ve Erken Gelişim Dönemine Etkisi</b> <i>The Effect of Different Salt Concentrations on Germination and Early Development of Some Sugar Beet (<i>Beta Vulgaris</i> L.) Cultivars</i>	2063-2075
<b>Handan ÖZLÜ TORUN, Soner ÇAKAR, Rabia KIRKGEÇİT, Fatma KILIÇ DOKAN</b> <b>Sol-Jel Yöntemiyle Sentezlenen CeO<sub>2</sub>:0,1Er<sub>0,1</sub>Y Bileşiğinin Farklı Boyalar ile Fotokatalitik Aktivitelerinin İncelenmesi</b> <i>Investigation of Photocatalytic Activities of CeO<sub>2</sub>:0.1Er<sub>0.1</sub>Y Compound Synthesized by Sol-Gel Method with Different Dyes</i>	2076-2085
<b>Murat ÖZTÜRK, Fatih Özkan ALKURT, Umur Korkut SEVİM, Oğuzhan AKGÖL, Muharrem KARAASLAN</b> <b>Direct Analysis of Chlorine Ionized Mortar and Its Sensor Application By 2,45GHz Antennas</b> <i>Klor İyonize Harcın Doğrudan Analizi ve 2,45GHz Antenler ile Sensör Uygulaması</i>	2086-2094



<b>Mevlüde TATAR</b> <b>Anther Culture Method on Haploid Plant in Pepper (<i>Capsicum annuum</i> L.)</b> <i>Biberde (<i>Capsicum annuum</i> L.) Haploid Bitki Eldesinde Anter Kültürü Yöntemi</i>	2095-2105
<b>Esin BUDAK, Zeki YILDIZ, Mehmet SANDAL</b> <b>İki Örneklem Behrens-Fisher Problemi İçin Farklı İstatistiksel Test Yöntemlerinin Karşılaştırılması</b> <i>Comparison of Different Statistical Test Methods for Two Samples Behrens-Fisher Problem</i>	2106-2122
<b>Sebahat Sinem ÖZYURT ÖKTEN, Asuman AYSU</b> <b>Işık Kirliliğinin Kentsel Yaşam Kalitesi Üzerine Etkisinin Araştırılması: İskenderun/Hatay Örneği</b> <i>Investigation of the Effect of Light Pollution on Quality of Urban Life: The Case of Iskenderun/Hatay</i>	2123-2135
<b>Burhan BARAN</b> <b>Impact of Covid-19 Outbreak on Turkey Electricity Generation</b> <i>Covid-19 Salgınının Türkiye Elektrik Üretimine Etkisi</i>	2136-2153
<b>Tuğçe DALLI, Esra KÜTÜKÇÜ</b> <b>Türkiye’de Tarım, Yenilenebilir ve Yenilenemez Enerji Tüketimi, Doğrudan Yabancı Sermaye ve CO<sub>2</sub> Emisyonu Arasındaki İlişki: ARDL Analizi</b> <i>The Relationship Between Agriculture, Renewable and Non-Renewable Energy Consumption, Foreign Direct Capital and CO<sub>2</sub> Emissions in Turkey: ARDL Analysis</i>	2154-2170
<b>Nilgün KALKANCI, Tuğba ŞİMŞEK, Ertuğrul İLİKÇİOĞLU, Gökhan BÜYÜK, Nevzat ASLAN</b> <b>Antepfıstığı Yetiştirilen Toprakların Bazı Verimlilik Özelliklerinin Belirlenmesi</b> <i>Determination of Some Fertility Characteristics of Pistachio Cultivated Soils</i>	2171-2182
<b>Fatih TEZCAN, Meltem KAHYA DÜDÜKCÜ</b> <b>Fotoelektrokimyasal Yolla Hidrojen Gazı Üretiminde Kullanılan BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Fotoelektrodunun RuO<sub>2</sub> İle Katalitik Etkinliğinin Artırılması</b> <i>Increasing The Catalytic Efficiency with RuO<sub>2</sub> of BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Photoelectrode Used in The Photoelectrochemical Production of Hydrogen Gas</i>	2183-2200
<b>Mehmet Erman MERT, Başak DOĞRU MERT</b> <b>Environmentally Friendly Route for Synthesis of CuO Nanoparticles</b> <i>CuO Nanopartiküllerinin Sentezi İçin Çevre Dostu Yol</i>	2201-2212
<b>Melih Gazi KIRPIK, Hamit TURKMEN, Tuğrul SAPMAZ, Fethiye YALÇIN, Mehmet Pars SEZER</b> <b>Application of Ashby Method for Optimization of High Strength, Low Priced Bucket for Silo Elevators</b> <i>Silolarda Kullanılan Elevatör Kovalarının Maliyet ve Mukavemet Açısından Ashby Metodu ile Optimizasyonu</i>	2213-2233
<b>Hilal YAVUZ, Münevver Müge ÇAĞAL, Hilal ÇALIK, Rabia ÇAKIR KOÇ, Musa TÜRKER</b> <b>Fesleğenden (<i>Ocimum Basilicum</i> L.) Sentezlenen Gümüş Nanopartiküllerin İnsan Akciğer Kanseri Hücrelerinde Antikanser Aktivitesinin Araştırılması</b> <i>Investigation of Anticancer Activity of Silver Nanoparticles Synthesized from Basil (<i>Ocimum Basilicum</i> L.) in Human Lung Cancer Cells</i>	2234-2246
<b>Merve DENİZ, Nur UMAR</b> <b>Tarsus Tarihi Ticaret Merkezinin Kentsel Mekân Düzeninde Değerlendirilmesi ve Koruma Önerileri</b> <i>Evaluation of Tarsus Historical Trade Center in Urban Space Layout and Conservation Suggestions</i>	2247-2266
<b>Mustafa MUTLU, Mustafa KARA</b> <b>5G Üst Bandı 38 GHz’de Çalışan Dikdörtgen Yamalı Mikroşerit Anten</b> <i>Rectangular Patch Microstrip Antenna Operating at 5G Upper Band 38 GHz</i>	2267-2281
<b>Murat KORUNUR, Sibel KORUNUR</b> <b>Tsallis Holographic Dark Energy with Granda-Oliveros Scale in Bianchi-Type V Universe</b> <i>Bianchi Tip-V Evreninde Granda-Oliveros Ölçekli Tsallis Holografik Karanlık Enerji</i>	2282-2295
<b>Veysel Burak BOYSAL, Şahin Tolga GÜVEL</b> <b>Yapı Denetim Mevzuatında Tespit Edilen Problemlerin Osmaniye İli Özelinde Değerlendirilmesi</b> <i>Evaluation Of The Problems Identified In The Building Inspection Legislation in Osmaniye Province</i>	2296-2315
<b>Mahmut ÇAYLAR, Beyhan TAHTA, Erkan AYGÖRDÜ, Ali Burak SÜNBÜL, Serhan URUŞ</b> <b>Su Numunelerinde Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH) Katı Faz Ekstraksiyonu İçin Adsorben Üretimi</b> <i>Adsorbent Production for Solid Phase Extraction of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) in Water Samples</i>	2316-2331
<b>Abdurrahman ACAR, Olcayto KESKİNKAN, Hasan Kıvanç YEŞİLTAŞ</b> <b>Bazı Atık Materyallerin Bina ve Tesis İçinde Gürültü Önlemede Kullanımının Araştırılması</b> <i>Investigation of the Use of Some Waste Materials for Noise Prevention in the Building and Facility</i>	2332-2343
<b>Gülizar HOŞTEN, Necla DALBAY</b> <b>Yüksek Öğretimde Sıfır Atık Yönetimi Algısı: Kimya Bölümü Öğrencileri Üzerine Bir Uygulama</b> <i>Zero Waste Management in Higher Education: A Study on Chemistry Students</i>	2344-2360

<b>Fatih EVLİ, Osman GIDİK, Meltem EVLİ, Betül GIDİK, Murat KUL</b> <b>Türkiye'deki Profesyonel ve Amatör Lig Futbolcularının Organik Gıda Tercihlerinin Çeşitli Değişkenler Açısından İncelenmesi</b> <i>Investigation of the Organic Food Preferences of Professional and Amateur League Football Players in Turkey in Terms of Various Variables</i>	2361-2377
<b>REVIEWS ( DERLEMELER)</b>	
<b>Evrin ÇELİK MADENLİ, Umut BEKÇİ, Titah Haritul ICHWANI</b> <b>Türkiye'de Yenilenebilir Enerjinin Mevcut Durumu</b> <i>Current Status of Renewable Energy in Turkey</i>	2378-2391
<b>Nehir TOKGÖZ, Özge SÜFER</b> <b>Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğine Genel Bir Bakış</b> <i>An Overview About Computational Fluid Dynamics</i>	2392-2408

## Farklı Oranlarda Sodyum Format İlavesi İle Hazırlanan Mısır Silajının Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi

Behlül SEVİM<sup>1\*</sup>, Erinç GÜMÜŞ<sup>2</sup>, Selim SIRAKAYA<sup>3</sup>, Yusuf CUFADAR<sup>4</sup>, Selma BÜYÜKKILIÇ BEYZİ<sup>5</sup>

<sup>1,2</sup>Aksaray Üniversitesi Eski Meslek Yüksekokulu Veterinerlik Bölümü, 68800 Aksaray

<sup>3</sup>Aksaray Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Gıda İşleme Bölümü, 68800 Aksaray

<sup>4</sup>Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü, 42200 Konya

<sup>5</sup>Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü, 38030 Kayseri

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-2996-3241>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-6839-8428>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0003-2733-1726>

<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0001-9606-791X>

<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0002-4622-0645>

\*Sorumlu yazar: behluls68@gmail.com

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 13.11.2022

Kabul tarihi:24.01.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Silaj  
Organik Asit  
Kalite  
Sodyum format

### ÖZ

Bu çalışma, farklı seviyelerde ilave edilen sodyum formatın, mısır silajı kalitesi üzerine etkisini belirlemek amacı ile yürütülmüştür. Araştırmada kullanılan mısır bitkisinin daneleri hamur olum döneminde iken hasat edilmiş ve yaklaşık 1,5-2,0 cm boyutunda parçalanmıştır. Parçalanmış taze materyale %1 ve %2 oranında ilave edilerek silajları yapılmıştır. Fermantasyon sürecinin sonunda silajlar açılarak; kimyasal, mikrobiyolojik ve organik asit analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre sodyum format ilavesiyle, mısır silajı kimyasal içerikleri değişmemiştir ( $P>0,05$ ). Muamele gruplarında pH seviyesinde artış ( $P<0,05$ ), laktik asit, asetik asit, propiyonik asit ve bütirik asit değerlerinde ise azalma görülmüştür ( $P<0,05$ ). Mikrobiyolojik bakımdan maya popülasyonu muamele gruplarında önemli seviyelerde artmıştır ( $P<0,05$ ). Sonuç olarak mısır silajına %1 ve %2 oranında sodyum format ilavesi kimyasal kompozisyonu etkilememiştir fakat fermantasyon parametrelerini olumsuz yönde etkilemiştir.

## Determining the Effect of Sodium Formate Supplementation at Different Levels on Corn Silage Quality

### Research Article

#### Article History:

Received: 13.11.2022

Accepted: 24.01.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Silage  
Organic acid  
Quality  
Sodium formate

### ABSTRACT

This study was carried out to determine the effect of sodium formate supplemented at different levels on the quality of corn silage. The maize used in the research was harvested when the grain was in the dough ripening stage and was chopped into approximately 1,5-2,0 cm in size. 1% and 2% sodium formate was added to the shredded fresh material and siloed. Upon completion of the fermentation process, the silages were opened, and chemical, microbiological, and organic acid analyses were conducted. The results of the study indicate that, the addition of sodium formate did not result in any change in the chemical content of the corn silage ( $P>0.05$ ). However, there was an increase in the pH levels in the treatment groups ( $P<0.05$ ), while there was a decrease in the values of lactic acid, acetic acid, propionic acid, and butyric acid ( $P<0.05$ ). Microbiologically, there was a significant increase in the yeast population in the treatment groups ( $P<0.05$ ). In conclusion, the addition of 1% and 2% sodium formate to corn silage did not affect the chemical composition, but it did have a

**To Cite:** Sevim B., Gümüş E., Sırıkaya S., Cufadar Y., Beyzi SB. Farklı Oranlarda Sodyum Format İlavesi İle Hazırlanan Mısır Silajının Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(3): 1768-1784.

## Giriş

Ülkemizde silaj yapımı amacı ile yetiştirilen en önemli yem bitkisi mısırdır. Mısır, insan ve hayvan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir. Mısırın, kullanım alanları oldukça geniş olup tahıllar içerisinde en yüksek verimi sağlayan, güneş enerjisini en iyi kullanan ve birim alandan en fazla kuru madde veriminin alındığı bir bitkidir. Ülkemizde; mısır dane ve silajlık olarak ekimi yaygın biçimde gerçekleştirilmektedir (Alagöz ve ark., 2020). Ayrıca ihtiva ettiği fermente olabilir karbonhidrat içeriğinden dolayı fermantasyon kalitesi iyi olan birim alandan en fazla sindirilebilir besin maddesi sağlayan, lezzetli ve besleme değeri yüksek olan, siloda uzun süre saklanabilen ve kış mevsiminde taze-sulu yem olarak tüketilebilen ideal bir bitkidir (Turan ve Yılmaz, 2000; Gürel ve ark., 2009; Alagöz ve Türk, 2020; Aydın ve ark., 2020).

Mısır silajının besin madde değerlerinin optimum düzeyde korunması için silolanma süresince bitkinin hava ile temasının kesilmesi, istenmeyen mikroorganizmaların üremesinin önlenmesi ve aerobik mikroorganizmaların kontrol altında tutulması önem taşımaktadır (Gheller ve ark., 2021). Olumsuz fermantasyon riskinin azaltılması ve silodaki fermantasyonun garanti altına alınması amacıyla günümüzde silaj katkı maddesi olarak farklı kimyasal ve biyolojik katkıları kullanılmaktadır (Henderson, 1993). Organik asitler ve bu asitlerin tuz formları bakterisit etkileri ve ortam pH'ını hızla düşürmesi özellikleri nedeniyle silaj katkı maddesi olarak değerlendirilmektedir (Lv ve ark., 2020; Gheller ve ark., 2021).

Organik asitler arasında formik asit, asetik asit ve propiyonik asit silajlarda fermantasyon sürecini düzenleyerek besin kalitesini artırması ve oksijenle temas eden silo bitkilerinde maya ve küf üremesini engellediği için yaygın olarak kullanılmaktadır (Jiang ve ark., 2020; Gheller ve ark., 2021). Organik asitler keskin kokuları ve kullanım güçlüklerinden dolayı daha güvenli olan sodyum format (SF) gibi tuz formları hayvan besleme alanında tercih edilmektedir (Lv ve ark., 2020; Gheller ve ark., 2021). Formik asit *Enterobacteriaceae*'nin üremesini inhibe ederek ve ortamı asitleştirerek pH üzerinde doğrudan etki göstermekle birlikte maya ve küflerin üremesinin baskılanmasında diğer organik asitlere göre daha yetersiz kaldığı bildirilmektedir (Jiang ve ark., 2020).

Organik asitlerin silaj katkısı olarak yapılan çalışmalar incelendiğinde, SF ilavesinin yaş bira posası silajının kalite özelliklerini iyileştirdiği, laktik asit bakterilerinin artmasını, Clostridialar gibi istenmeyen mikroorganizmaların üremesinin baskılanmasına yardım ettiği görülmüştür (Lv ve ark., 2020). Bu konuda yapılan farklı bir araştırmada formik asit katkısının korunga silajının kuru madde (KM) düzeyini diğer gruplara göre istatistiksel bir farklılık meydana geldiği görülmüş, KM düzeylerinin %28,25-34,83 arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir (Bingöl ve ark., 2008). Chamberlain ve Quig (1987) formik asidin silajlarda 4 lt/ton seviyelerinde kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada ise, mısır silajlarına ilave edilen sodyum formatın kimyasal kompozisyon, sindirilebilirlik,

enerji değerleri, fermantasyon özellikleri ve mikrobiyal flora üzerine olası etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## Materyal ve Metot

### Silaj Hazırlanması

Silaj materyali olarak Adana’da özel bir işletmeden silajlık amaçlı yetiştirilen, süt olum dönemi sonunda hasat edilmiş mısır bitkisi (*Zea mays*) kullanılmıştır. Hasat anındaki taze mısır materyalinin kimyasal özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Silajlık mısır laboratuvar tipi silaj makinasında yaklaşık 1,5-2,0 cm büyüklükte parçalara ayrılmış ve homojen şekilde karıştırılarak rastgele 3 gruba ayrılmıştır. 1. grup kontrol grubu (KNTRL) katkı maddesi ilavesiz, 2. ve 3. gruplara sırasıyla %1 ve %2 oranında SF ilave edilmiştir.

Her bir gruptan 4 tekerrürlü olmak üzere toplam 12 adet silaj yapılmıştır. Her bir silaj grubu 1 kg olacak şekilde plastik bir kapta homojen oluncaya kadar el ile karıştırılmıştır. Daha sonra 30x35 cm boyutlarındaki polietilen vakum poşetlerine yerleştirilmiştir. Vakum poşetleri içerisindeki hava, vakum makinesi (Multivac C 200) marifetiyle alınarak anaerobik ortam sağlanmış ve vakum poşetlerinin ağız kısmı otomatik olarak kapatılmıştır. Sonrasında 60 gün boyunca ortam sıcaklığı 20-25°C olan laboratuvar ortamında fermantasyona bırakılmıştır.

**Tablo 1.** Hasat zamanı taze mısırın besin ve enerji değerleri

Kimyasal Analiz Değerleri		Hesaplanan Değerler	
Kuru Madde %	31,5	NFC %	39,2
Ham Protein %	7,1	SKM%	64,3
Ham Yağ %	2,3	KMT %	2,4
Ham Kül %	4,2	NYD	128,0
Nişasta %	25,1	TDN <sub>IX</sub> %	68,2
ADF %	31,0	ME (Mkal/kg)	2,5
NDF %	46,0	NE <sub>L3X</sub> (Mkal/kg)	1,8
Ham Selüloz %	27,1	NE <sub>M</sub> (Mkal/kg)	1,6

ADF: Asit deterjanda çözünmeyen lif NDF: Nötral deterjanda çözünmeyen lif, ADL: Asit deterjanda çözünmeyen lignin, NFC: Fiber olmayan karbonhidratlar, SKM: Sindirilebilir kuru madde, KMT: Kuru madde tüketimi (vücut ağırlığı yüzdesine göre), NYD: Nispi yem değeri, TDN: Toplam sindirilebilir besinler, ME: Metabolik enerji, NE<sub>L</sub>: Net enerji laktasyon, NE<sub>M</sub>: Net enerji yaşama payı

## **Kimyasal Analizler**

60 gün fermantasyona bırakılan mısır silajı numuneleri laboratuvar ortamında açılmıştır. Silajlarda; kuru madde (KM), ham protein (HP), ham yağ (HY), ham kül (HK), ham selüloz (HS), asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF), nötr deterjan çözünmeyen lif (NDF), asit deterjanda çözünmeyen lignin (ADL), asit deterjanda çözülmeyen protein (ADICP), nötral deterjanda çözünmeyen protein (NDICP) ve nişasta analizleri yapılmıştır. Bu analizler için her silajdan yaklaşık 200 gr numune etüvde (~48 h, 60°C±1) kurutulularak kuru madde oranları belirlenmiştir. Kurutulan numuneler, laboratuvar değirmeninde (IKA MF.10) 1 mm. partikül boyutlarında öğütülmüş olup; öğütülen numuneler kilitli poşetlere aktararak kimyasal analizler için kullanılmıştır. Ham protein Dumas metodu ile azot miktarının tespit edilmesi esasına göre tayin edilmiştir (Aoac 2006). Tespit edilen azot miktarı 6,25 faktörü ile çarpılarak ham protein değeri tespit edilmiştir. Ham yağ analizi ekstraksiyon metodu (Ankom XT15) ile yapılmış ve petrol eteri çözücü olarak kullanılmıştır (Aocs Am 5-04). Ham kül analizi, numunelerin 550 °C kül fırınında (Carbolite Elf 11/6) yakılması ile yapılmıştır (Aoac 2005). Ham selüloz için yağdan arındırılan numunelerin sırasıyla önce sülfürik asit daha sonra sodyum hidroksit çözeltisinde kaynatılması ve daha sonrasında kalan kütlenin yakılması neticesinde belirlenmiştir (Iso 2000). ADF asit deterjan solüsyonunda, NDF ise nötral deterjan solüsyonunda numunelerin kaynatılması esasına göre yapılmıştır. ADL analizi ise ADF analizi sonrasındaki kalan numunelerin konsantr (%72) sülfürik asit muamelesi neticesinde tespit edilmiştir (Van Soest ve Robertson, 1991). ADICP ve NDICP için ham protein analizinde belirtilen metot kullanılmıştır. Nişasta polarimetrik yöntem ile belirlenmiştir (Iso 1997).

## **Sindirilebilirlik ve Enerji Hesaplamaları**

Kimyasal analizlere göre sindirilebilirlik ve enerji değerleri hesaplanmıştır. Bu kapsamda fiber olmayan karbonhidrat (NFC), sindirilebilir kuru madde (DDM), kuru madde tüketimi (KMT %vücut ağırlığına göre), nispi yem değeri (NYD), toplam sindirilebilir besinler (TDN<sub>1X</sub>), metabolik enerji (ME), net enerji maintenance (NE<sub>M</sub>), net enerji gain (NE<sub>G</sub>), net enerji laktasyon (NEL<sub>3X</sub>) değerleridir. Bu değerler Nutrient Requirements of Dairy Cattle'de (NRC 2001) belirtilen formüllere göre hesaplanmıştır.

## **pH ve Organik Asit Analizleri**

Silaj numuneleri, miktarı %20 olacak şekilde saf su ile karıştırılmış olup, karışım filtre kâğıdından süzülerek, süzütünün asitlik seviyesi pH metre (Milwaukee MW102, USA) ile ölçülmüştür.

Organik asit analizleri için 40 gr örnek 360 ml. saf su ile karıştırılmış, karışım Whatman 54 filtre kâğıdı ile süzülmüş ve bu süzükler analiz edilene kadar -20°C'de saklanmıştır. Laktik asit için Lepper'in kısaltılmış metodu (Akyıldız, 1984), kullanılmıştır. Asetik, propiyonik ve bütirik yağ asitleri analizleri için de gaz kromatografisi (GC-MS) kullanılmıştır.

## **Mikrobiyolojik Analizler**

Numuneleri açılır açılmaz maya-küf analizine tabi tutulmuştur. Maya-küf analizi için, Potato Dextrose Agar (PDA) (Merc, Darmstadt, Germany) besi yeri kullanılmış ve yayma plak yöntemi tercih edilmiştir. 10 gr numune 90 ml peptonlu su ile karıştırılarak  $10^{-1}$  dilüsyonu hazırlanmıştır. Bu dilüsyondan  $10^{-4}$ 'e kadar seyreltilmiştir. Sonrasında bu dilüsyonlardan petri kaplarına ekim yapılmıştır. Petri kapları etüvde ( $25^{\circ}\text{C}\pm 1$ ) 5 gün boyunca inkübasyona bırakılmış ve sonrasında maya-küf sayımı yapılmıştır.

## **İstatistik Analiz**

Çalışmaya ilişkin istatistikler, tek yönlü varyans analizi (ANOVA) prosedürü kullanılarak Minitab 16.1 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Homojen alt kümelerdeki gruplar için farklılık tespiti %95 güven aralığında Duncan (Duncan 1955) çoklu karşılaştırma testi kullanılarak yapılmıştır. Tüm veriler ortalama ve standart hata (ortalama $\pm$ sh) olarak ifade edilmiştir. Karşılaştırmalarda hesaplanan P değeri,  $P\leq 0,05$  olduğunda farklar anlamlı olarak kabul edilmiştir.

## **Bulgular ve Tartışma**

### **Kimyasal Analizler**

Hasat anındaki taze mısır materyaline ait kimyasal özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Araştırmada mısır silajının biçimden önceki kuru madde, ham protein, ham yağ, NDF, ADF, ham kül, nişasta ve metabolik enerji düzeyleri sırasıyla %31,5; %7,1; %2,3; %46,0; %31,0; %4,2; %25,1 ve 68,1 Mkal/kg olarak bulunmuştur. Yapılan bir araştırmada mısır silajının kimyasal bileşiminin, hibrit türü, agronomik uygulamalar, bitki büyüme ve silolama koşulları ve bitkinin hasattaki olgunluk aşamasından etkilendiği ifade edilmiştir (de Oliveira ve ark., 2017).

Filya ve Sucu (2005), taze mısır materyaline ait KM düzeyini %21,8 olarak bulurken; Okumuş (2021), taze mısır materyaline ait KM, HP, HY, HK, ADF, NDF ve ham selüloz düzeyini sırasıyla %26,61; %6,74; %2,01; %5,41; %26,68; %43,76 ve %17,08 olarak tespit etmiştir. Çalışmamızda elde ettiğimiz taze materyale ait HP değeri (%7,1), Arslan Duru ve Kaya (2016), Barmaki ve ark., (2017) ile Altınçekiç ve Filya (2018)'in belirledikleri HP düzeyinden (%8,73, %8,22 ve %7,2) düşük bulunmuştur. Jiang ve ark., (2020), taze mısır materyaline ait HY düzeyini %3,08 olarak saptamıştır. Yem hammaddelerinde özellikle kaba yemlerde besin madde değişiklikleri beklenen bir durumdur. Denemede elde edilen değerler ile diğer diğer çalışmalarda elde edilen değerler arasında da farklılıklar görülmektedir. Bu farklılıkların nedenleri kullanılan mısır çeşidi, hasat zamanının farklılığı, iklim ve toprak ve gübreleme gibi koşulların farklı olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Bu çalışmanın konusu kullanılan katkı maddesinin etkisi olması sebebiyle taze mısır bitkisinin diğer çalışmalardaki mısır bitkisi besin değerleri arasındaki olası farklar üzerinde odaklanılmayacaktır.

Muamele gruplarındaki (KNTRL, SF1 ve SF2) kimyasal kompozisyonundaki değişimi verimleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2 incelendiğinde KM değerlerinin gruplar arasında istatistiki bir farklılık oluşturmadığı, KM düzeylerinin %31,8-33,4 arasında değişim gösterdiği görülmüştür ( $P>0,05$ ). Silaj numunelerinin vakum poşetleri içerisinde yapılması, herhangi bir sızıntı kaybının olmasını önlemiştir. Bu sebeple muamele grupları arasında KM değeri bakımından istatistiksel olarak farklılık oluşmaması beklenen bir sonuçtur. Selwet (2008) mısır silajına formik asit ilavesinin 7 günlük silolamada KM’yi artırdığını ifade etmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçla mevcut çalışma arasındaki farklılığın sebebinin depolama yönteminden kaynaklanmış olduğu düşünülmektedir. Bir başka çalışmada (Kara, 2015) mısır silajına maleik asit (%0,5, 1,0 ve 1,5 seviyelerinde) uygulamasının silaj KM’si üzerine herhangi bir etkisinin olmadığı bildirilmiştir. Buna benzer şekilde Hafner ve ark., (2014), mısır silajına organik asit karışımının (68% propiyonik asit, asetik ve sorbik asit) kontrol grubu ile kıyaslandığında mısır silajında KM bakımından önemli bir farklılık oluşturmadığını belirtmişlerdir. Jiang ve ark., (2020), mısır silajının KM düzeyini %30,8 olarak bulurken, organik asit (formik, asetik ve propiyonik asit) katkılı mısır silajının KM’sini %30,76 olarak tespit etmiştir.

Ham protein düzeyi gruplarda %7,1-7,4 arasında değişim göstermiş, sodyum format katkısı, HP düzeyini kontrol grubuna göre artırsa da gruplar arasında istatistiki bir farklılık yaratmamıştır. Rowghani ve Zamiri (2009), mısır silajının HP düzeyini %6,27-7,37; de Oliveira ve ark., (2017), %6,13-9,73; Okumuş (2021), %6,28-7,62 arasında tespit etmiştir. Formik asidin HP üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada Selwet, (2008), formik asidin mısır silajına katkısının 7 günlük silolamada HP’yi artırdığını bildirirken; Kara (2015), organik asit olan maleik asidin mısır silajında HP’yi etkilemediğini belirtmiştir. Bir başka çalışmada ise Hafner ve ark., (2014) mısır silajına organik asit karışımının (%68 propiyonik asit, asetik ve sorbik asit) kontrol grubu ile kıyaslandığında mısır silajında HP bakımından anlamlı bir etkisinin olmadığını tespit etmişlerdir.

Ham yağ sonuçları irdelendiğinde HY değeri KNTRL ve SF1 grubunda sırasıyla %2,5 ve %2,7 iken; SF2 grubunda %2,8 olmuştur. Rowghani ve Zamiri (2009), mısır silajının HY düzeyini %1,67-3,00 arasında bulurken, çalışmamızda bu değer %2,5-2,8 arasında tespit edilmiştir.

Çalışmamızda ham kül (HK) oranındaki değişim istatistiksel olarak anlamlı çıkmamıştır ( $P>0,05$ ). Mısır silajına formik asit ilavesinin HK bakımından muamele grupları arasında anlamlı bir farklılık oluşturmadığı (Baytok ve ark., 2005) bildirilirken; Kara (2015)’da mısır silajına artan oranlarda maleik asit ilave ettiği çalışmada aynı sonucu bulmuştur. Bingöl ve ark., (2008) ise denemede elde ettiğimiz bulgudan farklı olarak, formik asit katkısının silajın HK düzeyini düşürdüğünü ifade etmiştir. Kung ve ark., (2015), mısır silajının HK düzeyini ortalama %3,9 olarak saptamıştır. Başaran ve ark., (2021) ise hamur döneminde biçilen silajlık mısır çeşitlerinin tanelerindeki HK oranının %2.10-2.51 arasında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir.

Nişasta değeri bakımından gruplar arasındaki fark anlamlı bulunmamıştır ( $P>0,05$ ). Nişasta değeri muamele gruplarında sırasıyla %25,3, 25,6, 25,3 olarak tespit edilmiştir. Mısırdaki tanelerdeki nişasta



granüllerinin etrafındaki protein matrisi, geviş getiren hayvanlarda nişasta sindirimini engeller. Ancak silo depolaması sırasında proteoliz, protein matrisini yavaşça kırar, böylece nişasta sindirilebilirliği depolama süresiyle artar (Muck ve ark., 2018). Bu konu ile ilgili olarak yapılan başka bir çalışmada Hafner ve ark., (2014) mısır silajına organik asit karışımının kontrol grubu ile kıyaslandığında mısır nişastasını açısından önemli bir farklılık oluşturmadığını bildirmişlerdir. Başaran ve ark., (2017) ise hamur döneminde biçilen silajlık mısır çeşitlerinin tanelerindeki nişasta oranının %60,88-67,45 arasında değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir.

ADF ve NDF değeri gruplar arasında farklılık belirlenmemiş ADF değeri %29,6-31,3; NDF değeri de %46,3-46,6 arasında saptanmıştır (P>0,05). ADICP değeri incelendiğinde ise gruplar arasında istatistiksel bir farklılık görülmemiştir (P>0,05) Mısır silajına formik asit ilavesinin ADF ve NDF değerlerini kontrol grubuna kıyasla istatistiki olarak etkilemediği bildirilirken (Baytok ve ark., 2005); Sniffen ve ark., (2006) ve Kara (2015), maleik ve malik asit artışına bağlı olarak NDF değerinin azaldığını ancak ADF değerlerinin etkilenmediğini ifade etmişlerdir. Mısır silajında yapılan bir diğer çalışmada ise Hafner ve ark., (2014) mısır silajına organik asit karışımının kontrol grubu ile kıyaslandığında mısır silajında ADF ve NDF bakımından önemli bir farklılık oluşturmadığını bildirmişlerdir. Rowghani ve Zamiri (2009), mısır silajının NDF ve ADF düzeylerini %63,37-67,66; 23,80-26,60 arasında tespit ederken; Oliveira ve ark., (2018), %47,83 ve %27,48 olarak saptamıştır. Çağır (2020) ise ADF ve NDF oranlarını %36,32 ve %47,77 olarak bildirmiştir.

Tablo 2 incelendiğinde NDICP açısından muamele grupları arasındaki farklılık önemli bulunmuştur (P<0,05). NDICP bitki hücre duvarlarına bağlı proteinlerdir. Mevcut çalışmada proteinlere ve yapısal karbonhidratlara bağlı kimyasal bağları kıran enzimler, SF'nin neden olduğu asidik koşullar altında inhibe edilmiş olup; bu durumun yüksek oranda bağlayıcı protein içeriğine sebep olduğu söylenebilir (Tian ve ark., 2021).

Ham selüloz değerlerine bakıldığında gruplar arasında bir fark görülmemiştir (P>0,05). Gruplarda HS değeri %26,3-27,5 arasında değişim göstermiştir.

### **Hesaplamayla Bulunan Parametreler**

Ruminant hayvan beslemede kullanılan yem hammaddelerinin önemli bir bileşeni NFC değeri olup fiber olmayan karbonhidratların ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Mevcut çalışmada Tablo 3'de verilen NFC değeri bakımında gruplar arasında önemli ölçüde farklı bulunmamış (P>0,05). NFC sonuçları KNTRL – SF1 – SF2 gruplarında sırasıyla %39,7 - %39,3 - %39,1 olarak gerçekleşmiştir. SF oranı arttıkça NFC değerinde kısmi bir azalma eğilimi göstermiştir. Bu değişim HP, HY, HK ve NDF değerlerine bağlı olarak değişmektedir.

Hemiselüloz değeri SF muamele oranı ile birlikte paralel bir artış göstermiştir ancak bu farklılık istatistiki olarak önemli olmamıştır (P>0,05). Bu değişim NDF ve ADF değerine bağlı olarak karşımıza çıkmaktadır.

**Tablo 2.** Mısır silajı kimyasal analiz sonuçları

Besin Değerleri*	Muamele Grupları			P Değeri
	KNTRL	SF1	SF2	
Kuru Madde %	31,8±0,38	31,9±0,69	33,4±0,41	0,132
Ham Protein %	7,1±0,12	7,4±0,17	7,4±0,38	0,700
Ham Yağ %	2,5±0,27	2,7±0,16	2,8±0,23	0,731
Ham Kül %	4,0±0,01	3,9±0,09	4,2±0,20	0,323
Nişasta %	25,3±0,33	25,6±0,66	25,3±0,88	0,921
ADF %	31,3±0,83	30,6±0,90	29,6±0,60	0,370
NDF %	46,5±0,50	46,6±0,66	46,3±0,57	0,946
ADICP	0,7±0,09	0,8±0,07	0,6±0,03	0,466
NDICP %	1,4 <sup>a</sup> ±0,06	1,2 <sup>ab</sup> ±0,07	1,0 <sup>b</sup> ±0,10	0,049
Ham Selüloz %	27,5±0,60	27,1±0,64	26,3±0,54	0,394
ADL %	3,7±0,41	3,4±0,20	3,2±0,20	0,591

KNTRL: Kontrol grubu, ADF: Asit deterjanda çözünmeyen lif, NDF: Nötral deterjanda çözünmeyen lif, ADICP: Asit deterjanda çözünmeyen ham protein, NDICP: Nötral deterjanda çözünmeyen ham protein, ADL: Asit deterjanda çözünmeyen lignin, Aynı satırdaki farklı harfler istatistiksel olarak farkı göstermektedir (P<0,05), \*Sonuçlar kuru madde üzerinden verilmiştir.

Sindirilebilir kuru madde (SKM) değeri bakımından muamele grupları arasında anlamlı bir farklılık saptanmamıştır (P>0,05). Bu durumun nedeni ADF değerinin gruplar arasında değişiklik göstermemesidir. SKM değerinin hesaplanmasında ADF değerleri kullanılmaktadır. Yapılan bir araştırmada SKM oranının, ekim zamanına göre farklılık gösterdiği, ortalama SKM düzeyinin %64,0-67,5 arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir (Çaçan ve İpekeşen, 2021). Atasever ve ark., (2020) ise SKM düzeyini %70,7-72,2 arasında saptamışlardır.

Kuru madde tüketimi (KMT) SF ilavesinden etkilenmemiştir. KMT değeri bütün muamele gruplarında %2,5 olarak hesaplanmıştır. KMT değeri bir ineğin vücut ağırlığına oranla, verilen yemden ne kadar tüketebileceğini hesaplamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu sonuçlardan da görüleceği üzere SF oranı arttıkça ineğin bu yemden tüketim oranının değişmeyeceği söylenebilir. Yapılan bir araştırmada KMT oranının, ekim zamanına göre farklılık gösterdiği, ortalama KMT düzeyinin %2,37-2,62 arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir (Çaçan ve İpekeşen, 2021). Atasever ve ark., (2020) ise KMT düzeyini % 2,23-2,69 arasında saptamışlardır.

Nispi yem değeri (NYD) kaba yemleri kalite sınıflarına göre ayırmak amacıyla kullanılan bir parametredir ve KMT ve SKM değerlerinin bileşkesidir. Mevcut çalışmada NYD değeri istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur. NYD değeri gruplarda 129,0-132,2 arasında değişim göstermiştir.

Kimyasal analiz sonuçlarının tüm ortak bileşkesi olan TDN<sub>1x</sub> (Total Digestible Nutrients, toplam sindirilebilir besinler) değeri için gruplar arasında istatistiksel bir fark bulunmamıştır (P>0,05). Mısır silajı gruplarında ME – NE<sub>L3x</sub>– NEM ve NEG değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde her bir enerji parametresi grubunun kendi içerisindeki farkı istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır.

**Tablo 3.** Mısır silajı sindirilebilirlik ve enerji değerleri

Besin Değerleri*	Muamele Grupları			P Değeri
	KNTRL	SF1	SF2	
NFC %	39,7±0,77	39,3±0,53	39,1±1,09	0,884
Hemiselüloz %	15,2±0,60	15,9±0,62	16,7±0,66	0,495
SKM %	64,5±0,64	65,0±0,70	65,8±0,46	0,370
KMT%	2,5±0,02	2,5±0,03	2,5±0,03	0,947
NYD	129,0±2,55	129,8±2,67	132,2±2,59	0,682
TDN <sub>1x</sub> %	68,3±0,79	68,8±0,39	69,2±0,15	0,524
ME (Mkal/kg)	2,5±0,03	2,5±0,02	2,5±0,01	0,574
NE <sub>L3x</sub> (Mkal/kg)	1,5±0,02	1,6±0,01	1,6±0,01	0,503
NE <sub>M</sub> (Mkal/kg)	1,6±0,02	1,6±0,01	1,6±0,01	0,488
NE <sub>G</sub> (Mkal/kg)	1,0±0,02	1,0±0,01	1,0±0,01	0,487

KNTRL: Kontrol grubu, NFC: Fiber olmayan karbonhidratlar, SKM: Sindirilebilir kuru madde, KMT: Kuru madde tüketimi(vücut ağırlığı yüzdesine göre), NYD: Nispi yem değeri, TDN<sub>1x</sub>: Toplam sindirilebilir besinler, ME: Metabolik enerji, NE<sub>L</sub>: Net enerji laktasyon, NE<sub>M</sub>: Net enerji yaşama payı, NE<sub>G</sub>: Net enerji büyüme, Aynı satırdaki farklı harfler istatistiksel olarak farkı göstermektedir (P<0,05). \*Sonuçlar kuru madde üzerinden verilmiştir.

### pH Seviyesi

Silajın kalitesinin göstergesi olan pH değerinin tespit edilmesi pratik anlamda önemli bir parametredir. Silajların muhafaza edilmesinde asidifikasyon istenilen bir durumdur. Hızlı fermantasyon ve asidifikasyon silajın daha uzun süreli korunmasını sağlar. Mısır silajına farklı seviyelerde SF ilavesinin pH üzerine etkileri Tablo 4’de verilmiştir. SF seviyesi ile birlikte pH değeri artış göstermiştir. KNTRL grubunda pH 3,7 iken; SF2 muamele grubunda pH 4,3 olarak bulunmuştur. SF ilave edilen gruplarda asidifikasyonun daha az olduğu görülmüştür. Bu durum SF ilavesinin fermantasyon sürecine katkısının olumlu olmadığını bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Mevcut

çalışmada ise SF ilavesi arttıkça pH kademeli olarak artış göstermiştir. Silaj içerisine ilave edilen organik asitler ortam pH'ını düşürerek ortamın asitlik gelişimini sağlayarak istenmeyen bakterilerin üremesine engel olduğu bildirilmektedir (Lv ve ark. 2020). Lv ve ark., (2020)'de SF katkısının silajın pH'ını düşürdüğünü ifade etmiştir. Benzer şekilde, Ke ve ark. (2017) sitrik ve malik asit ilavesinin yonca silajı pH değerini düşürdüğünü ifade etmiştir. Rowghani ve Zamiri (2009), mısır silajının pH düzeylerini 4,00-4,51 arasında tespit etmiştir. de Oliveira ve ark., (2017), ise mısır silajının pH değerini 3,86 olarak saptarken; Öztürk (2019), 3,82-3,90; Okumuş (2021), 3,64-3,84 olarak bulmuştur. Chamberlain ve Quig, (1987) ise formik asitin silajlarda 2,4 ve 6 lt/ton seviyelerinde kullanımının ryegrass silajında pH düzeyini etkilemediğini tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, bu çalışmada beklenenden farklı olarak pH düzeyinin arttığı görülmektedir. Silajda maya üremesi halinde mayaların ortamdaki laktik asit ve şekeri tüketerek pH'ın yükselmesine neden olduğu bildirilmektedir. Bunun yanında bitkilerin silolanması esnasında ortam sıcaklığının yüksek olmasının da mayaların üremesine neden olduğu ifade edilmektedir (Coskuntuna ve ark., 2010).

**Tablo 4.** Mısır silajı pH değerleri

	Muamele Grupları			
	KNTRL	SF1	SF2	P Değeri
pH	3,7 <sup>c</sup> ±0.01	4,1 <sup>b</sup> ±0.01	4,3 <sup>a</sup> ±0.04	0,001

KNTRL: Kontrol grubu, Aynı satırdaki farklı harfler istatistiksel olarak farkı göstermektedir (P<0,05)

#### **Organik Asit Analiz Sonuçları**

Organik asit analizleri Tablo 5'de gösterilmiştir. Tablo 5'de görüleceği üzere Laktik asit, asetik asit ve Fleig skoru bakımından muamele grupları arasındaki farklılık istatistiki olarak önemli olmuştur (P<0,05). En yüksek laktik asit (5,89 g/kg), asetik asit (45,10 g/kg) ve Fleig skoru (119,27) değerleri KNTRL grubunda elde edilmiştir. Mısır silajına SF ilavesi ile laktik asit, Fleig skoru linear bir azalma gösterirken; asetik asit bakımından SF2 muamele grubundaki azalma SF1 muamele grubuna kıyasla daha az olmuştur. Konuyla ilgili yapılan çalışmalarda (Wilson ve Wilskin, 1973; Chamberlain ve Quig, 1987; Saarisalo ve ark., 2006; Conaghan ve ark., 2011; Seppala ve ark., 2016; Gheller ve ark., 2021) formik asit içeren organik asit karışımının mısır silajına katılmasının mısır silajında laktik asit ve asetik asit içeriğini azalttığı ifade edilmiştir. Bu durum organik asitlerin neden olduğu hızlı bir pH düşüşü ile mısır silajının laktik asit ve asetik asit içeriğinin azalmasının neden olabileceği şeklinde ifade etmişlerdir. Selwet (2008), ise mısır silajına formik asit katkısının laktik asit ve asetik asit seviyesini kontrol grubuna kıyasla artırdığını belirtmiştir. Hafner ve ark., (2014) organik asit ilaveli muamele grubu ile kontrol grubu kıyaslandığında mısır silajında propiyonik asit bakımından istatistiki olarak bir farklılık oluşturmadığını bildirmişlerdir. Bunun yanı sıra, çalışmamızın sonucunda deneme gruplarında KNTRL'e göre daha yüksek maya düzeyi tespit edilmiştir. Silolanmış bitkilerde mayaların

başka enerji kaynağı bulamadığı durumlarda ortamdaki laktik asidi tükettiği ifade edilmektedir (Coskuntuna ve ark., 2010). Mevcut çalışmada artan SF miktarı ile birlikte mısır silajının bütirik asit içeriği azalmışsa da istatistiki bir farklılığa yol açmamıştır. Rowghani ve Zamiri (2009)'un, formik asit katkısının bütirik asit düzeyini istatistiki olarak etkilediğini ifade etmesi, elde edilen sonuç ile uyumsuzdur. Fleig skoru gruplarda istatistiki bir farklılaşmaya yol açarken; gruplarda 98,33-119,27 arasında değerler almıştır.

**Tablo 5.** Mısır silajı laktik, asetik, propiyonik ve bütirik asit analizleri

Organik Asitler	Muamele Grupları			P Değeri
	KNTRL	SF1	SF2	
Laktik asit (g/kg)	5,89 <sup>a</sup> ±0,207	4,96 <sup>b</sup> ±0,113	4,81 <sup>b</sup> ±0,170	0,008
Asetik Asit (g/kg)	45,10 <sup>a</sup> ±4,607	21,24 <sup>b</sup> ±0,150	22,35 <sup>b</sup> ±1,835	0,002
Propiyonik Asit (g/kg)	1,07±0,520	0,66±0,039	0,50±0,013	0,437
Bütirik Asit (g/kg)	1,24±0,669	0,61±0,047	0,44±0,033	0,372
Fleig Skoru	119,27 <sup>a</sup> ±0,68	104,80 <sup>b</sup> ±1,22	98,33 <sup>c</sup> ±1,19	0,001

KNTRL: Kontrol grubu, aynı satırdaki farklı harfler istatistiksel olarak farkı göstermektedir (P<0,05), \*Sonuçlar kuru madde üzerinden verilmiştir.

### Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları

Maya küf analiz sonuçları Tablo 6'da gösterilmiştir. KNTRL – SF1 – SF2 gruplarında maya sayısı sırasıyla 3200 - 9500 -8000 cfu/gr olarak tespit edilmiştir (P<0,05). Kontrol ve muamele gruplarında küf gelişimi görülmemiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda formik asit veya format tuzlarının silaja ilave edilmesinin istenmeyen bazı mikroorganizmaların üremelerine yol açtığı bildirilmektedir (McDonald ve ark., 1991). Gheller ve ark. (2021) ise farklı organik asit ve tuzlarının mısır silajına ilavesinin mikrobiyolojik olarak kontrol grubuna göre istatistiki olarak önemli bir fark oluşturmadığını dile getirmiştir. Silajda maya üremesi pH düzeyi ve laktik asit yoğunluğu ile doğrudan ilişkili olup çalışma kapsamında deneme gruplarındaki pH düzeyinin KNTRL grubuna göre yüksek olması ve laktik asit miktarının az olmasının maya üremesini uyardığı düşünülmektedir.

**Tablo 6.** Mısır Silajı maya ve küf sayımı sonuçları

	Muamele Grupları			P Değeri
	KNTRL	SF1	SF2	
Maya (cfu/gr)	3,2x10 <sup>3a</sup> ±14x10 <sup>3</sup> ±0,008	9,5x10 <sup>3b</sup> ±46x10 <sup>3</sup>	8x10 <sup>3b</sup> ±8x10 <sup>3</sup>	0,001
Küf (cfu/gr)	ND	ND	ND	

KNTRL: Kontrol grubu ND: Tespit edilemedi

## **Sonuçlar**

Mısır silajı, tüm dünyada ve ülkemizde hayvanların beslenmesinde yaygın ve miktar olarak da fazla kullanılan önemli bir yem hammaddesidir. Bu manada mısır silajının uygun koşullarda hasat edildiği andaki tazeliğinin ve besin değerlerinin korunarak hayvanlara servis edilmesi gereklidir. Bu amaç için hammaddeleri koruma amaçlı birçok katkı maddesi kullanılarak çalışmalar yapılmaktadır ve silaj kalitesini artırmak amacıyla silaj katkı maddesi olarak organik asitler kullanılmaktadır. Mevcut çalışmada ise organik asitlerden biri olan SF kullanılmıştır. Çalışmada %1 ve %2 seviyelerinde silaj katkı maddesi olarak kullanılan SF'ın mısır silajı için pH, laktik asit, asetik asit, Fleig skorunu düşürdüğü, maya sayısını artırdığı görülmüştür. Kimyasal kompozisyonda ise herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Sonuç olarak SF mısır silajı fermantasyon kalitesini olumsuz etkilemiştir ve mısır silajı için katkı maddesi noktasında kullanımı tavsiye edilmemektedir. Fakat bu konu hakkında daha fazla *in vivo* ve *in vitro* çalışmaların yapılmasının gerekli olduğu düşünülmektedir.

## **Teşekkür**

Bu çalışma Aksaray Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir (Proje numarası: BAP 2020-022)

## **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

## **Kaynaklar**

- Acar Z., Tan M., Ayan İ., Önal Aşçı Ö., Mut H., Başaran U., Gülümser E., Can M., Kaymak G. Türkiye’de yem bitkileri tarımının durumu ve geliştirme olanakları. Türkiye Ziraat Mühendisleri IX. Teknik Kongresi İçinde, 13-17 Ocak 2020, Ankara, s: 529-553.
- Akarken N., Taş T. Bazı mısır hatlarının yaprak klorofil yoğunluklarının belirlenmesi. IMAC 2014 Uluslararası Mezopotamya Tarım Kongresi 2014; 22-25 Eylül, Diyarbakır, s. 967.
- Akyıldız R. Yemler bilgisi laboratuvar klavuzu. 1984 İkinci Baskı, Ankara Üniv. Ziraat Fakültesi Yayın No. 893, Ankara.
- Alagöz MA., Türk M. Bazı silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2020; 15(2): 186-191.
- Alçıçek A., Kılıç A., Ayhan V., Özdoğan M. Türkiye’de kaba yem üretimi ve sorunları. Türkiye Ziraat Mühendisliği 7. Teknik Kongresi Bildirileri 11-15 Ocak 2010, Ankara, s: 1071- 1080.

- Altınçekiç E., Filya İ. Effect of using bacterial inoculant and organic acid on the aerobic stability and feed value of small bale maize silages containing low dry matter. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology* 2018; 6(7): 887-892.
- AOAC International. Ash of Animal Feed, in: *Official Methods of Analysis of AOAC International* 2005; pp. 8. 18th Edition. Gaithersburg, MD (USA)
- AOAC International. Protein (Crude) in Animal feed, combustion method 990.03, *AOAC Official Method* 2006; pp. 30–31, 18th Edition. Gaithersburg, MD (USA)
- Arbabi S., Ghoorchi T., Hasani S. The effect of delayed ensiling and application of an organic acid-based additives on the fermentation of corn silage. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances* 2009; 4(5): 219-227.
- Arslan Duru A., Kaya Ş. Farklı oranlardaki zeytin posası-mısır hasılı karışımlarının silaj kalitesinin belirlenmesi. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2016; 4(12): 1201-1206.
- Atasever M., Yılmaz Ş., Ertekin, İ. Ekim zamanının Amik Ovası koşullarında yetiştirilen bazı mısır (*Zea mays L.*) çeşitlerinde ot verimi ve kalitesine etkisi. *Mustafa Kemal Üniversitesi, Tarım Bilimleri Dergisi* 2020; 25(3): 326-340.
- Aydın B., Öztürk O., Çobanoğlu F., Çebi U., Özkan E., Özer S. Damla sulama desteklemelerinin silajlık mısır üretimi üzerine etkisi: Edirne İli Örneği. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi* 2020; 6(3): 496-505.
- Barmaki S., Alamouti AA., Khadem AA., Afzalzadeh A. Effectiveness of chopped lucerne hay as a moisture absorbent for low dry-matter maize silage: Effluent reduction, fermentation quality and intake by sheep. *Grass Forage Sci.* 2018; 73: 406–412.
- Başaran U., Gülümser E., Doğrusöz M Ç., Hanife MUT., Şahin A. Farklı silajlık mısır çeşitlerinin hamur olum döneminde silaj ve tane özelliklerinin belirlenmesi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi* 2017; 20, 1-5.
- Bingöl NT., Karşlı MA., Bolat D., İsmail A KÇA. Vejetasyonun farklı dönemlerinde hasat edilen korungaya ilave edilen melas ve formik asit'in silaj kalitesi ve in vitro kuru madde sindirilebilirliği üzerine etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi* 2008; 19(2): 61-66.
- Britt DG., Huber JT., Rogers AL. Fungal growth and acid production during fermentation and refermentation of organic acid treated corn silages. *Journal of Dairy Science* 1975; 58(4): 532-539.
- Baytok E., Aksu T., Karşlı MA., Muruz H. The effects of formic acid, molasses and inoculant as silage additives on corn silage composition and ruminal fermentation characteristics in sheep. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 2005; 29(2): 469-474.
- Coskuntuna L., Koc F., Ozduven ML., Coskuntuna A. Effects of organic acid on silage fermentation and aerobic stability of wet brewer's grain at different temperatures. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 2010; 16(5): 651-658.

- Çaçan E., İpekeşen S. Silajlık mısırdaki bazı kalite özelliklerinin farklı ekim zamanlarına göre değişimi. Uluslararası Gıda, Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi 2021; 1(1): 37-45.
- Çağır S. Farklı olum dönemlerinde hasat edilen silajlık mısır çeşitlerinin verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi (Master's Thesis, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü) 2020, Aydın
- Chamberlain DG., Quig J. The effects of the rate of addition of formic acid and sulphuric acid on the ensilage of perennial ryegrass in laboratory silos. Journal of the Science of Food and Agriculture 1987; 38(3): 217-228.
- Conaghan P., O'Kiely P., O'Mara FP. Possibilities of increasing the residual water-soluble carbohydrate concentration and aerobic stability of low dry-matter perennial ryegrass silage through additive and cultivar use. Grass Forage Sci. 2011; 67: 177-198.
- Duncan DB. Multiple range and multiple F tests. Biometrics 1955; 11: 1-42
- de Oliveira IL., Lima LM., Casagrande DR., Lara MAS., Bernardes TF. Nutritive value of corn silage from intensive dairy farms in Brazil. Revista Brasileira de Zootecnia 2017; 46, 494-501.
- Filya İ. Silaj yapımı, teknolojisi ve kullanımı. Süttaş. Hayvancılık serisi:2. 2006, Bursa.
- Filya İ. Sucu E. Silaj fermantasyonunda organik asit kullanımı üzerinde araştırmalar 1. Formik asit temeline dayalı bir koruyucunun laboratuvar koşullarında yapılan mısır silajlarının fermantasyon, mikrobiyal flora, aerobik stabilite ve in situ rumen parçalanabilirlik özellikleri üzerine etkisi. Journal of Agricultural Sciences 11.01 2005; 51-56.
- Gheller LS., Ghizzi LG., Takiya CS., Grigoletto NT., Silva TB., Marques JA., Rennó FP. Different organic acid preparations on fermentation and microbiological profile, chemical composition, and aerobic stability of whole-plant corn silage. Animal Feed Science and Technology 2021; 281, 115083.
- Gürel F., Gösterit A., Balcıoğlu MS. Genetiği değiştirilmiş ürünlerin arılar üzerine olası etkileri. Türkiye VIII. Tarla Bitkileri Kongresi 2009; 19-22 Ekim, Hatay.
- Hafner SD., Franco RB., Kung Jr L., Rotz CA., Mitloehner, F. Potassium sorbate reduces production of ethanol and 2 esters in corn silage. Journal of Dairy Science 2014; 97(12):7870-7878.
- Han KJ., Collins M., Vanzant ES. Dougherty CT. Bale density and moisture effects on alfalfa round bale silage. Crop Sci. 2004; 44: 914-919.
- Hancock DW., Collins M. Forage preservation method influences alfalfa nutritive value and feeding characteristics. Crop Sci. 2006; 46: 688-694.
- Henderson AR., McDonald P., Woolford MK. Chemical changes and losses during the ensilage of wilted grass treated with formic acid. J. Sci. Food. Agric. 1972; 23, 1079-1087.
- Henderson N. Silage additives. Animal Feed Science and Technology 1993; 45: 35-56.
- Huber JT., Soejono M. Organic acid treatment of high dry matter corn silage fed lactating dairy cows. Journal of Dairy Science 1976; 59(12): 2063-2070.



- ISO 10520. Native starch - Determination of starch content Ewers polarimetric method.1997; Int. Stand, <https://www.iso.org/standard/18589.html>.
- ISO 6865. Animal feeding stuffs - Determination of crude fibre content - Method with intermediate filtration. 2000; Int Stand Organ [Internet]. [www.iso.org](http://www.iso.org).
- Jiang F., Cheng H., Liu D., Wei C., An W., Wang Y., Sun H., Song E. Treatment of whole-plant corn silage with lactic acid bacteria and organic acid enhances quality by elevating acid content, reducing ph, and inhibiting undesirable microorganisms. *Front. Microbiol.* 2020; 11: 593088. doi: 10.3389/fmicb.2020.593088
- Kara K. In vitro methane production and quality of corn silage treated with maleic acid. *Italian Journal of Animal Science* 2015;14(4): 3994.
- Karaer M., Gülümser E., Hanife MUT., Gültaş HT. Ana ürün silajlık mısır yetiştiriciliğinde sulama suyu kullanım etkinliği ve ekonomik analiz. *ISPEC Journal of Agricultural Science* 2021; 5(3): 652-658.
- Keleş G. Homofermantatif ve heterofermantatif laktik asit bakterilerinin mısır silajının kimyasal kompozisyonu ile konya merinosu toklularda performans etkileri. Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009, Konya.
- Kung Jr L., Lim JM., Hudson DJ., Smith JM., Joerger RD. Chemical composition and nutritive value of corn silage harvested in the northeastern United States after Tropical Storm Irene. *Journal of Dairy Science* 2015; 98(3): 2055-2062.
- Lv J., Fang X., Feng G., Zhang G., Zhao C., Zhang Y., Li Y. Effects of sodium formate and calcium propionate additives on the fermentation quality and microbial community of wet brewers grains after short-term storage. *Animals* 2020; 10(9): 1608.
- McDonald P., Henderson AR., Heron SJE., 1991. The biochemistry of silage, second ed. Chalcombe Publications, Kent, UK
- Meşe A., Gülümser, E. Farklı silajlık mısır çeşitlerinin Bilecik ekolojik koşullarında tarımsal özelliklerinin belirlenmesi. *Dicle Üniv. Fen Bil. Ens. Dergisi* 2020; 9(2): 89-98.
- Meşe A., Gülümser E., Silajlık mısır çeşitlerinin ham protein verimi ile bazı kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2021; 52(3): 231-237.
- Muck RE., Nadeau EMG., McAllister TA., Contreras-Govea FE., Santos MC., Kung Jr L. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of Dairy Science* 2018;101(5): 3980-4000.
- NRC. Nutrient requirements of dairy cattle. seventh Re. Washington, DC. 2001; National Academy Press.
- Okumuş A. İkinci ürün mısır silajına fındık zurufu ilavesinin silaj fermantasyonu, aerobik stabilite ve in vitro gaz üretimi üzerine etkileri. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 2021 Bursa.

- Oliveira MR., Bueno AVI., Leão G FM., Neumann M., Jobim CC. Nutritional composition and aerobic stability of wheat and corn silages stored under different environmental conditions. *Semina: Ciências Agrárias* 2018; 39(1): 253-260.
- Öztürk Y. Bursa ekolojik koşullarında ikinci ürün olarak yetiştirilen bazı silajlık mısır çeşitlerinin ot verimi ve kalitesi ile silaj özelliklerinin belirlenmesi (Doktora tezi). 2019 Bursa Uludağ Üniversitesi.
- Rowghani R., Zamiri MJ. The effects of a microbial inoculant and formic acid as silage additives on chemical composition, ruminal degradability and nutrient digestibility of corn silage in sheep. *Iranian Journal of Veterinary Research* 2009; 10(2): 110-118.
- Saarisalo E., Jalava T., Skyttä E., Haikara A., Jaakkola S. Effect of lactic acid bacteria inoculants, formic acid, potassium sorbate and sodium benzoate on fermentation quality and aerobic stability of wilted grass silage. *Agric. Food Sci.* 2006; 15: 185–199.
- Selwet M. Effect of organic acids on numbers of yeasts and mould fungi and aerobic stability in the silage of corn. *Polish Journal of Veterinary Sciences* 2008; 11(2): 119.
- Seppälä AT., Heikkilä MM., Rinne M. Effects of additives on the fermentation and aerobic stability of grass silages and total mixed rations. *Grass Forage Sci.* 2016; 71: 458–471.
- Sniffen CF., Ballard CS., Carter MP., Cotanch KW., Dann HM., Grant RJ., Mandebvu P., Suekawa M., Martin SA. Effects of malic acid on microbial efficiency and metabolism in continuous culture of rumen contents and on performance of mid-lactation dairy cows. *Anim. Feed Sci. Tech.* 2006; 127: 13-31.
- Tanrikulu A., Dokuyucu T., Sürme M. Mısır (*Zea mays* L.) çeşitlerinde farklı ekim zamanlarının silaj verimi, verim unsurları ve kalite özelliklerine etkisinin belirlenmesi. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2020; 9(1): 43-52.
- Tian H., Wang Y., Liu Z., Hu Z., Guo Y., Deng M., Sun B. Effects of malic acid and sucrose on the fermentation parameters, cneps nitrogen fractions, and bacterial community of moringa oleifera leaves silage. *Microorganisms* 2021; 9(10): 2102.
- Turan N., Yılmaz İH. Van koşullarında I. ve II. ürün olarak yetiştirilen bazı silajlık mısır çeşitlerinin hasıl verim ve bazı verim unsurlarının belirlenmesi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2000; 31(2): 63-71.
- Turhal K. Türkiye'de yıllara göre mısır (*Zea mays* l.) ekim alanları ile verimin mısır üretimine olan etkileri. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences* 2021; 5(2): 418-425.
- Van Soest PV., Robertson JB., Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal Dairy Science* 1991; 74, 3583–3597, [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Wilson RF., Wilkins RJ. Formic acid as a silage additive: Effects of formic acid on fermentation in laboratory silos. *The Journal of Agricultural Science* 1973; 81(1): 117-124.

Yaylak E., Alecek A. Sığır besiciliğinde ucuz bir kaba yem kaynağı, mısır silajı. Hayvansal Üretim Dergisi. 2003; 44(2): 29-36.

Yazgan O., Bahtiyarca, Y. Yüksek verimli süt ineklerinin beslenmesi. 1999 S.S. Konya Pancar Ekicileri Eğitim ve Sağlık Vakfı Yayınları 3.

## Özel Başlangıç Koşulları Altında Linear LIF Nöron Modelinin Analizi ve Çözüm Metodu

Yavuz Selim İŞLER<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-8022-3882>

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

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 04.10.2022

Kabul tarihi: 24.02.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

LIF nöron modeli

Pasif membran

Diferansiyel denklemler

### ÖZ

Leaky Integrate and Fire (LIF) modeli, nöronların matematiksel olarak modellenmesi ve çalışma prensiplerinin anlaşılması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok metod ve yöntem sayesinde modelin simülasyonu ve analizi yapılsa da mühendislik çalışmalarına uygun çözümlerin azlığından söz etmek mümkündür. Birinci dereceden adi diferansiyel denklemler içeren LIF modelinin çözümüne ideal başlangıç koşulları altında kolayca ulaşılabilmektedir, karmaşık şartlar sunulduğunda sonucu bulmak zorlaşmaktadır. Bu çalışmada nöronun, birim adım akımı, darbe akımı ve rastgele seçilen akım girişleri için çözümleri yapılmıştır. Böylece literatürde yer alan metodların özel durumlar ortaya çıktığında nasıl uygulanması gerektiği gösterilmiştir.

## Analysis of Linear LIF Neuron Model under Particular Initial Value Conditions and Solution Method

### Research Article

#### Article History:

Received: 04.10.2022

Accepted: 24.02.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

LIF neuron model

Passive membrane

Differential equations

### ABSTRACT

The Leaky Integrate and Fire (LIF) model is widely used for mathematical modelling of neurons and understanding their working principles. Even though model is simulated and analyzed thanks to many methods and procedures, it is possible to mention about rarity of appropriate solutions for engineering studies. While solution of LIF model involving first order ordinary differential equations is easily obtained under ideal initial conditions, finding result is getting difficult when represented with complicated circumstances. In this study solutions for step current input, pulse current and arbitrary current input of neuron are elucidated. Therefore, it is demonstrated how to apply methods in literature when particular conditions emerged.

**To Cite:** İşler YS. Özel Başlangıç Koşulları Altında Linear LIF Nöron Modelinin Analizi ve Çözüm Metodu. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 1785-1795.

### 1. Giriş

Nöron modellerinin temeli 19. yy. sonlarında deniz altı telgraf kablolarında oluşan kayıpların hesaplanmasına kadar gitmektedir. Klasik kablo teorisi olarak geçen bu çalışmayla uzun mesafeler boyunca deniz altında döşenen kabloların matematiksel modeli geliştirilerek nöronlara uygulanmıştır. Söz konusu bu çalışmada nöronlar içerisindeki aksiyon potansiyellerinin tetiklenmesi gösterilmiştir (Hodgkin ve ark., 1952; Daliri ve ark., 2021; Coşkun ve ark., 2012). Merkezi sinir sistemini oluşturan nöronlar birbirine giriftir bir yapı ile bağlıdır. Birçok çeşidi olduğu bilinen nöronlardan, bu çalışma için

haberleşme yapan nöronların modeli analiz edilmiştir. Model nöronların çeşitliğine ve analiz metotların zenginleşmesine bağlı olarak birçok uygulama ile karşımıza çıkmaktadır. Klasik kablo teorisi ile pasif ve aktif membran geçirgenliğini açıklamanın mümkün olduğu, ancak bazı çalışmalarda (Cavarretta ve ark., 2019; Hasan ve ark., 2021) kapalı sınır şartı altındaki çözümlerde eksiklikler bulunduğu ortaya konmuştur. Nöronların morfolojik olarak temel seviyeye indirgenebileceği ve somatik gerilime ait yakın dendrit bölümlerinin dinamiğine bağlı olduğu gösterilirken, bu işlemin önemli bir hesaplama kaybı olmaksızın yapılabildiği bildirilmiştir.

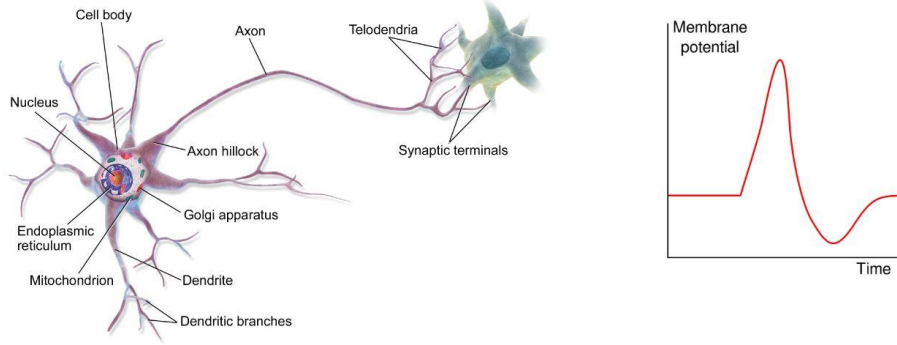
Kendi disiplinimiz açısından R/L, R/C ve RLC devre modellerine hiç te yabancı değiliz. Hatta bu devrelerin lineer eşitliğe sahip örnekleri söz konusu olduğunda, Duhamel prensibini uygulayarak  $a_0y^{(N)} + a_1y^{(N-1)} + \dots + a_{N-2}y'' + a_{N-1}y' + a_Ny = f(t)$  formuna sahip eşitlikleri  $y(0) = 0, y'(0) = 0, y''(0) = 0, \dots, y^{(N-1)}(0) = 0$  başlangıç koşulları için pratik bir şekilde çözebiliyoruz (Howell, 2020; He, 1999). Ancak bu çözümlere ulaşmak için ideal koşulların sunulduğunu varsayıyoruz. Lineer olmayan eşitlikler için yapılan çalışmalarda (Li ve ark., 2021) araştırmacılar çift doğrusal integrasyon kuralının bazı özelliklerini kullanarak kısmi diferansiyel eşitlikleri adi diferansiyellere dönüştürebilmişlerdir. Mühendislik alanında işimizi kolaylaştıran Laplace dönüşümünün uygulanabilmesi için fonksiyonumuzun sürekli, parçalı sürekli veya atlamalı süreksiz fonksiyon özelliği göstermesi gerekmektedir. Bunun gibi kısıtlamaların önüne geçebilmek için Laplace dönüşümü, homotopi pertürbasyon dönüşüm metodu ile genişletilerek lineer olmayan RLC devrelerinin çözümünde kullanılmıştır (Thunibat ve ark., 2020). Hali hazırda mühendislerin kullandığı metotlara ilaveten, matematikçiler tarafından geliştirilen yeni çözüm yöntemleri de araştırılmıştır. Laplace dönüşümünün geliştirildiği çalışma ile lineer olmayan diferansiyel denklemlerin, Adomian polinomları kullanılarak analitik çözümü gerçekleştirilmiştir (Fatoorehchi ve ark., 2016; Mishra ve ark., 2020).

Günümüzde kullanılan yazılım araçları sayesinde arka planda yer alan çözümlerden habersiz olarak simülasyonlarımızı gerçekleştirebiliyoruz. Ancak kullanılan parametrelerin neleri etkilediğini tam olarak bilmediğimiz durumlar soru işaretlerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Büyük çaplı nöral ağların modellenebilmesi için öncelikle nöronun çalışma prensibine etki eden çözümlerin net bir şekilde ortaya konması gerekmektedir. Bu tür nöral ağların modellenmesinde Nöral Mühendislik İskeleti (NEF) gibi yapılar kullanılırken, temel parametrelerin önemi daha çok artmaktadır. NEF altyapısına lineer olmayan iletkenlik sinapslarını entegre eden bir çalışmada (Stöckel ve ark., 2020), iki bölmeli LIF nöron modelinin tek katmanlı simülasyonlarının, çift katmanlı nöral ağlarla aynı hatta bazı durumlarda daha iyi sonuçlar verdiği bulunmuştur.

Bu çalışmada haberleşme yapabilen nöron modelinin çalışma prensibini ortaya koyacağız. Farklı başlangıç koşulları altında nasıl tepki verdiklerini ve bu parametrelerin ideal olmayan başlangıç koşullarında diferansiyel denklemin çözümüne ne tür etkilerinin olduğunu tartışacağız.

## 2. Materyal ve Metot

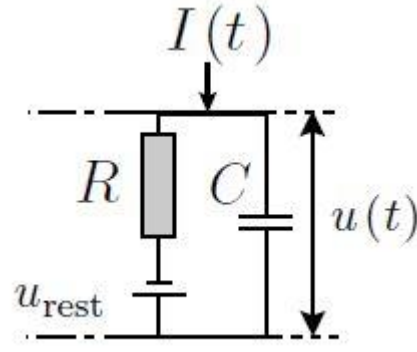
Matematiksel modelin anlaşılabilmesi için haberleşme yapabilen nöronların yapısını incelemeliyiz. Bahsettiğimiz nöron tipi dendritler, soma (nükleusu barındıran işlem birimi) ve aksonlar olmak üzere Şekil 1’de gösterildiği üzere üç kısma ayrılır.



Şekil 1. Nöronun yapısı ve eşik değeri aşıldığında hücre zarı geriliminin grafiği (Neuromatch Academy,2021).

Dendritler giriş aygıtı olarak diğer nöronlardan gelen bilgiyi lineer olmayan işlem basamağı olarak somaya iletir. Bu işlem sonunda gelen sinyal belli bir eşik değerini aşıyorsa çıkış sinyali üretilerek aksona aktarılır. Akson aygıtı diğer nöronlara ilgili çıkış sinyalini iletmek için kullanılır. Nöronlardaki bu mekanizma spesifik bir şekilde kategorize edilmiştir. Uyarılmış halde bulunan bir nörona güçlü bir giriş yapılsa bile, ilk uyarılma anı ve kısa bir süre sonrasında nöronun uyarılması mümkün değildir. Belli bir zaman diliminin geçmesi gerekir ki; bu zaman dilimine refraktör periyodu adı verilir.

Matematiksel olarak modeli oluşturabilmemiz için bazı değişkenleri tanımalıyız. Hücreye uyarıcı bir sinyal ulaşmadığı durumlarda membran gerilimi  $U_{rest}$  (dinlenme gerilimi) değerinde sabit kalırken, zarın içi ve çevresi arasındaki gerilim farkı  $u(t)$  değeri ile belirtilir.  $U_{rest}$  değeri -65 mV civarında bir gerilim değerine sahiptir. Hücreye uygulanan bir giriş, tetiklemeye sebep olması için gerilim farkını pozitif değerlere yükseltmek zorundadır. Modellemesini yaptığımız nöron tipi için tek bir giriş eşik değerinin aşılması için yeterli olmaz. Dolayısıyla belirli zaman aralıklarında gelen 20 ile 50 adet arasındaki girişlerin toplamda oluşturduğu gerilim farkı ile tetikleme oluşabilir. Bu konsept bize LIF modelinin ana fikrini açıklamaktadır. Tüm girişlerin toplam değeri  $u_i(t)$ , V gerilimini aşarsa nöronun tetiklendiğini görürüz. LIF modeli  $u_i(t)$ 'nin değişimini gösteren lineer diferansiyel denklem ve darbe üretimi için aşılması gereken eşik değerden oluşmaktadır. Bu açıklamalar bize Şekil 2’de gösterilen klasik bir RC devresini işaret etmektedir.



Şekil 1. Nörona ait pasif membran modeli

Elektriksel olarak bu devreyi çözerken  $I(t)$  akımını  $I_R + I_C$  olarak ayırdıktan sonra paralel R/C devresi eşitliği yazarak modelin ana denklemini elde edebiliriz. Denklemdaki  $\tau_m$  hücre zarının zaman sabitini ifade etmektedir.

$$\tau_m \frac{du}{dt} = -[u(t) - u_{rest}] + RI(t) \quad (1)$$

Özel başlangıç koşulları altındaki çözüme ulaşmadan önce farklı girişler altında devrenin tepkilerini ortaya koymamız gerekmektedir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

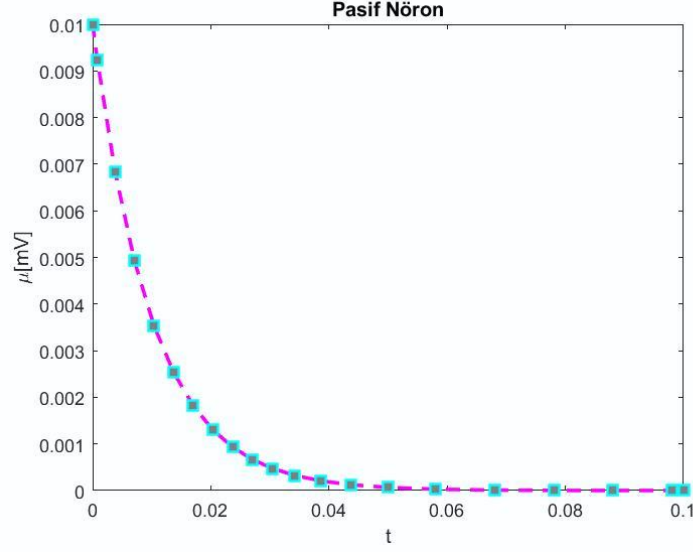
Genel denkleminize göre analiz etmemiz gereken üç ayrı koşul bulunmaktadır. Bunlar hücre zarının sabit bir gerilim ve herhangi bir akım girişi olmadığı, sabit bir akım ile uyarıldığı ve rastgele akım girişi için genel çözüme ulaşılması şeklindeki koşullardır.

#### 3.1 Hücre Zarına Akım Girişi Olmadığında

İlk şart için hücre zarının dinlenme gerilimi üzerinde bir gerilimde ancak akım girişinin olmadığı durumunu değerlendireceğiz. Membrana akım girişi olmadığından dolayı bu aşamada çözümü kolay ve eksponansiyel olarak  $U_{rest}$  değerine düşen bir diferansiyel denklem olacaktır. Şekil 2' de pasif zarın davranışı grafiksel olarak sunulmuştur. Çözülmesi gereken denklem mühendisler için R/C paralel devresini ifade eden LIF modelidir.

$$\tau_m \frac{du}{dt} = -[u(t) - u_{rest}] \quad (2)$$

$$u(t) - u_{rest} = \Delta u \cdot \exp\left(-\frac{t - t_0}{\tau_m}\right) \quad t > t_0 \text{ için} \quad (3)$$



Şekil 2. Pasif membranın Matlab ile modellenmiş grafiği

Hücreye bir giriş uygulanmadığında varsayımsal olarak membranın sabit bir gerilim değerinde olduğunu farz ediyoruz ve gerilimin eksponansiyel olarak  $\tau_m$  zaman sabitine bağlı bir şekilde düştüğünü gözlemliyoruz. Tipik bir nöron için  $\tau_m$  değeri 10 ms civarında olup düşüş grafiğinin eğimine etki etmektedir.

### 3.2 Sabit Bir Akım ile Uyarım

LIF modelinde nöronu sabit bir akım ile uyardığımız zaman  $t=0$  ile  $t=\Delta$  zaman aralığında  $I(t)=I_0$  parametrelerini göz önünde tutmamız gerekir. Bu durum için başlangıç koşulunu  $u(0) = u_{rest}$  olarak

$0 < t < \Delta$  aralığındaki çözümle ilgileniyoruz. Hücre zarına sabit bir akımla uyarım olduğu için önceki durumdan farklı olarak eşitliğin akım ilgili terimini çözüme dahil ediyoruz. Sabit akım ile uyarımda eğer akım girişi hiç kesilmeseydi bir önceki eşitlikte zar gerilimi  $t \rightarrow \infty$  için asimptotik bir gerilim değerine ulaşacaktır. Şekil 1’de gösterilen ve nöron membranını temsil eden devrede, direncin kararlı hal geriliminin  $RI_0$ , zar gerilimi ise  $u_{rest} + RI_0$  olduğu görülecektir.

Sabit akım için gerekli diferansiyel eşitlik;

$$\tau_m \frac{du}{dt} = -[u(t) - u_{rest}] + RI(t) \quad (1)$$

İntegrasyon faktörü ile çözüm;

$$u(t)e^{\tau_m} = \int e^{\tau_m} \left( \frac{u_{rest} + RI_0}{\tau_m} \right) dt \quad (4)$$

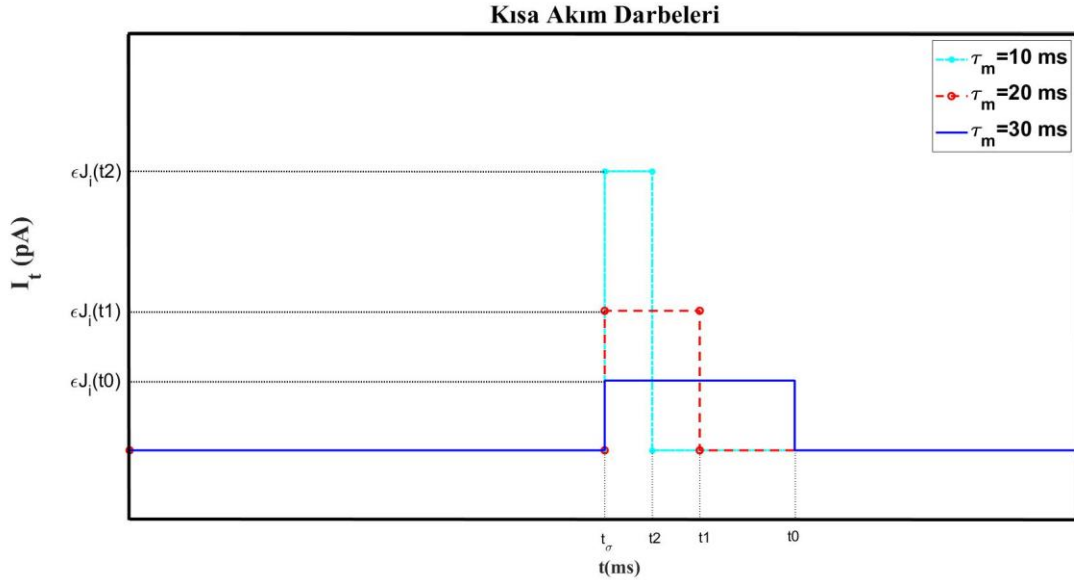
Sabit akım için bulunan sonuç denklemi;



$$u(t) = u_{rest} + RI_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau_m}}) \quad (5)$$

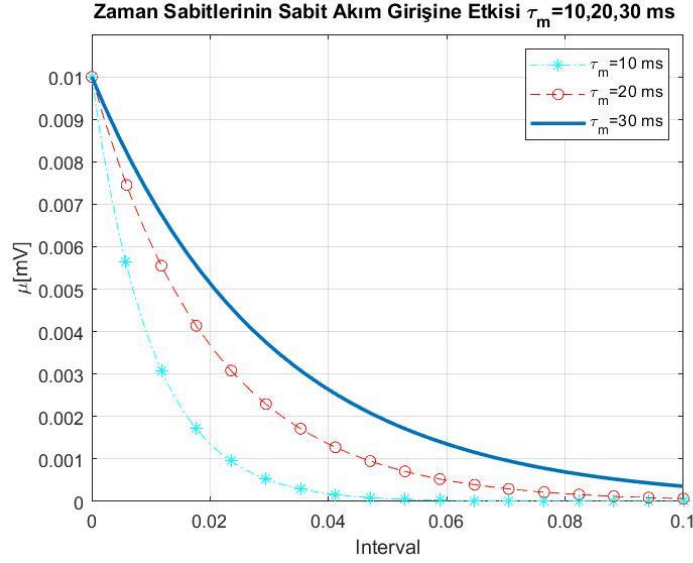
### 3.3 Kısa Darbeler ile Uyarım

Kısa darbelerin uygulandığı süre aralığında kararlı duruma geçmek mümkün değildir. Darbelerin sonunda zar gerilimi, sabit akımla uyarılan hücre zarında olduğu gibi,  $u(t) = u_{rest} + RI_0(1 - e^{-\frac{\Delta}{\tau_m}})$  gerilimine gelecektir.  $\Delta$  süresinin  $\tau_m$ 'den çok daha küçük olduğu darbe sürelerinde üstel ifadeyi matematiksel seriler yöntemini kullanarak açmalı ve gerilim sapmasını genliğe ve darbe süresine lineer olarak bağlı hale getirmemiz gerekmektedir (Gerstner ve ark, 2014). Şekil 3'de grafiği gösterildiği üzere, membrana uygulanan akım değerini artırıp, darbe süresini düşürmeye çalışmalıyız. Bunu yapmak bizi aktarılan elektriksel yükün sabit kalacağı sonucuna götürmektedir. Darbe süresinin azaltılmasıyla birlikte aktarılan yükün aynı olması, darbe sonunda gerçekleşecek gerilim sapmasının da sabit kalmasıyla sonuçlanacaktır. Esasen anlattığımız bu işlemi matematiksel olarak modellemek için Dirac-Delta fonksiyonuna ihtiyaç duyarız. Reelde bir nörona çok kısa bir zaman aralığında aşırı büyüklükte akım vermenin mümkün olmadığını belirtmek gerekir. Fakat boşalma süresini kontrol eden zaman sabitinden bile daha küçük aralıkları analiz edilebilmemiz için Dirac fonksiyonunu kullanırız. Kısa akım darbesi ile indüklenen gerilim farkı, zaman sabitinden daha kısa bir süre içinde gerçekleşirse aynı kalır. Bu fikirden yola çıkarak  $t=0$  anında zar geriliminin belli bir gerilim değerine ulaşacağını düşünebiliriz.



Şekil 3. Kısa akım darbelerini gösteren grafik

Şekil 3'deki verilen akım değerlerinin membrana uygulanması sonrasında hücre tetiklenmese bile artan gerilim tekrar  $u_{rest}$  değerine düşecektir. Bu durumu gösteren simülasyon (Şekil 3'deki akım değerleri kullanılarak) grafiği Şekil 4'de sunulmuştur.



Şekil 4. Kısa akımlara göre zar geriliminin değişimi

Membranın kısa akım darbelerine karşı gerilim değişimini gösteren matematiksel modeli artık oluşturabilir durumdayız. Buna göre  $t > \Delta$  anında ilave bir giriş olmadığından dolayı başlangıç gerilimi  $u_{rest} + \frac{q}{c}$  değerinden düşecektir. Anlaşılabilir olması için bu bölümdeki diferansiyel çözümleri ayrıntılı gösterilecektir.  $t_0 = \Delta$  ve  $\Delta u = \frac{q}{c}$  notasyonu ile dönüşüm yapılarak, denklem gerilim düşümünü simüle edebilmemiz için hazır hale gelmiştir.

$$\tau_m \frac{du}{dt} = -[u(t) - u_{rest}] + Rq\delta(t) \quad (6)$$

İntegrasyon faktörü yöntemi kullanılarak;

$$u \cdot \exp\left(\frac{t}{\tau_m}\right) = \int \frac{\exp\left(\frac{t}{\tau_m}\right) u_{rest}}{\tau_m} dt + \int \frac{\exp\left(\frac{t}{\tau_m}\right) Rq\delta(t)}{\tau_m} dt \quad (7)$$

$u(0) = u_{rest} + \frac{Rq}{\tau_m}$  başlangıç koşulu ile

$$u(0)e^{\frac{t}{\tau_m}} = e^{\frac{t}{\tau_m}} u_{rest} + \frac{Rq}{\tau_m} \int e^0 \delta(0) dt + c \quad (8)$$

$$\frac{Rq}{\tau_m} = e^{-\frac{t}{\tau_m}} \left( \frac{Rq}{\tau_m} + c \right) \quad (9)$$

c katsayısını yukardaki eşitlikten bulup yerine yazdığımızda  $t > 0$  için kısa akım darbeleri ile membranın matematiksel modeli bulunmuş olur.

$$u(t) - u_{rest} = \frac{Rq}{\tau_m} \exp\left(-\frac{t}{\tau_m}\right) \quad (10)$$

Bu durumu  $t \geq t_0$  için analiz ettiğimizde üstel fonksiyonun zaman katsayısında değişiklik olacaktır. Bu koşul karşısında önceki durumdan farklı olarak  $t_0$  anında Dirac fonksiyonu sayesinde ani bir yükseliş olacak ve membranın kapasitif bileşeni doyuma ulaşacaktır.

$$u \cdot \exp\left(\frac{t}{\tau_m}\right) = \int \frac{\exp\left(\frac{t}{\tau_m}\right) u_{rest}}{\tau_m} dt + \int \frac{\exp\left(\frac{t}{\tau_m}\right) Rq \delta(t - t_0)}{\tau_m} dt \quad (11)$$

$$\frac{Rq}{\tau_m} = e^{-\frac{t-t_0}{\tau_m}} \frac{Rq}{\tau_m} + c e^{\frac{t_0}{\tau_m}} \quad (12)$$

$t \geq t_0$  başlangıç koşulunu uyguladığımızda

$$u(t_0) - u_{rest} = \frac{Rq}{\tau_m} \exp\left(-\frac{t - t_0}{\tau_m}\right) \quad (13)$$

Eşitliğini elde ederek, kısa akım darbeleri için gerekli olan çözüme ulaşmış oluruz.

### 3.4. Zamana Göre Değişen Akım Girişi

Zamana göre rastgele değerler alan bir  $I(t)$  akımıyla tetiklenen LIF modelini inceleyeceğiz. Burada model için ateşleme eşik değeri kavramına değinmemiz gerekmektedir. Daha önce bahsettiğimiz LIF modellerinde eşik değeri bulunmadığı için diferansiyel denkleminin yapısını değiştireceğiz. Zar gerilimi eşik değerine her ulaştığında  $u_{rest}$  gerilimine resetlenecektir. Yani reset işlemi ateşleme anındaki kısa devre akımını tanımlamaktadır. Bu olay elektriksel olarak değerlendirildiğinde ise kapasitörün boşalması veya eşit büyüklükte negatif yük ile yüklenmesi manasına gelmektedir. Oluşturulan bu matematiksel model, kısa süreli akımların oluşturduğu etkiyi, reset anındaki deşarj akımlarının ve ani kısa darbeleri ayırık akım dizilerinin etkilerini içermiş olacaktır. Ayırık akım dizileri için bahsedilen ifade çözüm eşitliğinde integral fonksiyonu olarak bırakılmıştır. Matematiksel olarak baktığımızda bu ifade bize nümerik yöntemler ile sonuca ulaşmamızı sağlamaktadır. Bu çözümü yaparken denklemin karmaşık hale getiren özel başlangıç değerinin nasıl uygulanması gerektiğini de açıklıyoruz.

$$\tau_m \frac{du}{dt} = -[u(t) - u_{rest}] + RI(t) \quad (1)$$

$$\tau_m \frac{du}{dt} + u(t) = 0 \leftrightarrow u = e^{-\frac{t}{\tau}} \cdot c \quad (14)$$

$$u'(t) = c'(t)e^{-\frac{t}{\tau}} - \frac{1}{\tau}e^{-\frac{t}{\tau}} \cdot c(t) \rightarrow \tau \left( c'(t)e^{-\frac{t}{\tau}} - \frac{1}{\tau}e^{-\frac{t}{\tau}} \cdot c(t) \right) = -c(t)e^{-\frac{t}{\tau}} + u_{rest} + RI(t) \quad (15)$$

Birinci dereceden diferansiyel denklem ile ilgilenmemize rağmen LIF modeline ait özelliklerden faydalanarak iki adet PIV (özel başlangıç koşulu) değerini kullanıyoruz. Bunların ilki  $t_0$  anında akımın sıfır olması, diğeri ise  $u(t_0) = u_{rest}$  değeridir. Bu durum başlangıç koşullarının yorumlanması ihtiyacını doğurmaktadır. Çözüm için parametrelerin değişimi yöntemi kullanıldığından,  $c(t)$  fonksiyonunun bulunması için akımın sıfır olduğu ilk koşulun uygulanması gerekmektedir.

$$c(t) = c_1 + \frac{1}{\tau} \int_{t_0}^t (U_{rest} + RI(t)) e^{\frac{t}{\tau}} dt \quad (16)$$

$c(t)$  fonksiyonu bulunduktan sonra asıl denklemimize dönüp integral katsayısı  $c_1$ 'i bulabiliriz.  $c(t)$ 'yi yerine yazıp  $I(t_0)=0$  koşulu ile çözüme devam ederiz. Katsayının ancak başlangıç akımının sıfır olduğu koşulun uygulanması ile bulunabildiğine dikkat çekmeliyiz. Ayrıca membran gerilimi ile kısa süreli ani akım darbelerini tanımlayan bileşenin zaman değişkenlerinin farklı olduğunu tespit etmemiz gerekmektedir.

$$u(t) = e^{-\frac{t}{\tau}} \left( u_0 e^{\frac{t_0}{\tau}} + \frac{1}{\tau} \int_{t_0}^t (U_{rest} + RI(s)) e^{\frac{s}{\tau}} ds \right) \quad (17)$$

$$u(t) = e^{-\frac{t}{\tau}} \left( u_0 e^{\frac{t_0}{\tau}} + u_{rest} e^{\frac{t}{\tau}} (1 - e^{-\frac{t_0-t}{\tau}}) + \frac{1}{\tau} \int_{t_0}^t RI(s) e^{\frac{s}{\tau}} ds \right) \rightarrow u(t_0) = u_{rest} \text{ ile} \quad (18)$$

Genel çözüme ulaşılabacaktır.

$$u(t) = u_{rest} + \frac{1}{\tau} \int_{t_0}^t RI(s) e^{-\frac{(t-s)}{\tau}} ds \quad (19)$$

#### 4. Sonuç

LIF modeli nöronal çalışmalar bakımından hayli sadeleştirilmiş bir model olarak konumlanmıştır. Özellikle membrana uygulanan giriş istenilen aralıklarda olduğunda zar gerilimi resetlendiği için, daha önce gerçekleşen tetiklenmeler ile alakalı bilginin aktarılması mümkün değildir. Ancak günümüz yazılım araçları ile yapılan simülasyonlarda ileri seviye nöron modellerinin anlaşılabilmesi açısından LIF modelinin anlaşılması gerekmektedir. Özel başlangıç koşulunun uygulanması ve karmaşık

modellerin analizi için nöronlara has matematiksel özelliklerin anlaşılması elzemdir. Bu çalışma ile gelecekte lineer ve lineer olmayan nöron modellerinde ileri seviye matematiksel dönüşüm yöntemlerini kullanmak için hazırlık yaptık. Ayrıca temel LIF modelinin simülasyonunu farklı zaman sabitleri kullanarak eksponansiyel düşüş grafiklerini oluşturduk. Sonraki çalışmalarımızda Matlab dışında nöronal çalışmalar için özel olarak tasarlanmış Nengo, Brian ve Nest gibi yazılım platformları kullanarak simülasyonlar yapacağız.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makalenin yazarı olarak herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığımı beyan ederim.

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

Makalenin yazarı olarak bu çalışmaya %100 oranında katkı sağladığımı beyan ederim.

### **Kaynakça**

Cavarretta F., Naldi G. Mathematical study of a nonlinear neuron model with active dendrites. *AIMS Mathematics* 2019; 4(3): 831-846.

Coşkun Ö., Kahriman M., Çömlekçi S., Özkorucuklu S. Sinir hücresinin pasif kablo modellemesi ve simülasyonu. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2012; 27(1): 1-9.

Daliri M., Ferreira PM., Klisnick G., Delai AB. A comparative study between E-neurons mathematical model and circuit model. *IET Circuits, Devices and Systems* 2021; 15(2): 175-182.

Edwards CH., Penney DE., Calvis DT. *Differential equations and boundary value problems: computing and modelling*. 5th ed. BOS: Pearson; 2014.

Fatoorehchi H., Abolghasemi H. Series solution of nonlinear differential equations by a novel extension of the laplace transform method. *International Journal of Computer Mathematics* 2016; 93(8): 1299-1319.

Gerstner W., Kistler WM., Naud R., Paninski L. *Neuronal dynamics: from single neurons to networks and models of cognition*. CB: Cambridge University Press; 2014.

Hasan MM., Holleman J. Hardware model based simulation of spiking neuron using phase plane. *IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, 22-28 Mayıs 2021, sayfa no:1-5, Daegu.

He JH. Variational iteration method- a kind of non-linear analytical technique: some examples. *International Journal of Non-Linear Mechanics* 1999; 34(4): 699-708.

Hodgkin AL., Huxley AF. A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve. *Journal of Physiology* 1952; 117(4): 500-544.

Howell KB. *Ordinary differential equations an introduction to the fundamentals*. 2nd ed. FL: CRC Press; 2020

<https://academy.neuromatch.io/>

<https://briansimulator.org/>

Li S., McLaughlin DW., Zhou D. Mathematical modeling and analysis of spatial neuron dynamics: dendritic integration and beyond. *Communications on Pure and Applied Mathematics* 2021; <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cpa.22020>

Mishra HK., Tripathi R. Homotopy perturbation method of delay differential equation using he's polynomial with laplace transform. *The Proceedings of the National Academy of Sciences, India, Section A: Physical Sciences* 2020; 90(2): 289–298.

Stöckel A., Eliasmith C. Passive nonlinear dendritic interactions as a computational resource in spiking neural networks. *Neurons and Cognition* 2021; 33(1): 96-128.

Thunibat RG., Jaradat EK., Khalifeh JM. Solution of non-linear rlc circuit equation using the homotopy perturbation transform method. *Jordan Journal of Physics* 2021; 14(1): 89-100.

Trench WF. *Elementary differential equations with boundary value problems*. CA: Brooks Cole; 2001.

## Comparison of the Effect of Nano Cellulosic Additives on the Rheological Parameters of Cement Paste

Ayşe KAROĞLU<sup>1\*</sup>, Furkan TÜRK<sup>2,3</sup>, Ülkü Sultan KESKİN<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup>Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Science, Civil Engineering Department, 42250, Konya

<sup>3</sup>Yalova University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, 77200, Yalova

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-5894-8986>

<sup>2,3</sup><https://orcid.org/0000-0002-8156-0354>

<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-9517-9116>

\*Corresponding author: akaroglu@ktun.edu.tr

### Research Article

#### Article History:

Received: 07.10.2022

Accepted: 24.02.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Cellulose nanocrystal

Cellulose nanofiber

Rheology

Thixotropy

Viscosity

Yield Stress

### ABSTRACT

In cementitious mixtures, parameters such as viscosity, yield stress and thixotropy must be controlled in order to design workability and flow properties. Especially in some special concrete applications, increasing viscosity and yield stress over time directly affect the quality of the hardened element. Here, cellulose nanocrystal and cellulose nanofiber were used in the cement paste in order to preserve the rheological properties initially designed and to keep the workability loss to a minimum. The rheological parameters of the mixtures containing cellulose nanocrystal and cellulose nanofiber additives in various proportions were determined by the Bingham model, and the thixotropy was determined by the area between the up and down curves of the shear rate-yield stress graphs. As a result of the study, the increase in yield stress was reduced by 79% and the increase in viscosity was reduced to 37% from the initial moment to 45 minutes. Moreover, the thixotropic property was improved with additives and at the end of 45 minutes, it was preserved at a maximum of 73%. It was determined that the cellulose nanofiber additive performed better than the nanocrystal additive.

## Nano Selülozik Katkıların Çimento Hamurunun Reolojik Parametrelerine Etkisinin Karşılaştırılması

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 07.10.2022

Kabul tarihi: 24.02.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Akma Gerilmesi

Reoloji

Selüloz nanokristal

Selüloz nanolif

Tiksotropi

Viskozite

### ÖZ

Çimentolu karışımlarda, işlenebilirlik ve akış özelliklerinin tasarlanabilmesi için viskozite, akma gerilmesi ve tiksotropi gibi parametrelerinin kontrol altına alınması gerekmektedir. Özellikle bazı özel beton uygulamalarında zamanla artan viskozite ve akma gerilmesi sertleşmiş elemanın kalitesini doğrudan etkilemektedir. Burada, başlangıçta tasarlanan reolojik özelliklerin zamanla korunabilmesi ve işlenebilirlik kaybının minimumda tutulabilmesi amacıyla, çimento pastasında selüloz nano kristal ve selüloz nanolif kullanılmıştır. Çeşitli oranlarda selüloz nano kristal ve selüloz nano lif katkısı içeren karışımların reolojik parametreleri Bingham modeli ile, tiksotropisi ise kesme hızı-akma gerilmesi grafiklerinin iniş ve çıkış eğrileri arasında kalan alan ile belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, başlangıç anından 45 dakika sonrasına kadar akma gerilmesindeki artış %79, viskozitedeki artış ise %37'e kadar düşürülmüştür. Dahası, katkı ilaveleri ile tiksotropik özellik iyileştirilmiş ve 45 dakika sonunda en fazla %73 oranında korunabilmiştir. Selüloz nanolif katkısının, nano kristal katkısına göre daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir.

## **1. Introduction**

The rheological properties of fresh concrete/mortar have become more important today with the developing construction technologies such as self-compacting concrete (SCC), 3D printable concrete (3DCP), and underwater concrete (Petit et al., 2007; Tay et al., 2019). Fresh properties of concrete/mortar are critical to its strength, durability, and workability.

Yield stress and viscosity directly affect workability, so these are the two most important rheological parameters. Since the yield stress and viscosity of cement composites increases with time (Mostafa and Yahia, 2016; Kruger et al., 2019; Chen et al., 2020a; Liu et al., 2021, 2022), workability loss could be observed. The vibration applied during placement can greatly improve the workability of traditionally manufactured concrete (Felekoğlu and Sarikahya, 2008). However, vibration not be used in some specific concretes such as SCC and 3D concrete. Therefore for these specific applications have some particular rheological properties. For example, mixtures should preserve the initial slump level as much as possible in SCC and 3DCP and this can be achieved by controlling the yield stress and plastic viscosity increase (Felekoğlu and Sarikahya, 2008; Soltan and Li, 2018). In order for these special concretes to be applied the cement pastes in the mixtures also should be high thixotropic (Le et al., 2012; Paul et al., 2018; Liu et al., 2021).

Thixotropy is a system that is formed as a result of physical bonds when cement particles come into contact with each other for a certain period of time (Biricik and Mardani, 2022). In thixotropic systems, viscosity and yield stress decrease when deformation rate is applied, and when left to rest, viscosity and yield stress increase (Yuan et al., 2018; Navarrete et al., 2020). High thixotropy is demanded in SCC and 3DCP in order to exhibit the appropriate behavior in flow or resting time (Soltan and Li, 2018). The thixotropic area can be determined as the area between the up and down curves of the cement paste exposed to different shear rates (Quanji et al., 2014; Long et al., 2019a).

The following additives have been used in the literature and it has been observed that they increase thixotropy: silica fume, metakaolin, fly ash (Ahari et al., 2015; Yuan et al., 2018), attapulgit, nano calcium carbonate, nano silica (Yuan et al., 2018), limestone powder, re-dispersible polymer powder, and hydroxypropyl methylcellulose ether (Feng et al., 2022). Additives such as microcrystalline cellulose (Long et al., 2019b), hydroxypropyl methylcellulose, silica fume (Liu et al., 2021), metakaolin, and bentonite (Chen et al., 2020a; Liu et al., 2021), are used in the literature to adjust the viscosity and yield stress of the mixtures. In this study, cellulose nanofiber and cellulose nanocrystal additives obtained from cellulose, a renewable, environmentally friendly polymeric raw material, were used in order to increase thixotropy of mixtures and control the increment of viscosity and yield stress. In order to observe the changes in yield stresses and viscosities over time, the viscosity measurements of the mixtures with resting times of 0,15,30,45 minutes were made with a viscometer device, and the



yield stresses of the cement pastes were determined in the Bingham model. The effects of the cellulose-based additives on yield stress, plastic viscosity and thixotropy were investigated.

### **1.1. Research Question**

It is known that sustainable cellulose nanomaterials obtained from different sources are effective in providing the desired rheological properties for concrete.

In this study, answers were sought to the following questions:

Could the increase in viscosity and yield stress of the cement paste with time be controlled by using cellulose nanocrystals and cellulose nanofibers?

How these additives effect thixotropic behavior?

Which additive performs better in which situations?

## **2. Material and Method**

### **2.1. Preparation of mixtures**

The additives mainly affect the flow behavior of the cement paste without changing the composition or behavior of the aggregates (Ferraris et al., 2001), so in this study the tests were performed on the cement paste. This study aimed to control the rise in viscosity and yield stress of cement paste over time. CEM I 42.5 N Ordinary Portland Cement (OPC) was used in the preparation of pastes. A new generation polycarboxylate-based superplasticizer with a high water reduction capacity and modified phosphate based setting retarder additive were used.

Commercially provided cellulose nanocrystal (CNC) and laboratory-produced cellulose nanofiber (CNF) were used for viscosity regulation in the mixtures. The plant-derived CNC used in the study had a white color, a width of 10-20 nm, a length of 300-900 nm, and a density of 1,49 g/cm<sup>3</sup>. CNCs, which were homogenized by mixing with an ultrasonic homogenizer for 1 hour in mixing water, were then included in the mixture. Another viscosity-regulating additive used in this study was CNF obtained from a green alga, *Cladophora* sp. The hydrochloric acid hydrolysis method used in Türk et al. were used to obtain CNFs from *Cladophora* sp. Accordingly, algae were first purified from soil, minerals, proteins, pigments, and unwanted materials. Then, the purified samples were exposed to sound waves with a sonicator for 1 hour to ensure the separation of the fibers and the formation of nanofibers. As a result of the aforementioned process, cellulose nanofibers with a diameter of 15-20 nm and a length of 1500-2500 nm were obtained (Türk et al., 2022). Before the cellulose nanofibers were included in the mixtures, they were mixed and homogenized with the mixing water for 1 hour with an ultrasonic homogenizer.

The mixture without any viscosity modifying additives was named as a reference. Between 0,025-0,075, CNF and CNC were included in the reference mixture. The mixtures produced within the scope of the study are presented in Table 1.

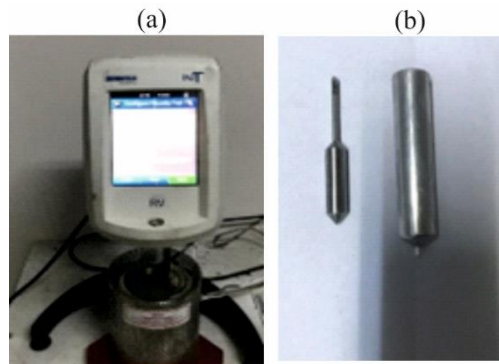
**Table 1.** Mix proportions

Sample Name	OPC (kg/m <sup>3</sup> )	Water (kg/m <sup>3</sup> )	Superplasticizer (%)*	Retarder (%)*	CNC/CNF (%)*
Reference	800	280	1	0,5	0
CNC 1	800	280	1	0,5	0,025 CNC
CNC 2	800	280	1	0,5	0,05 CNC
CNC 3	800	280	1	0,5	0,075 CNC
CNF 1	800	280	1	0,5	0,025 CNF
CNF 2	800	280	1	0,5	0,05 CNF
CNF 3	800	280	1	0,5	0,075 CNF

\*by weight of binder

## 2.2. Method

The mixtures given in Table 1 were mixed for one minute. Viscosity measurements of cement pastes with resting periods of 0,15,30 and 45 minutes from the preparation of the mixture were made. Brookfield DV2T model viscometer was used for viscosity measurements. A rotating apparatus with a diameter of 11,76 mm and a length of 33,02 mm and a sample chamber with a sample volume of 10,4 ml were used. (Figure 2.1).



**Figure 2.1.** Viscometer device (a), spindle and sample chamber (b)

The prepared cement pastes were pre-sheared at 30 s<sup>-1</sup> for 30 seconds. This pre-shear aimed to ensure that each batch of mortar has the same initial shear state during the rheological analysis. After this pre-shear, it was waited for 30 seconds for the mixture to stabilize. Then, within 90 seconds, the shear rate increased in the range of 5 s<sup>-1</sup> to 65 s<sup>-1</sup> (5 s<sup>-1</sup> intervals) and decreased. The shear stress corresponding to each shear rate was recorded during the measurement. The Bingham model is widely used when examining the rheologic parameters of fresh concrete (Yuan et al., 2017; Chen et al., 2020a; Jiao et al., 2021; Liu et al., 2021). For the determination of yield stress and plastic viscosity, the values of the down curve and the Bingham model given in Equation 2.1 were used.

$$\tau = \tau_0 + \mu_p \times \gamma \quad (2.1)$$

Here,  $\tau$  (Pa) is the shear stress,  $\tau_0$  (Pa) is the yield stress,  $\dot{\gamma}$  (s<sup>-1</sup>) is the shear rate, and  $\mu_p$  (Pa.s) is the plastic viscosity. The yield stress of the cement paste was determined by making linear regression with the data obtained from the measurement at various shear rates. As a result of the measurements, a comparison was made between the yield stress and plastic viscosities.

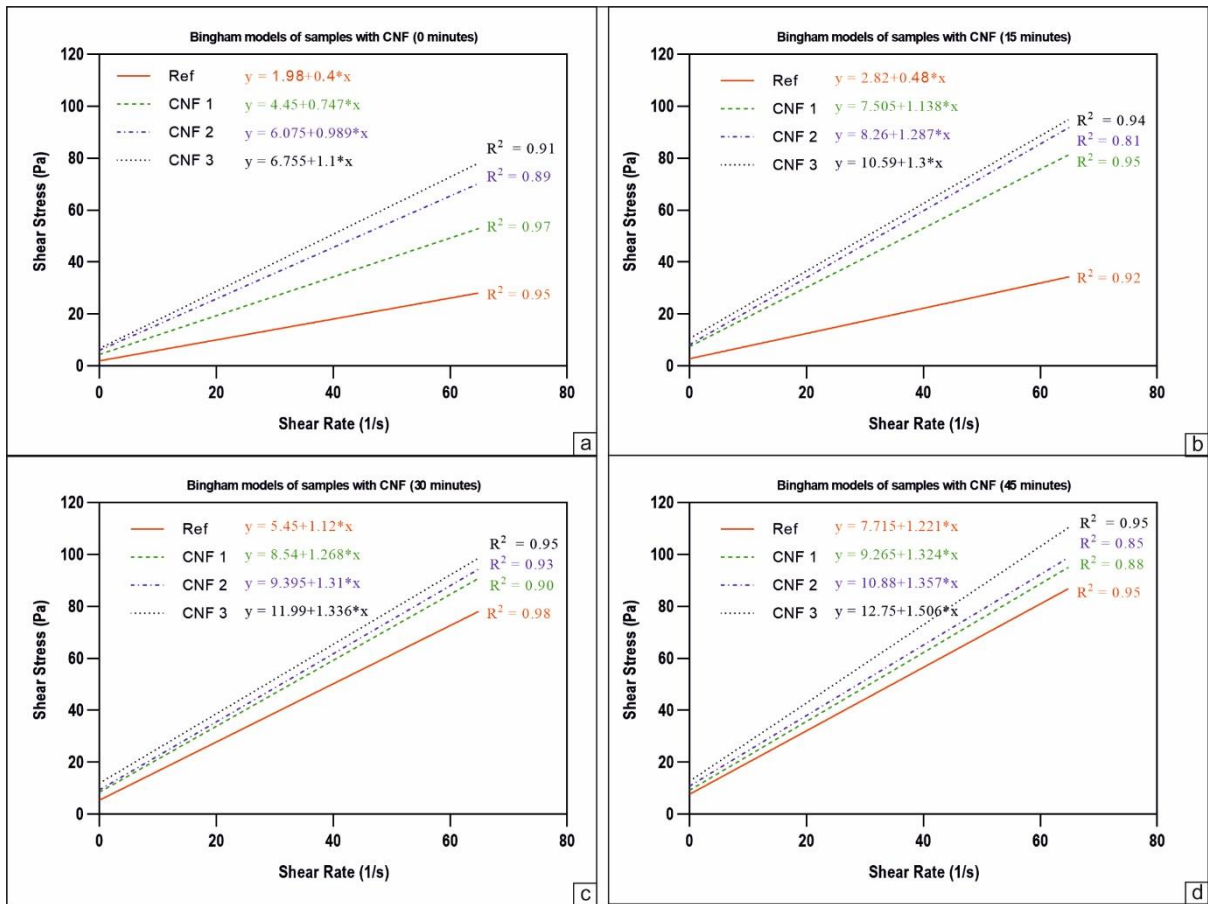
Thixotropy was measured as the area between the up and down curves of the shear rate shear stress graph. The results that changed with the effect of the additives were compared.

### **3. Result and Discussion**

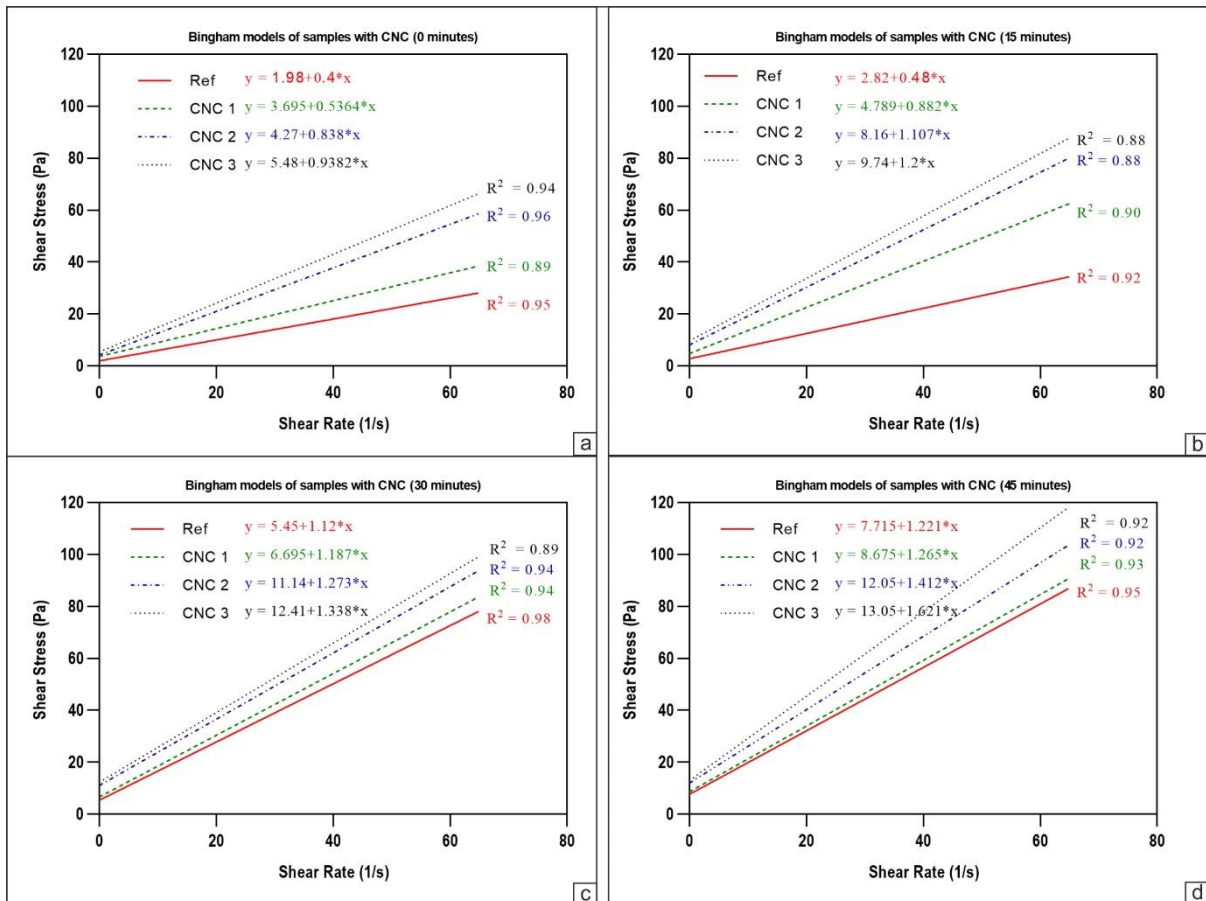
#### **3.1. Bingham models**

Bingham models prepared depending on the resting time of mixtures containing CNF are presented in Figure 3.1, and mixtures containing CNC are presented in Figure 3.2. In general, yield stresses and viscosities of the samples containing additives remained above the reference sample at all resting times. In addition, the yield stress and viscosity values increased with the increase in the amount of additive at all resting times. This is likely due to the agglomeration of CNF and CNC. Cellulosic nanofibers form a network structure. As larger forces are required to break or align these structures, yield stress increases (Cao et al., 2015). In addition, the increase in the yield stress of cement pastes due to the increase in the rate of additives may also be due to their hydrophilic nature and their excessive holding capacity and holding the mixing water (Muhammad Salman et al., 2021; Liang et al., 2022).

It is clear from the measurement results taken immediately after the preparation of the mixture (Figure 3.1a), that the yield stress and viscosity of the sample with the highest CNF increased by %240 and %175, respectively, compared to the reference sample. However, after 45 minutes (Figure 3.1d), these rates of increase decreased to %65 and %23, respectively. A similar situation existed for mixtures containing CNC. In the measurement taken immediately after the preparation of the mixture (Figure 3.2a), the yield stress and viscosity of the sample with the highest CNC increased by %176 and %135, respectively, compared to the reference sample. However, at 45 minutes (Figure 3.2d), these rates of increase decreased to %69 and %32, respectively. The effect of additives on hydration could explain this situation due to the adsorption of CNF and CNC on the cement particles, a delay in hydration happens as a result of the diminish within the accessible surface region of the cement particles to take part within the hydration response (Cao et al., 2016; Flores et al., 2017; Liang et al., 2022). The reference sample continued to hydrate at its usual rate from the moment of mixing until the 45th minute, so the yield stress and viscosity of the mixture increased continuously. However, the increase in yield stress of samples containing additives over time could be associated with flocculation and cement hydration (Reiter et al., 2018; Chen et al., 2020b). Therefore, the rate of increase in viscosity and yield stress slowed down due to the hydration delay in samples containing additives. In this way, the increase in viscosity and yield stress was controlled, and the open-time of the mixture was extended.



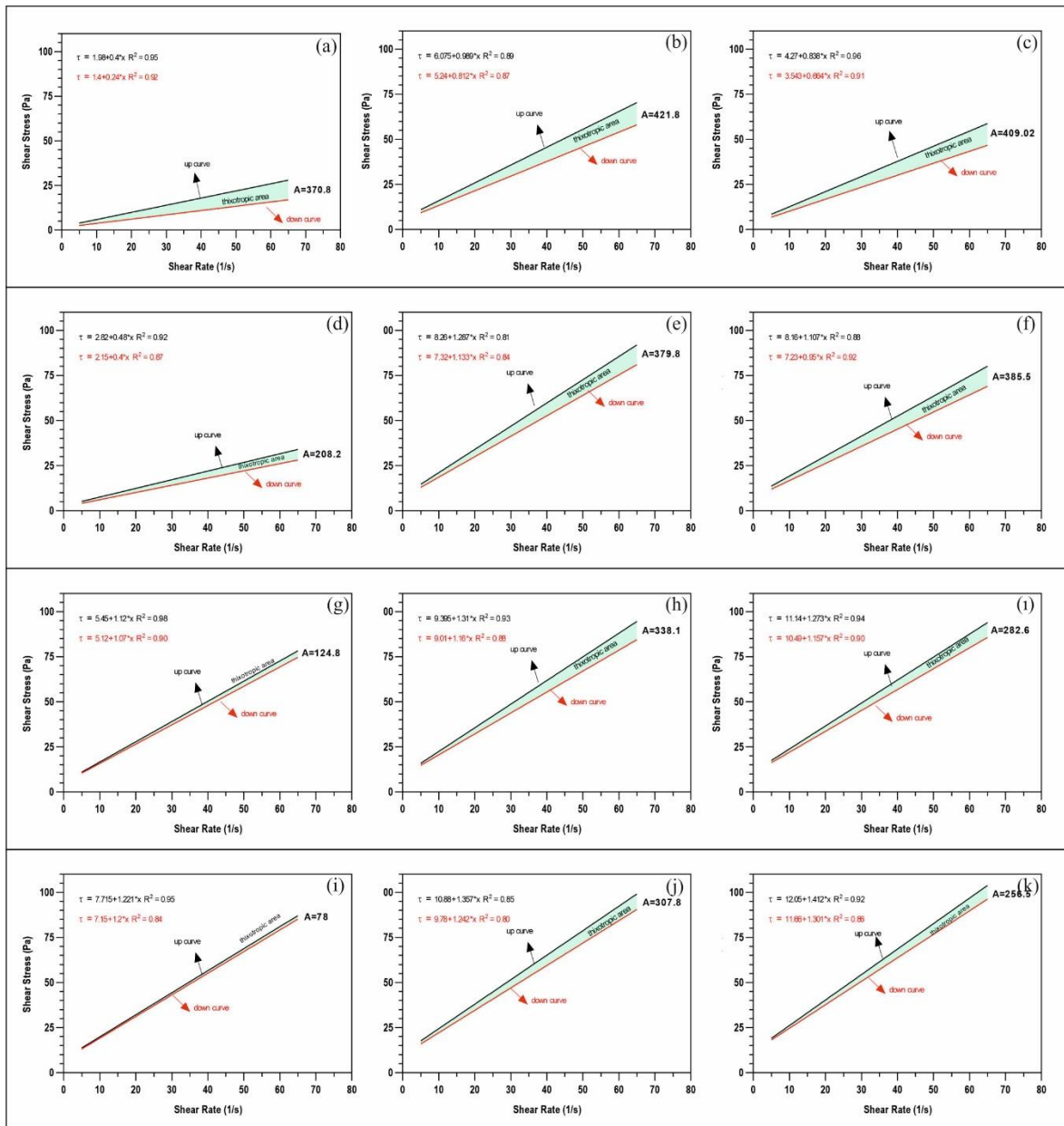
**Figure 3.1.** The Bingham model fitting results of the declining section of the shear rate for CNF, resting time (a) 0 minutes, (b) 15 minutes, (c) 30 minutes, (d) 45 minutes



**Figure 3.2.** The Bingham model fitting results of the declining section of the shear rate for CNC, resting time (a) 0 minutes, (b) 15 minutes, (c) 30 minutes, (d) 45 minutes

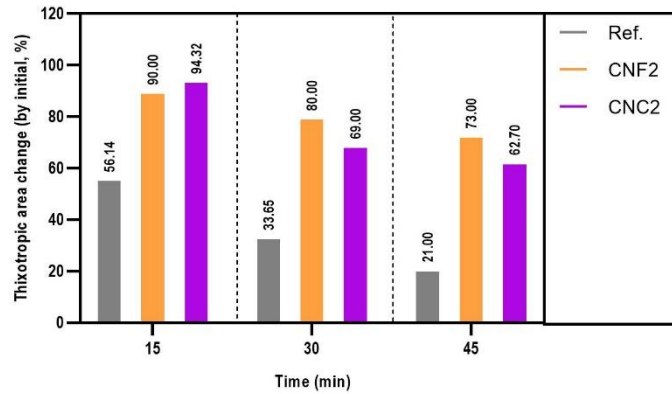
### 3.2. Thixotropy

For the thixotropy evaluations, the mixture containing the median value of 0,05 was selected. In Figure 3.3, the shear rate-shear stress graph and thixotropic areas of reference, CNF 2 and CNC 2 mixtures that have 0,15,30,45 minute resting time are presented. As seen in the figure 3.3 the thixotropy value for the cement paste increases appreciably with the addition of CNF and CNC, this indicating an improvement in the thixotropy. It is noteworthy that pastes with CNF exhibited more improvement in thixotropy than pastes with CNC.



**Figure 3.3.** The thixotropic area of cement pastes, 0 minute (a) ref, (b) CNF2, (c) CNC2, 15 minutes (d) ref, (e) CNF2, (f) CNC2, 30 minutes (g) ref, (h) CNF2, (i) CNC2, 45 minutes (j) ref, (k) CNF2, (l) CNC2.

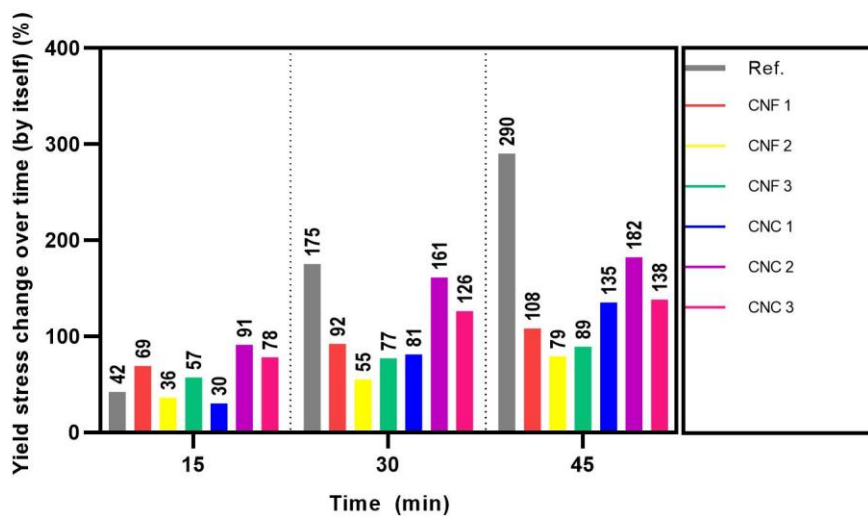
The thixotropic area percentages preserved over time from the first mixing moment are given in Figure 3.4. The reference sample retained only %21 of its initial thixotropy 45 minutes after the initial mixing, while the sample containing nanofibers retained %73 and the sample containing nanocrystals %62. It is understood that the nanofiber additive is more effective in the preservation of thixotropy over time. These results confirm that the nanofibers align in the flow direction, facilitating the flow since shear stress is applied, and entanglement with each other during the resting period, forming a complex structure (Nassiri et al., 2021).



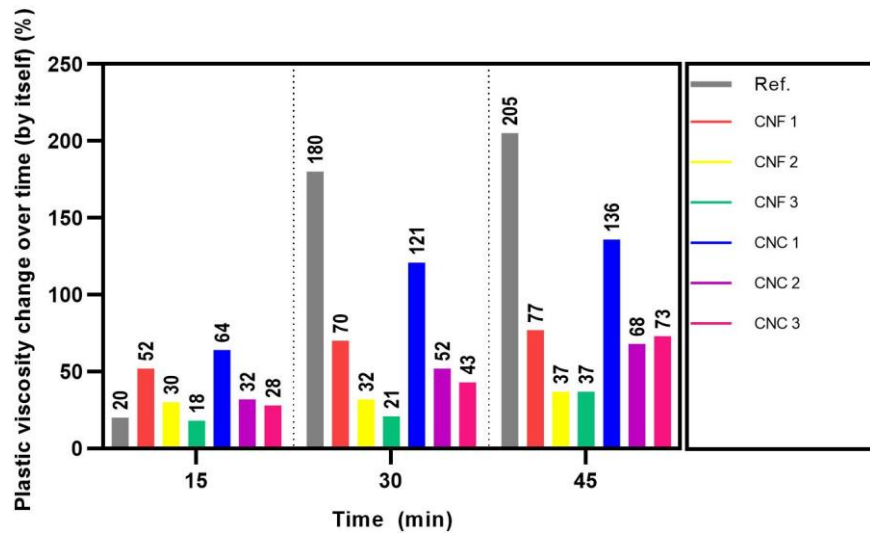
**Figure 3.4.** The thixotropic area preserved over time

### 3.3. Comparison of additives

The yield stress and viscosity increases of the mixtures from the first mixing moment are presented systematically in Figures 3.5 and 3.6. It was understood from this that the yield stress of the reference sample increased by %42 in 15 minutes, %175 in 30 minutes, and %290 in 45 minutes. However, the increase rates in samples containing additives were not that high. For example, the sample containing %0,05 CNF increased by %36 in 15 minutes, %55 in 30 minutes, and %79 in 45 minutes. When CNC and CNF additives are compared, CNF generally increased yield stress and plastic viscosity more than CNC. CNFs are physically much longer than CNCs and are often entangled. Due to this shape, they create a restrictive effect on the dispersion of cement particles. Since the fibers form a network, it becomes difficult to break or align them, thus increasing the yield stress (Gwon and Shin, 2021). CNCs, on the other hand, are smaller and mobile particles, so they do not restrict the movement of cement particles as much as CNFs (Nassiri et al., 2021). This explains why the yield stresses of mixtures containing CNC are lower than the yield stresses of mixtures containing CNF.



**Figure 3.5.** Percentage increase in yield stress of mixtures over time



**Figure 3.6.** Percentage increase in viscosity of mixtures over time

#### 4. Conclusions

In this study, which investigated the effects of two different cellulosic additives in nano size on the viscosity and yield stress of cement paste, the following conclusions were reached.

- CNF and CNC additives increased the viscosity yield stress of the mixtures depending on the amount of use.
- The use of CNF and CNC in concrete and mortar applications, where rheological parameters such as yield stress and viscosity must be controlled, improves performance. Considering the desired rheological parameters in 3DCP, it was thought that the use of CNF and CNC in the mixtures can be increased open-time by controlling the increase in viscosity and yield stress.
- When comparing CNF and CNC, using the same amount of additives, CNF increased yield stress and viscosity more than CNC. However, considering the variation of rheological parameters with time, the yield stress and viscosity increase rate of the mixture were lower when CNF was used. Therefore, using CNF in mixtures is more advantageous than CNC.
- Both types of additives are highly effective in preserving thixotropy. However, CCF additive is more effective than CNC.

#### Statement of Conflict of Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

#### Author's Contributions

The authors contributed equally to this work.



## References

- Ahari RS., Erdem TK., Ramyar K. Thixotropy and structural breakdown properties of self consolidating concrete containing various supplementary cementitious materials. *Cement and Concrete Composites* 2015; 59, 26–37.
- Biricik Ö., Mardani A. Parameters affecting thixotropic behavior of self compacting concrete and 3D printable concrete; a state-of-the-art review. *Construction and Building Materials* 2022; 339, 127688.
- Cao Y., Zavaterra P., Youngblood J., Moon R., Weiss J. The influence of cellulose nanocrystal additions on the performance of cement paste. *Cement and Concrete Composites* 2015; 56, 73–83.
- Cao Y., Zavattieri P., Youngblood J., Moon R., Weiss J. The relationship between cellulose nanocrystal dispersion and strength. *Construction and Building Materials* 2016; 119, 71–79.
- Chen M., Liu B., Li L., Cao L., Huang Y., Wang S., Zhao P., Lu L., Cheng X. Rheological parameters, thixotropy and creep of 3D-printed calcium sulfoaluminate cement composites modified by bentonite. *Composites Part B: Engineering* 2020a; 186, 107821.
- Chen M., Yang L., Zheng Y., Huang Y., Li L., Zhao P., Wang S., Lu L., Cheng X. Yield stress and thixotropy control of 3D-printed calcium sulfoaluminate cement composites with metakaolin related to structural build-up. *Construction and Building Materials* 2020; 252, 119090.
- Felekoğlu B., Sarikahya H. Effect of chemical structure of polycarboxylate-based superplasticizers on workability retention of self-compacting concrete. *Construction and Building Materials* 2008; 22(9): 1972–1980.
- Feng K., Xu Z., Zhang W., Ma K., Shen J., Hu M. Rheological properties and early-age microstructure of cement pastes with limestone powder. *Redispersible Polymer Powder and Cellulose Ether. Materials* 2022; 15(9): 3159.
- Ferraris CF., Obla KH., Hill R. The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete. *Cement and Concrete Research* 2001; 31(2): 245–255.
- Flores J., Kamali M., Ghahremaninezhad A. An investigation into the properties and microstructure of cement mixtures modified with cellulose nanocrystal. *Materials* 2017; 10(5): 498.
- Gwon S., Shin M. Rheological properties of cement pastes with cellulose microfibrils. *Journal of Materials Research and Technology* 2021, 10, 808–818.
- Jiao D., de Schryver R., Shi C., de Schutter G. Thixotropic structural build-up of cement-based materials: A state-of-the-art review. *Cement and Concrete Composites* 2021; 122, 104152.
- Kazemian A., Yuan X., Cochran E., Khoshnevis B. Cementitious materials for construction-scale 3D printing: Laboratory testing of fresh printing mixture. *Construction and Building Materials* 2017; 145, 639–647.

- Kruger J., Zeranka S., van Zijl G. An ab initio approach for thixotropy characterisation of (nanoparticle-infused) 3D printable concrete. *Construction and Building Materials* 2019, 224, 372–386.
- Le TT., Austin SA., Lim S., Buswell RA., Gibb AGF., Thorpe T. Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions* 2012; 45(8): 1221–1232.
- Liang L., Zhang X., Liu Q., Li X., Shang X. Cellulose nanofibrils for the performance improvement of ultra-high ductility cementitious composites. *Cellulose* 2022; 29(3): 1705–1725.
- Liu C., Chen Y., Xiong Y., Jia L., Ma L., Wang X., Chen C., Banthia N., Zhang Y. Influence of HPMC and SF on buildability of 3D printing foam concrete: From water state and flocculation point of view. *Composites Part B: Engineering* 2022; 242, 110075.
- Liu C., Wang X., Chen Y., Zhang C., Ma L., Deng Z., Chen C., Zhang Y., Pan J., Banthia N. Influence of hydroxypropyl methylcellulose and silica fume on stability, rheological properties, and printability of 3D printing foam concrete. *Cement and Concrete Composites* 2021; 122, 104158.
- Long WJ., Tao JL., Lin C., Gu Y., Mei L., Duan HB., Xing F. Rheology and buildability of sustainable cement-based composites containing micro-crystalline cellulose for 3D-printing. *Journal of Cleaner Production* 2019a; 239, 118054.
- Long WJ., Tao JL., Lin C., Gu Y., Mei L., Duan HB., Xing F. Rheology and buildability of sustainable cement-based composites containing micro-crystalline cellulose for 3D-printing. *Journal of Cleaner Production* 2019b; 239, 118054.
- Mohan MK., Rahul AV., van Tittelboom K., de Schutter G. Rheological and pumping behaviour of 3D printable cementitious materials with varying aggregate content. *Cement and Concrete Research* 2021, 139, 106258.
- Mostafa AM., Yahia A. New approach to assess build-up of cement-based suspensions. *Cement and Concrete Research* 2016; 85, 174–182.
- Muhammad Salman N., Ma G., Ijaz N., Wang L. Importance and potential of cellulosic materials and derivatives in extrusion-based 3D concrete printing (3DCP): Prospects and challenges. *Construction and Building Materials* 2021; 291, 123281.
- Muthukrishnan S., Ramakrishnan S., Sanjayan J. Technologies for improving buildability in 3D concrete printing. *Cement and Concrete Composites* 2021; 122, 104144.
- Nassiri S., Chen Z., Jian G., Zhong T., Haider MM., Li H., Fernandez C., Sinclair M., Varga T., Fifield LS., Wolcott M. Comparison of unique effects of two contrasting types of cellulose nanomaterials on setting time, rheology, and compressive strength of cement paste. *Cement and Concrete Composites* 2021, 123, 104201.

- Navarrete I., Kurama Y., Escalona N., Lopez M. Impact of physical and physicochemical properties of supplementary cementitious materials on structural build-up of cement-based pastes. *Cement and Concrete Research* 2020; 130, 105994.
- Panda B., Tan MJ. Experimental study on mix proportion and fresh properties of fly ash based geopolymer for 3D concrete printing. *Ceramics International* 2018; 44(9), 10258–10265.
- Paul SC., van Zijl GPAG., Gibson I. A review of 3D concrete printing systems and materials properties: current status and future research prospects. *Rapid Prototyping Journal* 2018; 24(4): 784–798.
- Perrot A., Rangeard D., Pierre A. Structural built-up of cement-based materials used for 3D-printing extrusion techniques. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions* 2016; 49(4): 1213–1220.
- Petit JY., Wirquin E., Vanhove Y., Khayat K. Yield stress and viscosity equations for mortars and self-consolidating concrete. *Cement and Concrete Research* 2007; 37(5): 655–670.
- Qian Y., Kawashima S. Use of creep recovery protocol to measure static yield stress and structural rebuilding of fresh cement pastes. *Cement and Concrete Research* 2016; 90, 73–79.
- Quanji Z., Lomboy GR., Wang K. Influence of nano-sized highly purified magnesium alumino silicate clay on thixotropic behavior of fresh cement pastes. *Construction and Building Materials* 2014; 69, 295–300.
- Reiter L., Wangler T., Roussel N., Flatt RJ. The role of early age structural build-up in digital fabrication with concrete. *Cement and Concrete Research* 2018; 112, 86–95.
- Shakor P., Nejadi S., Sutjipto S., Paul G., Gowripalan N. Effects of deposition velocity in the presence/absence of E6-glass fibre on extrusion-based 3D printed mortar. *Additive Manufacturing* 2020; 32, 101069.
- Soltan DG., Li VC. A self-reinforced cementitious composite for building-scale 3D printing. *Cement and Concrete Composites* 2018; 90, 1–13.
- Souza MT., Ferreira IM., Guzi de Moraes E., Senff L., Novaes de Oliveira AP. 3D printed concrete for large-scale buildings: An overview of rheology, printing parameters, chemical admixtures, reinforcements, and economic and environmental prospects. *Journal of Building Engineering* 2020; 32, 101833.
- Tay YWD., Qian Y., Tan MJ. Printability region for 3D concrete printing using slump and slump flow test. *Composites Part B: Engineering* 2019; 174, 106968.
- Türk F., Kaya M., Saydan M., Keskin ÜS. Environmentally friendly viscosity-modifying agent for self-compacting mortar: *Cladophora* sp. cellulose nanofibres. *European Journal of Environmental and Civil Engineering* 2022; 1-16.
- Yuan Q., Zhou D., Khayat KH., Feys D., Shi C. On the measurement of evolution of structural build-up of cement paste with time by static yield stress test vs. small amplitude oscillatory shear test. *Cement and Concrete Research* 2017; 99, 183–189.

- Yuan Q., Zhou D., Li B., Huang H., Shi C. Effect of mineral admixtures on the structural build-up of cement paste. *Construction and Building Materials* 2018; 160, 117–126.
- Zhang J., Wang J., Dong S., Yu X., Han B. A review of the current progress and application of 3D printed concrete. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 2019; 125, 105533.
- Zhang JY., Pandya JK., McClements DJ., Lu J., Kinchla AJ. Advancements in 3D food printing: a comprehensive overview of properties and opportunities 2021; 62(17): 4752–4768.

## Metaboksitlerin Pb İzotopik Özellikleri Üzerine Bir Çalışma (Milas-Muğla-Türkiye)

Leyla KALENDER<sup>1</sup>, Hatice KARA<sup>2\*</sup>, Azar AKHUNDLU<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Fırat University, Faculty of Engineer, Department of Geology, Elazığ, Türkiye

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6078-428X>

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3441-9865>

<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1864-7385>

\*Sorumlu yazar: haticekara@firat.edu.tr

### Araştırma Makalesi

### ÖZ

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 05.10.2022

Kabul tarihi: 01.03.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Diyaspor

Metaboksit

Milas (Muğla-Türkiye)

Pb izotop

Cevherlerin Pb izotop bileşimi, cevher kaynaklarının izini sürmek için önemli yaklaşımlardan biridir. Milas-Muğla metaboksit yataklarının oluşum koşullarının belirlenmesine yönelik bu çalışma ile örneklerin Pb izotopik bileşimleri Doe ve Zartman plumbotektonik modellerine yansıtılmıştır ve sonuçlar yorumlanmıştır.  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ve  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  oranına göre; örneklerin bazıları metaboksit kaynağının üst kıtasal kabuk kaynaklı olduğu ancak bazı örneklerin ise alt kabuk kaynaklı kirlenmenin olduğu belirlenmiştir.

## A Study on Pb Isotopic Characteristics of Bauxite (Milas-Muğla-Türkiye)

### Research Article

### ABSTRACT

#### Article History:

Received: 05.10.2022

Accepted: 01.03.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Diaspore

Metabauxite

Milas (Muğla-Türkiye)

Pb isotope

The Pb isotopic composition of ores is one of the important approaches to trace the ore sources. With this study to determine the formation conditions of Milas-Muğla metabauxite deposits, the Pb isotopic compositions of the samples were reflected in the Doe and Zartman plumbotectonic models and the results were interpreted. According to the ratio of  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  and  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ; It was determined that the metabauxite source of some of the samples was from the upper continental crust, but some samples were contaminated by the lower crust.

**To Cite:** Kalender L., Kara H., Akhundlu A. Metaboksitin Pb İzotopik Özellikleri Üzerine Bir Çalışma (Milas-Muğla-Türkiye). Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 1810-1819.

## 1. Giriş

Dünya boksit kaynaklarının %14'ünü temsil eden karst boksitler, morfoloji, bileşim ve coğrafi-paleocoğrafik kriterlere dayalı olarak otokton, para-otokton, allokton ve para-allokton alt tiplerine ayrılmıştır (Laville, 1981; Bárdossy, 1982; Combes, 1990; Combes ve ark., 1993). Karst boksitler lateritik boksitlerden farklıdır. Tipik olarak, klasik lateritik bir profil sergilemezler ve farklı ortamdaki ana kayaç ya da kayaçların lateritik topraklarının drenaj ağları vasıtasıyla karstik ceplere ya da çukurlara depolanması ile oluşan allokton kökenli oluşumlardır (Herrington ve ark., 2016; Mondillo ve ark., 2021). Türkiye'de Seydişehir karstik boksit yatakları buna tipik örnek olarak verilebilir. Doğu Akdeniz bölgesinin karst boksitleri ve metaboksitleri ve bu oluşumların metamorfik karşılıkları olan metaboksitler, genellikle Permo-Triyas'tan Kretase'ye kadar kalın tabakalı platform tipi kayaçlarla

çevrilidir (Liaghat ve ark., 2003; Calagari ve Abedini, 2007; Zarasvandi ve ark., 2008). Özellikle dünya çapında çok nadir bulunan korund bakımından zengin metaboksitler, Türkiye'nin güneybatısındaki Menderes Masifi'nde rapor edilmiştir (Yalçın, 1987; Aydoğan, 2001; Aydoğan ve Moazzen, 2012). Bu kayaçlar, Menderes Masifi'nde, bölgesel olarak metamorfeze olmuş temel çekirdek kayaları çevreleyen kalın tabakalı Mesozoyik metasedimanter tabakalara gömülmüş eski karstik cepleri/boşlukları temsil eden, düzensiz şekilli mercekler ve sucuk yapısı benzeri yapılar olarak mostra vermektedirler (Aydoğan ve Moazzen, 2012). Buna ek olarak, bölgede özellikle İsmail Dağı (Yatağan, Muğla) civarında plaser zımparataşı yatakları mevcuttur (Aydın ve ark., 2011).

Boksit cevherlerinin kurşun (Pb) izotop bileşimi, cevher kaynaklarının izini sürmek için önemli yaklaşımlardan biridir. Özellikle maden yataklarında cevherin kaynağını belirlemek amacıyla kurşun izotop çalışmaları yapılmaktadır. Chenming (2012), Guangxi (Çin) boksitlerinde Pb izotop bileşimlerinin özelliklerini ve bunlardan yola çıkarak kaynak modellemesi üzerinde çalışmalar yapmıştır. Buna göre Nadou ve Taiping maden bölgelerinden alınan cevher ve kaya örneklerinin Pb izotopik bileşimleri, Doe ve Zartman plumbotektonik modellerine yansıtılmıştır ve sonuçlar, cevher kaynaklarının iki maden için farklı olduğunu göstermiştir.

Pb izotopları arasında  $^{204}\text{Pb}$ ,  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$  ve  $^{208}\text{Pb}$  bulunmaktadır.  $^{204}\text{Pb}$  radyojenik değildir, dolayısıyla bolluğu değişmeden kalmaktadır. Ancak  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$  ve  $^{208}\text{Pb}$  sırasıyla  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$ 'nin son bozunma ürünleridir.  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  ve  $^{232}\text{Th}$ 'nin kademeli olarak azalması nedeniyle,  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$  ve  $^{208}\text{Pb}$  izotoplarının bolluğu artmaya devam etmektedir, dolayısıyla  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ve  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  izotop oranları kullanarak cevher kaynaklarını incelemek için en etkili araçlardan biridir (Chaozhuang, 2009; Fengxiang, 2009; Shah ve ark., 2010; Sihong ve ark., 2010; Qinzhi ve ark., 2012; Liu ve ark., 2017).

Bu çalışmada, Pb izotop verileri ile metaboksit cevheri kaynaklarının izini sürmek amaçlanmıştır. Kurşun izotop çalışmaları, kurşun mineralleri içeren cevherleşmelerde zenginleşen kurşunun kökeninin araştırılmasında kullanılan en yararlı yöntemdir. Cevherleşmeler içindeki diğer metallerin kökeni için de kurşun ile birlikte aynı kaynaktan geldikleri düşünülerek yaklaşımlarda bulunmaktadır. Jeokimyasal incelemeler sırasında;  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ve  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  izotop oranları analiz edilmekte ve sonuçlar  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ikili diyagramları hazırlanarak köken açısından değerlendirilmektedir. Köken incelemelerinde ise U ve Th içeriği çok düşük (zamanla radyojenik Pb üretimi sonucu izotopsal bileşimi değişmeyen) galen gibi mineraller, yaş tayini incelemelerinde U ve Th içeriği yüksek olan zirkon gibi mineraller kullanılmaktadır (Tosdal ve ark., 1999). Muğla-Milas bölgelerinden alınan metaboksit örneklerinin Pb izotopik bileşimleri Doe ve Zartman plumbotektonik modellerine yansıtılmıştır ve sonuçlar yorumlanmıştır.

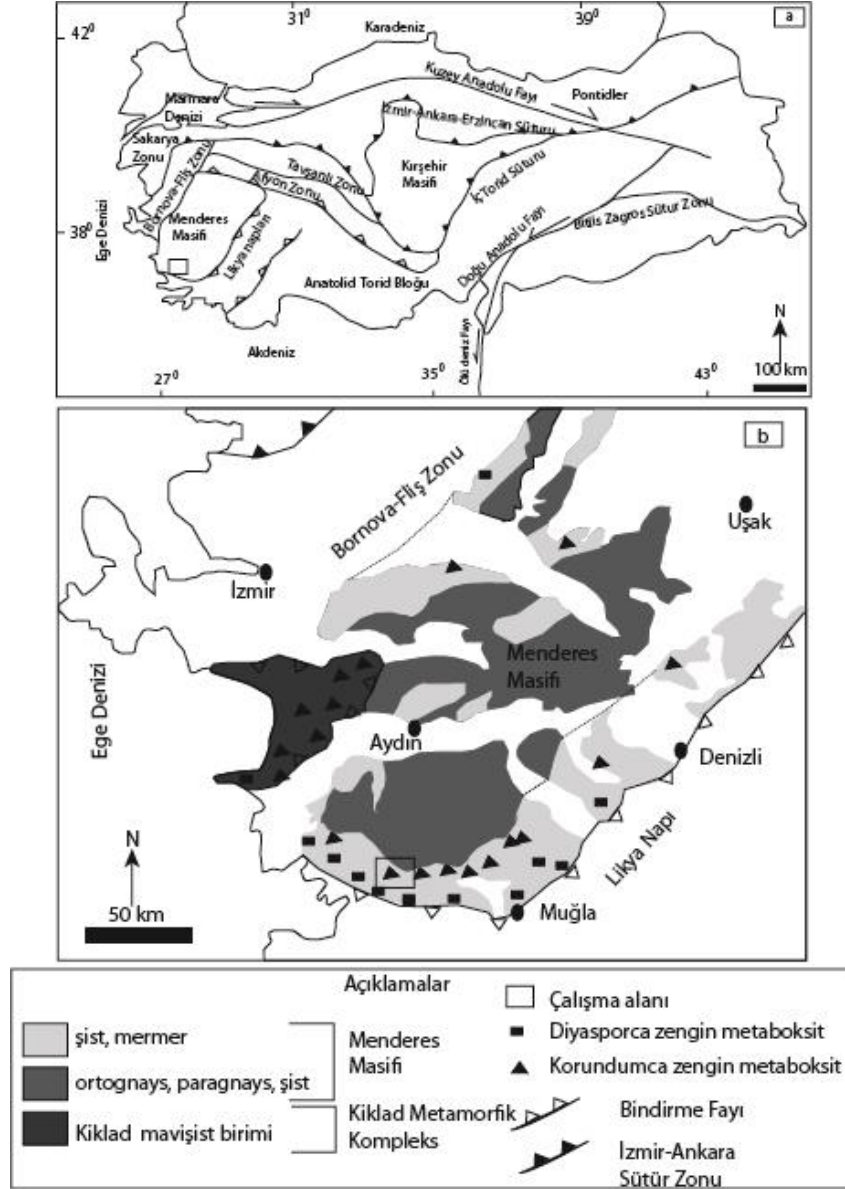
## 2. Materyal ve Metot

ICP-MS (Ion Coupled Plasma- Mass Spectrometry) analiz yöntemi ile metaboksit ve yan kayaç örnekleri aqua regia (kral suyu) (1:1:1  $\text{HNO}_3:\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}$ ) çözdürülmüştür. Toplamda 2 gram örnek

lantanitler ve refraktör elementler için 200 mesh altı alınarak analiz edilmiştir. Lityum borat füzyonu (LF 100) ile rayojenik Pb <sup>204</sup>Pb, <sup>206</sup>Pb, <sup>207</sup>Pb, <sup>208</sup>Pb izotop bileşim oranları belirlenmiştir. Kurşun izotop analizleri için STD DS11, STD NIST981-1Y ve STD NIST 983 -1Y standartlar kullanılmıştır. Tüm analizler Kanada ACME Bureau Veritas Mineral Laboratuvarında yaptırılmıştır. Masif metaboksitlerden 8 numune ve yan kayaçlardan 2 numune üzerinde Pb izotop analizleri yapılmıştır.

### **3. Genel Jeoloji**

Çalışma alanı, Muğla-Milas metaboksit yatağının jeolojisi, Menderes Masifinin literatür kapsamında anlatılması ile ortaya konulacaktır. Menderes Masifi üzerine birçok bilimsel çalışma bulunmaktadır. İlk olarak; “Menderes Masifi” adı Paréjas (1940) tarafından kullanılmış ve 1944 yılında jeolojik haritalarda tektonik dilim olarak gösterilmiştir. Erdoğan ve ark., (2011) önceki araştırmacılardan farklı olarak Menderes Masifi'nin çekirdeğine dahil edilen gözlü gnaysların Geç Kretase-Erken Eosen yaşlı granitoidlerden türediğini ileri sürmüştür. Önceki çalışmalarda bu birimler Prekambriyen yaşlı gnays ve şistler olarak değerlendirilmiştir ve Menderes Masifindeki naplı yapıların varlığını tespit edilmiştir (Bozkurt ve ark.,1993; Candan ve ark., 1992; Dora ve ark.,1994, 1995) (Şekil 1a ve Şekil 1b). Metaboksit oluşumları Göktepe napında Orta-Geç Triyas yaşlı mermerler ile Jura-Kretase yaşlı birimler arasında bulunurlar.



**Şekil 1. a) Türkiye'nin tektonik birimlerini gösteren basitleştirilmiş tektonik harita (Okan ve Tüysüz, 1999; Whitney ve Bozkurt, 2002). b) Muğla-Milas (Menderes Masifi) civarının jeoloji haritası (Yalçın ve ark., 1993; Aydoğan ve Moazzen, 2012'den değiştirildi)**

#### 4. Bulgular ve Tartışma

Muğla-Milas metaboksit yataklarının oluşum koşullarının belirlenmesine yönelik bu çalışma Muğla ili Milas ilçe sınırları içerisinde 4131523 K enlemi ve 588484 D boylamlarında yer almaktadır (Şekil 1 a).

Çalışma alanından alınan örneklerin Pb izotop bileşimleri ve izotop oranları Tablo 1'de verilmiştir. B2 nolu örnekte en yüksek kurşun değerleri görülmektedir. D1a nolu örnek ise 0,5 kat daha düşük kurşun değerlerine sahiptir (Tablo 1). Tüm örneklerdeki farklı kütle sayısına sahip kurşun izotopları duraylı kurşun değerine bölüldüğü zaman B1 ve D3 nolu örnekler en yüksek Pb izotop oranı değerine sahiptir.



**Tablo 1.** Metaboksit ve yan kayaç örneklerinin Pb izotop içerikleri verilmiştir (\*: ppm).

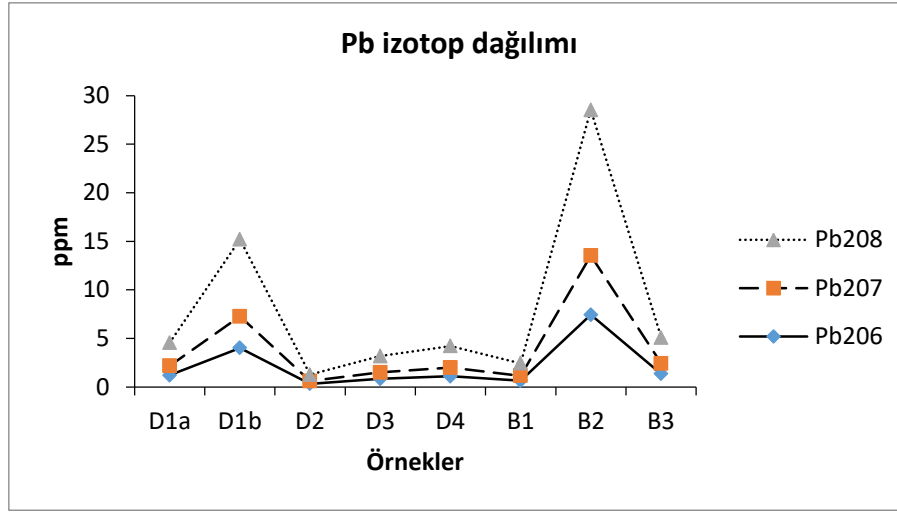
Örnek No	<sup>204</sup> Pb *	<sup>206</sup> Pb*	<sup>207</sup> Pb*	<sup>208</sup> Pb*	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb
D1a (mermer)	0,06	1,20	0,97	2,37	20,00	16,17	39,50
D1b (mermer)	0,2	4,01	3,25	7,94	20,05	16,25	39,70
D2 (metaboksit)	0,02	0,33	0,27	0,66	16,5	13,50	33,00
D3 (metaboksit)	0,04	0,83	0,67	1,67	20,75	16,75	41,75
D4 (metaboksit)	0,06	1,09	0,9	2,23	18,17	15,00	37,17
B1 (metaboksit)	0,03	0,63	0,52	1,29	21,00	17,33	43,00
B2 (metaboksit)	0,39	7,42	6,11	15,00	19,03	15,67	38,46
B3 (metaboksit)	0,07	1,34	1,08	2,66	19,14	15,43	38,00

Kurşun izotop çalışmaları, kurşun mineralleri içeren cevherleşmelerde zenginleşen kurşunun kökeninin araştırılmasında kullanılan en yararlı yöntemdir. Cevherleşmeler içindeki diğer metallerin kökeni için de kurşun ile birlikte aynı kaynaktan geldikleri düşünülerek yaklaşımlarda bulunmaktadır (Tosdal ve ark., 1999). Jeokimyasal incelemeler sırasında; <sup>208</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb, <sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb ve <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb izotop oranları analiz edilmekte ve sonuçlar <sup>208</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb, <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb, <sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb, <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb ikili diyagramları hazırlanarak köken açısından değerlendirilmektedir (Tosdal ve ark., 1999).

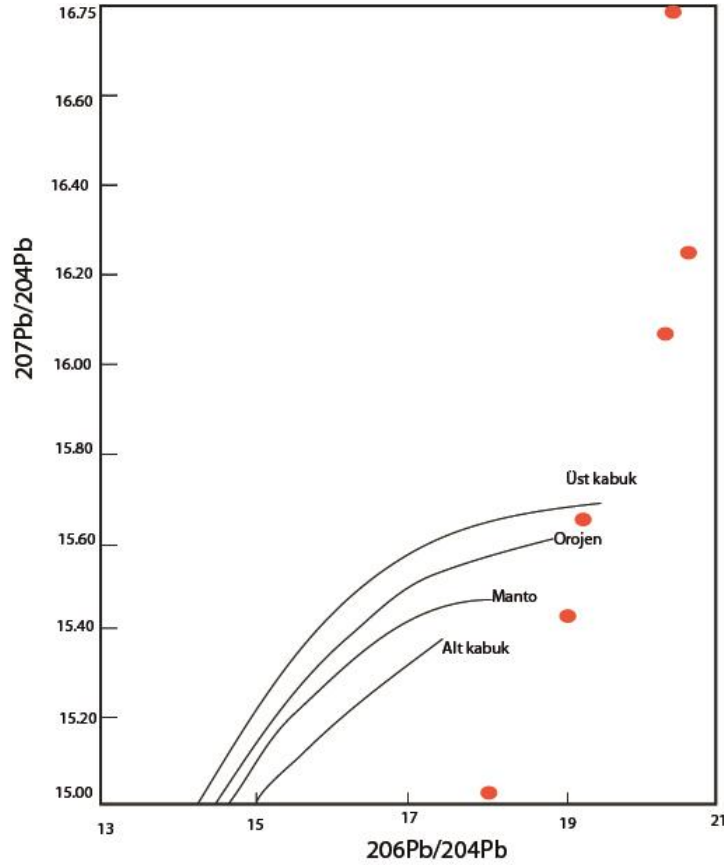
Bu çalışmada Pb izotop bileşim oranları her bir örnek için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır (Şekil 3). En yüksek değerlerin, D1b ve B2 nolu örnekler ile temsil edildiği belirlenmiştir (Şekil 3). Zartman ve Doe (1981) plumbotektonik diagram üzerinde metaboksit ve mermer örneklerinin <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb -<sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb ve <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb-<sup>208</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb izotop bileşim dağılımında örneklerin bazıları (D1b, D3, B1, B2) metaboksit kaynağının üst kıtasal kabuk olduğunu ancak D4 ve D2 nolu örneklerin ise alt kabuk kaynaklı kirlenmenin söz konusu olduğunu göstermektedir (Şekil 4 ve Şekil 5).

Kurşun izotop bileşimlerine göre cevherin kökenini bulmaya yönelik yapılan çalışmalarından bazıları aşağıda özetlenmiştir. Eskiköy (Malatya) bölgesindeki kurşun-çinko-barit yatağından alınan barit örneklerinin izotop verileri Zartman ve Doe'nun (1981) plumbotektonik diyagrama göre, manto, orojen ve alt kabuk eğrisi arasında olduğu belirlenerek, baritteki kurşunun manto, orojen ve kabuk kaynaklarından türetildiğini göstermektedir (Kara ve Bal Akkoca, 2021). Demirören (2010), Bolkardağ-Aladağlar Pb-Zn cevherleşmelerinin kurşun izotop niteliklerini belirlemek amacıyla yapmış olduğu çalışmada; galen cevherinin Pb-izotop bileşimleri çalışılan bütün yatakları için, referans kabuksal büyüme eğrileri ve geleneksel Pb-izotop diyagramları üzerinde izokronlara (eş yaş eğrileri) göre şekillenmeleri değerlendirildiğinde ortalama kabuksal değerlere göre daha büyük U/Pb oranlarına işaret etmekte olduğunu ve bu durumun kurşun için üst kabuksal kaynağa işaret ettiğini belirtmiştir. Şarkikaraağaç (Isparta) ve Alanya (Antalya) bölgelerindeki barit yataklarının kurşun kaynağı, kurşun izotop bileşimi için (galen, pirit) orojenik ve üst kabuk kökenli olarak yorumlanmıştır (Cengiz ve ark., 2008). Guangxi bölgesinde (Çin) çeşitli madenlerden alınan cevher ve kayaç örneklerinin Pb izotopik bileşimleri üzerinde yapılan karşılaştırmalı çalışma sonuçlarına göre: Pb izotopik bileşimi, boksitin cevher kaynaklarının sadece kireçtaşını değil, aynı zamanda diğer tortul kayaçları ve magmatik kayaçları da içerdiği belirlenmiştir (Qinzhi ve ark., 2012). Liu ve ark., (2017) Permiyen karstik Pingguo boksit yatağının izotopik (Sr-Nd-Pb) verileri ile bu bölgedeki Permiyen boksitlerini

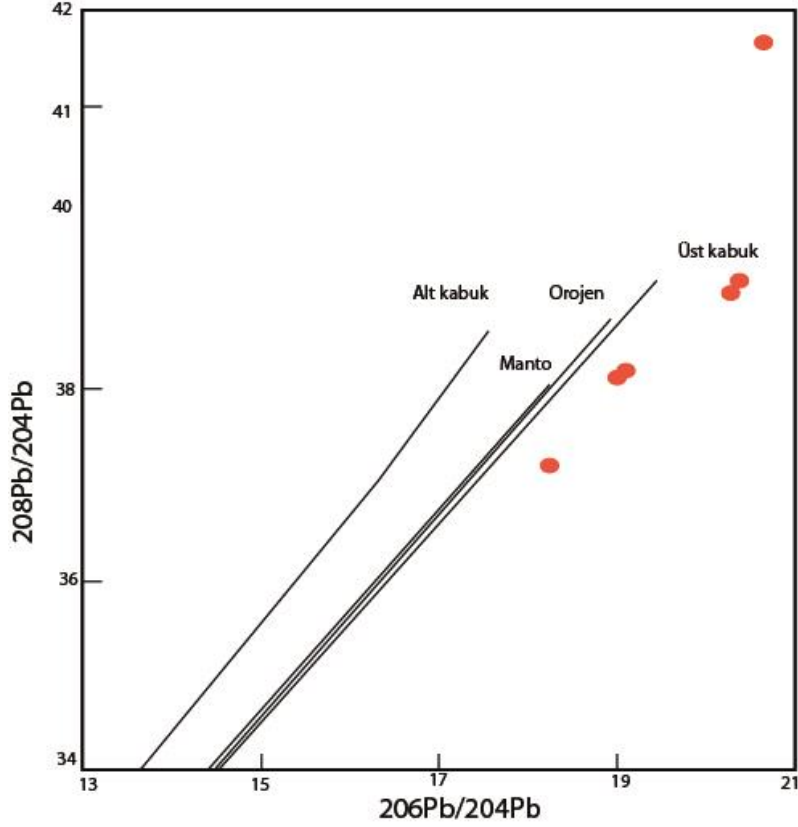
oluşturan süreçler hakkında bilgi edinmişlerdir. Boksitin Sr-Nd-Pb izotopik bileşimine göre kireçtaşı ve magmatik kayalardan (özellikle bazaltlardan) oluştuğu belirlenmiştir (Liu ve ark., 2017).



Şekil 3. Metaboksit örneklerinin Pb izotop dağılımı.



Şekil 4. Zartman ve Doe (1981) plumbotektonik diagram üzerinde metaboksit ve mermer örneklerinin  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ve  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  izotop bileşim dağılımı.



Şekil 5. Zartman ve Doe (1981) plumbotektonik diagram üzerinde metaboksit ve mermer örneklerinin  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ve  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  izotop bileşim dağılımı.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada Pb izotop bileşim oranları her bir örnek için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır ve en yüksek değerlerin, D1b ve B2 nolu örnekler ile temsil edildiği belirlenmiştir. Zartman ve Doe (1981) plumbotektonik diagram üzerinde metaboksit ve mermer örneklerinin  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  -  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ve  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  -  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  izotop bileşim dağılımında örneklerin bazıları (D1b, D3, B1, B2) metaboksit kaynağının üst kıtasal kabuk olduğunu ancak D4 ve D2 nolu örneklerin ise alt kabuk kaynaklı kirlenmenin olduğu belirlenmiştir.

## Teşekkür

Bu çalışma Elazığ, FÜBAP (Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri) MF1440 no'lu proje tarafından desteklenmiştir.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

## Kaynakça

- Alan İ., Keskin H., Böke N., Altun İ., Balci V., Elibol H., Demirbağ H., Bakirhan B., Arman S., Soyakıl M., Hanilçı N., Çelik ÖF., Candan O. MTA doğal kaynaklar ve ekonomi bülteni 2019; 28: 41-48.
- Aydoğan MS. (Muğla-Yatağan) Elmacık köyü İsmail Dağı civarındaki zımparaların araştırılması. Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel University, MSc Thesis, (Turkish with English abstract) 2001; 53.
- Aydoğan MS., Moazzen M. Origin and metamorphism of corundum-rich metabauxites at Mt. Ismail in the Southern Menderes Massif, SW Turkey. *Resource Geology* 2012; 62(3): 243–262.
- Bárdossy G., Karst bauxites. Elsevier Scientific, Amsterdam 1982; 441.
- Bozkurt E., Park RG., Winchester JA. Evidence against the core/cover interpretation of the southern sector of the Menderes Massif, West Turkey. *Terra Nova* 1993; 445-451.
- Candan O., Dora OÖ., Kun N., Akal C., Koralay E. Aydın Dağları (Menderes Masifi) güney kesimindeki allokton metamorfik birimler. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni* 1992; 4: 93-110.
- Calagari AA., Abedini A. Geochemical investigations on Permo-Triassic bauxite horizon at Kanisheeteh, east of Bukan, West-Azarbaidjan, Iran. *J. Geochem. Explor.*, 2007; 94: 1-18.
- Cengiz O., Uçurum A., Muchez P. Orta Toroslar'daki Sarkikaraağaç (Isparta), Hüyük, Beyşehir (Konya) ve Gazipasa (Antalya) barit yataklarının kökeninin sıvı kapanım ve S, O, C, Sr ve Pb izotop incelemeleri ile belirlenmesi. Proje No: 104Y032. 2008. Ankara.
- Chaozhuang X., Tagen D., Wuhui L. Lead and sulfur isotope geochemistry of the Huangshaping lead-zinc deposit, Hunan Province [J]. *Acta Geoscientica Sinica* 2009; 30: 89-94.
- Chenming L. The discovery of the intermediate and basic volcanic rocks in the Dachang ore deposit, Guangxi, and its geological significance. *Kunming University of Science and Technology* 2012; 1(1): 73-78.
- Combes PJ. Typologie, cadre géodynamique et gène`se des bauxites franc,aises. *Geodinamica Acta* 1990; 4: 91-109.
- Combes PJ., Oggiano G., Temussi I. Geodynamique des bauxites sardes, typologie, gène`se et controle paleotectonique. *Comptes Rendus de l'Acade`mie des Sciences Se`rie II*, 1993; 316: 403-409.
- Demirören SS. Bolkardağ-Aladağlar Pb-Zn cevherleşmelerinin kurşun izotop nitelikleri. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Niğde 2010; 123.
- Dora OÖ., Candan O., Kun N., Akal C. Menderes Masifinin metamorfik evrimi ve orta kesiminin (Ödemiş - Kiraz Asmasifi) 1 / 500.000 ölçekli jeoloji haritasının yapılması. TBAG - 937 nolu TÜBİTAK projesi (yayımlanmamış) 1994; 124.
- Dora OÖ., Candan O., Dürr S., Oberhänsli R. New evidence on the geotectonic evolution of the Menderes Massif. *International Earth Sciences Colloquium on the Eagean Region, Izmir-Turkey*. 1995; 1: 53-72.

- Erdoğan B., Akay E., Hasözbeğ A. Menderes Masifi'ndeki (Batı Anadolu) gnaysik granitlerin yerleşim özellikleri ve masifin tektonik evrimindeki yeri; Yeni arazi bulguları ve yaş tayinleri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Dergisi 2011; 142: 167-193.
- Fengxiang L., Fanglin L., Han Yinwen. Characteristics of Pb Isotopic composition in upper mantle Cenozoic for China continent [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences 2009; 34: 1-16.
- Herrington R., Mondillo N., Boni M., Thorne R., Tavlan M. Hukuo bauxite and nickel-cobalt lateritic deposits of the tethyan belt. Society of Economic Geologists, Inc. Special Publication 2016; 19: 349-387.
- Kara H., Bal Akkoca D. Origin of barite mineralization in the Doğanşehir (Malatya): Trace and rare earth element. Isotope and Fluid Inclusion Evidence. El-Cezeri 2021; 8(2): 1035-1050.
- Laville P. La formation bauxitique provenc,ale (France). Se'quence des facie's chimiques et pale'omorphologie cre'tace'e, Chronique de la Recherche Minie're 1981; 461: 51-68.
- Liaghat S., Hosseini M., Zarasvandi A. Determination of the origin and mass change geochemistry during bauxitization process at the Hangan deposit, SW Iran. Geochemistry Journal 2003; 37: 627-637.
- Liu X., Wang O., Zhang Q., Yang S., Liang Y., Zhang Y., Li Y., Guan T. Genesis of the Permian karstic Pingguo bauxite deposit, western Guangxi, China. Miner Deposita 2017; 52: 1031-1048.
- Mondillo N., Herrington R., Boni M. Bauxites. In: Encyclopedia of Geology, Second edition 2021; 694-708.
- Qinzi L., Qianhong W., Yiping Z. A study on Pb isotopic characteristics of raw bauxite in western Guangxi, China. Chin.J.Geochem. 2012; 31: 323-326.
- Okay AI., Tüysüz O. Tethyan sutures of northern Turkey. In Durand, B., Jolivet, L., Horváth, F. and Séranne, M. (eds.) The Mediterranean basins: tertiary extension within the Alpine orogen. Special Publication 156, Geological Society, London 1999; 475-515.
- Parejas E. La tectonique transversale de la Turquie. Revue de la Faculte des Sciences de l'Universite d'Istanbul, Serie B, tome V, fasc 1940; 3-4.
- Sihong J., Fengjun N., Yifei L. Sulfur and lead isotopic compositions of Bairendaba and Weilasituo silver-polymetallic deposits, Inner Mongolia [J]. Mineral Deposits 2010; 30, 101-112.
- Shah MT., Khan T., Khan A. Lead isotope signatures of Pb-Zn sulfide mineralization in the Reshian-Lamnian area of Azad Jammu and Kashmir Pakistan [J]. Chinese Journal of Geochemistry 2010; 29: 65-74.
- Tosdal RM., Wooden JL. Bouse RM. Pb isotopes, ore deposits, and metallogenic terranes, application of radiogenic isotopes to ore deposit research and exploration. Reviews in Economic Geology 1999; 12: 1-28.

- Whitney, DL., Bozkurt E. Metamorphic history of the southern Menderes massif, western Turkey. Geol. Soc. Am. Bull., 2002; 114: 829-838.
- Yalçın Ü. Petrologie und Geochemie der Metabauxite SW-Anatoliens. Unpublished PhD Thesis, Ruhr- Universität Bochum, 146p, 1987.
- Yalçın Ü., Schreyer W., Medenbach O. Zn-rich högbomite formed from gahnite in the metabauxites of the Menderes Massif, SW Turkey. Contrib. Mineral. Petrol., 1993; 113: 314-324.
- Zartman RE., Doe BR. Plumbtectonics-Themodel [J]. Tectonophysics 1981; 75: 1.
- Zarasvandi A., Charchi A., Carranza EJM., Alizadeh B. Karst bauxite deposits in the Zagros Mountain Belt, Iran. Ore Geol. Rev., 2008; 34: 521-532.

## TR31 Bölgesi Tarımsal Mekanizasyon Düzeyinin İncelenmesi

Yaşar Serhat SAYGILI<sup>1\*</sup>, Bülent ÇAKMAK<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, 35100, İzmir

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6974-3820>

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-3587-0933>

\*Sorumlu yazar: yasar.serhat.saygili@ege.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 02.08.2022

Kabul tarihi: 08.03.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

İzmir

Traktör

Tarım makinaları

Tarımsal mekanizasyon durumu

### ÖZ

AB üyelik sürecinde, Türkiye'nin yükümlü olduğu kriterlerden birisi de İstatistik Bölge Birimleri Sınıflandırması (İBBS)'dir ve sosyal, coğrafi ve ekonomik açıdan benzerlik gösteren komşu şehirler, bölgesel kalkınma planları ve nüfus büyüklükleri de dikkate alınarak Düzey 2 seviyesinde 26 adet bölgeye ayrılmıştır. Bu çalışma, 26 bölgeden biri olan TR31 bölgesini kapsamaktadır. İzmir İli, Ege Bölgesinde yer almaktadır ve Türkiye'nin nüfus bakımından üçüncü en kalabalık şehridir. TR31 Bölgesinin 2004–2021 yılları arasındaki tarımsal mekanizasyon düzeyindeki değişim, bitkisel üretim alanları, tarım traktörleri ile tarım makinaları istatistik verileri kullanılarak incelenmiştir. Mekanizasyon düzeyinin hesaplanması amacıyla; traktör adedi, traktör motor gücü dağılımı, toplam makine sayısı ve tarımsal üretim alanlarındaki değişim incelenmiş ve traktör başına düşen tarım alanı (ha traktör<sup>-1</sup>), 1000 hektar tarım alanına başına traktör sayısı (traktör 1000 ha<sup>-1</sup>), birim alan başına düşen traktör gücü (kW ha<sup>-1</sup>), ortalama traktör gücü (kW) ve traktör başına düşen makine sayısı (makine traktör<sup>-1</sup>) verileri kullanılmıştır. TR31 Bölgesi tarımsal mekanizasyon düzeyi ve tarım traktör sayılarının artış gösterdiği belirlenmiştir. 2021 yılı tarımsal mekanizasyon düzeyine ait veriler ve 17 yıldaki değişim oranları sırasıyla; traktör başına tarım alanı 8,16 ha traktör<sup>-1</sup> (%-28,5), 1000 hektar tarım alanı başına traktör sayısı 122,58 adet (%39,8), birim alan başına traktör gücü 3,08 kW ha<sup>-1</sup> (%27,0), ortalama traktör gücü 39,76 kW (%10,0), ve traktör başına makine sayısı 5,24 adet traktör<sup>-1</sup> (%-10,49) olarak hesaplanmıştır. 2021 yılı Türkiye tarımsal mekanizasyon verileri ve 17 yıldaki değişim oranları; 15,88 ha traktör<sup>-1</sup> (%-39,8), 62,96 traktör 1000 ha<sup>-1</sup> (%66,2), 1,39 kW ha<sup>-1</sup> (%49,1), 45,28 kW (%11,5), ve 4,16 makine traktör<sup>-1</sup> (%-11,25) olarak bulunmuştur. TR31 bölgesine ait veriler, Türkiye ortalaması ile karşılaştırıldığında traktör başına tarım alanı ve ortalama traktör gücü kriterleri için Türkiye ortalamasından düşük, 1000 hektar alana düşen traktör sayısı, birim alana düşen ortalama traktör gücü ve traktör başına düşen makine sayısı kriterlerinde ise, Türkiye ortalamasından yüksek olduğu belirlenmiştir.

### Investigation of Agricultural Mechanization Level of TR31 Region

#### Research Article

#### Article History:

Received: 02.08.2022

Accepted: 08.03.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Izmir

Tractor

Agricultural machinery

#### ABSTRACT

In the EU membership process, one of the criteria that Turkey is responsible for is the Classification of Statistical Regional Units (NUTS), and it divided into twenty-six regions at Level 2, considering neighbouring cities, regional development plans and population sizes that are similar in social, geographical, and economic terms. This study includes the TR31 region, which is one of the twenty-six regions. İzmir Province is in the Aegean Region and is the third most populous city in Turkey's population. The

change in the agricultural mechanization level of the TR31 Region between the years 2004-2021 examined using the statistical data of crop production areas, agricultural tractors, and agricultural machinery. In order to calculate the level of agricultural mechanization; The number of tractors, the distribution of tractor engine power, the total number of machines and the change of agricultural production areas were taken into account and the agricultural area per tractor ( $\text{ha tractor}^{-1}$ ), the number of tractors per 1000 hectares of agricultural land ( $\text{tractor } 1000 \text{ ha}^{-1}$ ), per unit area per tractor power ( $\text{kW ha}^{-1}$ ), average tractor power (kW) and number of machines per tractor ( $\text{machinery tractor}^{-1}$ ) data were used. It has been determined that the agricultural mechanization level and the number of agricultural tractors in the TR31 Region have improved. Accordingly, the data for the agricultural mechanization level of 2021 and the rate of change in 17 years are respectively; The agricultural area per one tractor is  $8.16 \text{ ha tractor}^{-1}$  (-28.5%), the number of tractors per 1000 hectares of agricultural area is 122.58 (39.8%), the tractor power per unit area is  $3.08 \text{ kW ha}^{-1}$  (27.0%), the average tractor power was calculated as 39.76 kW (10.0%), and the number of machinery per tractor as  $5.24 \text{ machine tractor}^{-1}$  (-10.49%). Turkey's agricultural mechanization data for 2021 and the rate of change in 17 years;  $15.88 \text{ ha tractor}^{-1}$  (-39.8%),  $62.96 \text{ tractors } 1000 \text{ ha}^{-1}$  (66.2%),  $1.39 \text{ kW ha}^{-1}$  (49.1%), 45.28 kW (%11.5), and  $4.16 \text{ machine tractor}^{-1}$  (-11.25%) found. When the agricultural mechanization level data of the TR31 region is compared with the Turkey averages, it is determined that the agricultural area per one tractor and average tractor power data are below the Turkey average, and the number of tractors per 1000 hectares, the average tractor power per unit area and the number of machineries per tractor are above the Turkey average.

**To Cite:** Saygılı YS., Çakmak B. TR31 Bölgesi Tarımsal Mekanizasyon Düzeyinin İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 1820-1833.

## 1.Giriş

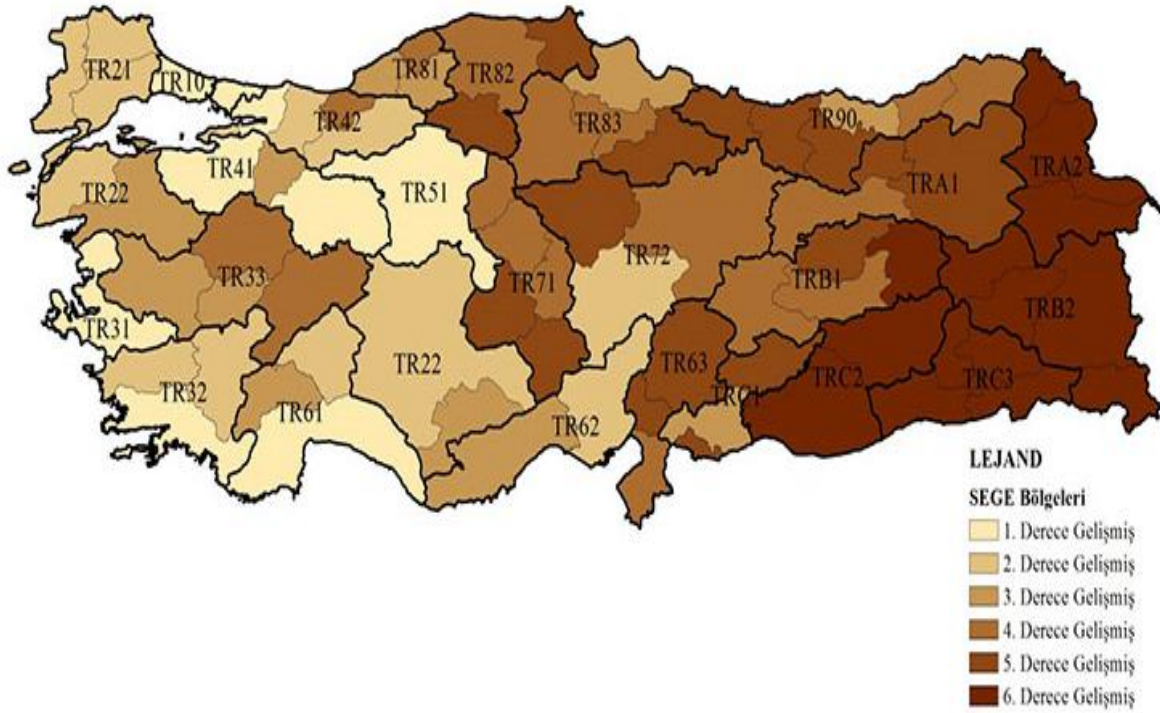
Ülkemizde ve dünyada artan nüfusa bağlı olarak insanların beslenme ihtiyacını karşılamak için üretilen tarımsal ürünlere duyulan gereksinim hızlı bir artış göstermektedir. Gerek bitkisel gerek hayvansal üretim miktarlarının artan dünya nüfusunun ihtiyaçlarını karşılamakta zorlandığı bilinen bir gerçektir. Bu duruma yol açan etmenler arasında tarımsal üretimde kullanılan arazilerin yapılaşmaya başlanarak azalması, mevcut yöntem ve teknikler ile yapılan üretim faaliyetlerinin kısıtlı kalması, iklim değişikliği sonucunda oluşan yağış rejimi ve sıcaklık değişiklikleri ve şehre göç sonucunda tarımda istihdam edilen iş gücünün azalması örnek verilebilir. Mevcut talebin karşılanabilmesi için tarımsal üretimdeki arzın artırılması gerekliliği aşıkardır. Tarımsal üretimin artırılabilmesi ancak kısıtlı bulunan olanakların en verimli şekilde değerlendirilmesi ile mümkün olacaktır (Evcim ve ark., 2012; Comart ve Akıncı, 2017). Bunun için; üretim yöntem ve tekniklerinde, yenilikçi ve etkin olanlarının seçilmesi, kullanılan tohumlukların kaliteli olması, toprak ve su kaynaklarının korunması amaçlanmalıdır. Üretim maliyetlerini azaltmaya yönelik olarak; uygun zamanda, uygun yere ve uygun miktarda tarımsal girdinin uygulanması ve bunun gerçekleştirilebilmesi için akıllı tarım uygulamaları kullanılması ve teknolojik gelişmelerin mevcut durumu iyileştirmek üzere adapte edilmesidir (Bayramoğlu, 2010; Baran ve ark., 2014; Bilim ve ark., 2014; Özgünaltay Ertuğrul ve ark., 2019; Altuntaş, 2020; Güneş ve ark., 2020; Ertekin ve ark., 2021).

Tarımsal üretimde, makineleşme ve kullanımının artması, iş gücüne duyulan ihtiyacı azaltmanın yanında, girdi maliyetlerinde düşüşe, karlılıkta artışa ve verimlilikte yükselişe yarar sağlayacaktır



(Bayramoğlu, 2010; Evcim ve ark., 2012). Tarımsal mekanizasyon düzeyi, tarımsal üretim faaliyetlerinde modern tarım tekniklerini uygulayarak traktör ve tarım makinalarının kullanım oranlarını hesaplanmasıdır. Mekanizasyon düzeyi incelenmesinde bölgeler baz alındığında, bölgelerin ekonomik şartları ve teknik koşullarına bağlı olarak farklılıklar gösterdiği görülmektedir (Altuntaş ve Demirtola, 2004; Özgüven ve ark., 2010; Gökdoğan, 2012; Altuntaş, 2016; Aybek ve ark., 2021; Ertekin ve ark., 2021). Tarımsal üretimde kullanılan temel güç kaynağı traktördür (Altıkata ve Çelik, 2009; Evcim ve Özgünaltay Ertuğrul, 2017). Bu nedenle; tarımsal mekanizasyon düzeyinin hesaplanması için en yaygın kullanılan kriter; birim alana başına traktör gücü (kW ha<sup>-1</sup>)'dür. Bu kriteri, 1000 hektar başına traktör sayısı (adet traktör<sup>-1</sup>), hektar başına traktör sayısı (ha traktör<sup>-1</sup>), ortalama traktör gücü (kW) ve traktör başına alet-makine sayısı (makine traktör<sup>-1</sup>) izlemektedir. Verilen beş kriter, tarımsal mekanizasyon düzeyinin hesaplanmasında kullanılan kriterlerin başında gelmektedir (Koçtürk ve Onurbaş Avcıoğlu, 2007; Gökdoğan, 2012; Özgünaltay Ertuğrul ve ark., 2019).

Tarımsal mekanizasyon durumun incelendiği, Türkiye geneli, farklı coğrafi bölgeler ve yöreler ile il ve ilçe bazında olmak üzere farklı araştırmalar yapılmıştır (Ünal, 2006; Altuntaş ve Aslan, 2009; Cankurt ve Miran, 2010; Altıkata ve Çelik, 2011; Gökdoğan ve Bayhan, 2011; Gökdoğan ve Demir, 2011; Eryılmaz ve ark., 2013; Gürsoy, 2013; Yeşilyurt ve ark., 2013; Eryılmaz ve ark., 2014; Gökdoğan, 2014; Korucu ve ark., 2015; Bayram ve Altuntaş, 2016; Bozkurt ve Aybek, 2016; Duran ve Ünal, 2016; Sağlam ve Kuş, 2016). Bu çalışmaların yanısıra farklı ülkelerin tarımsal mekanizasyon düzeylerinin Türkiye ile karşılaştırılması için çalışmalar da bulunmaktadır (Gökdoğan, 2012; Esenali Uluu and Öğüt, 2019; Güneş ve ark., 2020; Rahman ve ark., 2021). Teknolojide görülen gelişmeler ile uygulanan tekniklerdeki değişikliklerle birlikte, traktör ve makine kullanımının artmasının sonuçlarının incelenmesi ve verilerin güncelliğini koruması maksadıyla yeni çalışmaların devam ettiği görülmektedir (Akar ve Çelik, 2017; Comart ve Akıncı, 2017; Işık, 2017; Kayhan ve ark., 2017; Aslantürk ve Altuntaş, 2018; Kirpitçi ve ark., 2018; Yılmaz ve Sümer, 2018; Abdikoğlu, 2019; Bal ve Altuntaş, 2019; Mavioğlu ve Çobanoğlu, 2019; Altuntaş, 2020; Aygün ve Gürsoy, 2020; Malaslı ve ark., 2020; Sessiz, 2020; Ulusoy ve ark., 2020; Saygılı ve Çakmak, 2021a).



Şekil 1. İBBS 2 kriterine göre TR31 alt bölgesi (Anonim, 2022).

Türkiye İBBS 2. Düzey sıralaması içerisindeki 26 bölgeden biri olan TR31 bölgesi İzmir ilini kapsamaktadır (Şekil 1). İzmir ili, Ege Bölgesinde yer almakta olup Türkiye'nin nüfus bakımından üçüncü en kalabalık şehridir. 2021 yılı TÜİK verilerine göre şehrin nüfusu 4 425 789 kişi olup, 11 891 km<sup>2</sup>'lik yüz ölçümüyle Türkiye'nin yirmi üçüncü büyük şehridir (İZKA, 2022a). Akdeniz ikliminin hâkim olduğu bölgede yıllık toplam yağış ortalaması 713,8 mm, yıllık yağışlı gün ortalaması ise 84,2 gündür (MGM, 2022). Bu çalışmada da TR31 bölgesinde tarımsal üretimde kullanılan traktörler incelenmiş ve mekanizasyon düzeyinin belirlenmesine yönelik diğer veriler de dikkate alınarak değerlendirilmeler yapılmıştır. Mekanizasyon düzeyinin belirlenmesinde yalnızca bitkisel üretim verileri kullanılmış olup hayvansal üretime ait verilerden yararlanılmamıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Türkiye İstatistik Kurumu'nun yayınladığı 2004-2021 yılları arasında TR31 Bölgesinin traktör ve bitkisel üretim kriterlerine ait istatistik verileri çalışmanın ana materyalini oluşturmaktadır. Çalışmada TR31 Bölgesinin tarım alanlarının, mevcut traktör parkının ve tarımsal makinelerin nicel değerleri ele alınmıştır.

Mekanizasyon düzeyi belirlenmesi için kullanılan yöntem, birim alana düşen traktör gücü (kW ha<sup>-1</sup>), 1000 ha alana düşen traktör sayısı (adet 1000 ha<sup>-1</sup>), bir traktöre düşen toplam alan (ha traktör<sup>-1</sup>), ortalama traktör gücü (kW) ve traktör başına düşen makine sayısı kriterlerinin hesaplaması oluşturmaktadır (Çelik ve ark., 2002; Işık ve ark., 2003; Lüle ve ark., 2012; Sağlam ve Kuş, 2016, Saygılı ve Çakmak, 2021b). Hesaplamalarda; Türkiye İstatistik Kurumu'nun yayınlamış olduğu tarım

alanları toplamı, traktör sayıları toplamı ve traktör güç büyüklüğü ortalaması verilerinden yararlanılmıştır. Çalışmanın yöntem kısmında belirtilen hesaplama kriterleri dışında mekanizasyon düzeyinin hesaplanmasında kullanılan farklı kriterler de mevcuttur (Özgünaltay Ertuğrul ve ark., 2019).

TR31 bölgesi ve Türkiye'nin tarımsal mekanizasyon değerlerinin hesaplanmasında aşağıda verilen formüller kullanılmıştır (Özgünaltay Ertuğrul ve ark., 2019; Saygılı ve Şen, 2022).

$$\text{Traktör başına tarım alanı (tbta):} \quad tbta = \sum \frac{ta_i}{tts_i} \quad (1)$$

$$1000 \text{ ha alana traktör sayısı (bhats):} \quad bhats = \sum \frac{tts_i \times 1000}{ta_i} \quad (2)$$

$$\text{Birim alan başına traktör gücü (batg):} \quad batg = \sum \frac{tts_i + otg}{ta_i} \quad (3)$$

$$\text{Ortalama traktör gücü (otg):} \quad otg = \sum \frac{ttg_i}{tts_i} \quad (4)$$

$$\text{Traktör başına düşen makine sayısı (tdms):} \quad tbdms = \sum \frac{tms_i}{tts_i} \quad (5)$$

1, 2, 3, 4, 5 numaralı formüllerde yer alan kısaltmalar, “tbta” traktör başına tarım alanı (ha traktör<sup>-1</sup>), “bhats” bin hektar alana traktör sayısını (traktör 1000 ha<sup>-1</sup>), “batg” birim alan başına traktör gücünü (kW ha<sup>-1</sup>), “otg” ortalama traktör gücünü (kW), “tdms” traktör başına düşen makine sayısını (adet traktör<sup>-1</sup>), “ta” tarım alanı (ha), “tts” toplam traktör sayısı (adet), “ttg” toplam traktör gücü (kW) ve “tms” toplam makine sayısını (adet) belirtmektedir.

Ortalama traktör gücü hesaplamasında traktörlerin yer aldıkları güç gruplarının ortalama değerleri (25,76-36,8 kW için 31.28 kW) ve gruplarının toplam traktör sayısı içindeki yüzdeleri kullanılarak ortalama traktör güçleri hesaplanmıştır. Traktör başına düşen makine sayısı hesaplanırken, tarımsal üretimde uygulanan işlemler (toprak işleme, ekim, gübreleme, bitki koruma ürünleri uygulama, hasat vb.) ve diğer ekipmanlar (tarım arabası, sulama tankeri vb.) için en az bir adet makineye sahip olduğu dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

### 3.Bulgular ve Tartışma

#### TR31 Bölgesi Tarım Alanları

TR31 Bölgesi'nin yer aldığı İzmir ilinde 1 büyükşehir belediyesi, 30 ilçe ve bu ilçelere bağlı 1297 adet mahalle yer almaktadır. Türkiye'de üretilen tarımsal ürünler incelendiğinde TR31 Bölgesi, bitkisel üretimde %3,1, hayvansal üretimde %2,3 ve toplam meyve ve sebze üretiminde %2,1'lik paya sahiptir (İZKA, 2022b). TR31 bölgesi ortalama tarımsal işletme büyüklüğü 3,7 hektar değeri ile 6,1 hektar olan Türkiye ortalamasının altında yer almaktadır. Tarımsal işletme büyüklüğünün bu değere sahip olmasındaki başlıca etmen tarım arazilerinin çok küçük ve parçalı olmasıdır (İZKA,2022c).

TR31 bölgesini oluşturan İzmir ilindeki toplam tarım alanları incelendiğinde büyüklük açısından Torbalı, Bergama, Ödemiş, Bayındır, Tire, Menderes, Kemalpaşa ve Menemen ilçeleri öne çıkmaktadır (İZKA, 2022c). TR31 bölgesinde toplam tarım alanları içerisinde, üretilen ürünlere göre tarım alanları incelendiğinde; meyveler, içecekler ve baharat bitkileri (%45,31), tahıllar ve diğer bitkisel ürünler (%43,52), sebze üretim alanları (%9,47), nadas alanı (%0,77), süs bitkileri alanı (%0,51) ve örtü altı üretim alanı (%0,41) sıralamasının olduğu görülmektedir (TÜİK, 2022). 2004 - 2021 yılları arasında TR31 bölgesinde tarım alanlarına ait veriler Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** TR31 Bölgesi 2004-2021 yılları arasındaki tarım alanları (ha).

Yıl	Meyveler, içecek ve baharat bitkileri	Nadas	Örtüaltı	Sebze	Süs bitkileri	Tahıllar ve diğer bitkisel ürünler	Toplam
2004	135 451	3290	762	45 092	0	167 607	352 202
2005	138 298	3218	784	46 203	0	170 481	358 984
2006	132 995	2980	797	43 476	0	174 483	354 730
2007	139 522	3009	754	39 613	0	161 897	344 795
2008	139 132	4373	804	41 863	0	160 804	346 976
2009	140 449	4432	815	41 537	0	161 118	348 350
2010	140 623	4409	852	41 149	0	162 919	349 952
2011	141 622	4236	1239	41 261	737	129 031	318 125
2012	142 542	7080	1364	43 094	969	135 181	330 231
2013	145 709	3747	1451	41 102	1067	135 753	328 829
2014	146 925	3565	1499	40 845	1390	137 051	331 274
2015	147 492	3351	1520	39 713	1435	135 617	329 127
2016	148 516	3042	1553	39 309	1618	134 938	328 976
2017	147 803	3028	1529	38 449	1546	137 847	330 202
2018	148 083	3127	1573	37 956	1625	133 505	325 868
2019	147 714	3029	1402	38 165	1635	132 270	324 215
2020	150 103	2318	1760	35 941	1636	135 701	327 459
2021	146 313	2500	1318	30 564	1647	140 542	322 883

TR31 bölgesi tarım alanlarına ait verilerin kayıtlanmaya başladığı 2004 yılı ile 2021 yılları arasındaki değişim incelendiğinde; toplam tarım alanlarında %8,32’lik bir azalma olduğu görülmektedir. Tahıllar ve diğer bitkisel ürünler alanındaki azalma %16,15, sebze alanlarındaki azalma ise %32,30 değerindedir. Nadasa bırakılan alanlar %24,02 oranında azalma göstererek üreticilerin nadas alanlarını tarımsal üretimde kullandıklarını göstermektedir. Meyveler, içecekler ve baharat bitkileri üretim alanları (%8,02), örtü altı üretim alanları (%73,06) ile süs bitkisi üretim alanlarında (%69,96 - 2011 yılı referans) ise artışlar görülmektedir.

### TR31 Bölgesi Traktör Parkı

TR31 bölgesi içerisinde tarımsal üretim işlemleri için yararlanılan traktörlere ait veriler Tablo 2’de verilmiştir. TR31 bölgesi tarımsal üretimde kullanılan traktörler incelendiğinde; paletli traktörlerin toplam traktör sayısındaki oranının %0,003 oranında olduğu görülmektedir. Tırtıllı traktörlerin 2004-2021 yılları arasındaki değişim oranı %66,67 değeri ile azalma yönündedir.

Lastik Tekerlekli traktör sayıları incelendiğinde, %99,24 oranı ile iki akslı traktörler ve %0,76 oranı ile tek akslı traktörlerden oluştuğu hesaplanmaktadır. Tek akslı traktörlerin, büyük çoğunluğunun 3,68 kW üzerindeki grupta yer aldığı görülmektedir ve toplam traktör sayısındaki oranı %0,67'dir. İki akslı traktörlerde çoğunluğun, 25,76-36,85 kW ve 37,54-51,52 kW arası traktörlerde olduğu görülmektedir ve toplam traktör sayısındaki oranları sırasıyla %48,99 ve %33,26 değerlerindedir. Çift akslı traktörlerin diğer güç grupları incelendiğinde; 18,4 kW-25,03 kW arası %9,23, 51,52 kW+ %4,73, 8,01-17,65 kW arası %2,46 ve 0,5-7,36 kW arası %0,58 oranlarına sahiptir.

**Tablo 2.** TR31 Bölgesi 2004-2021 yılları arasındaki traktör sayıları (TÜİK, 2022).

Yıl	Paletli (Tırtıllı)	Tek Akslı			İki Akslı					Toplam
		0,5-3,68 kW	3,68 kW+	0,5-7,36 kW	8,01-17,65 kW	18,4 kW-25,03 kW	25,76-36,8 kW	37,54-51,52 kW	51,52 kW+	
2004	6	18	40	500	1206	3214	16728	8622	554	30888
2005	6	18	39	193	869	3173	17049	9218	547	31112
2006	5	17	43	197	825	3145	17246	9181	642	31301
2007	4	20	72	193	823	3180	17646	9280	691	31909
2008	2	17	74	189	797	3154	17499	9178	849	31759
2009	2	15	81	190	817	3160	17495	9474	1043	32277
2010	2	15	81	191	809	3138	17447	9779	1105	32567
2011	2	15	82	191	793	3092	17544	9858	1126	32703
2012	2	16	113	194	796	3074	17573	10150	1191	33109
2013	2	17	141	198	781	3076	17653	10340	1351	33559
2014	2	18	199	202	840	3128	17796	10705	1418	34308
2015	2	28	219	209	832	3115	17398	11011	1473	34287
2016	2	28	221	201	822	3109	17200	11334	1507	34424
2017	1	28	230	202	863	3241	17228	11473	1552	34818
2018	1	29	233	202	868	3251	17155	11498	1574	34811
2019	1	33	233	202	859	3229	17088	11526	1610	34781
2020	1	33	233	201	858	3223	17112	11619	1652	34932
2021	2	33	230	200	862	3225	19580	13562	1884	39313

Toplam traktör sayısı açısından 2004-2021 yılı arasındaki veriler karşılaştırıldığında %28,13'lük artış olduğu hesaplanmaktadır. 2004 yılına göre, tek akslı traktörlerin toplam sayısında %353,45, 0,5 ile 3,68 kW arası traktörlerde %83 ve %33, 3,68 kW+ güç grubundaki traktörlerde ise %475 oranında artış olduğu görülmektedir.

Çift akslı traktörlerin verileri 2004 yılı ile karşılaştırıldığında ise; 0,5-7,36 kW arası ve 8,01-17,65 kW arasındaki güç grubundaki traktörlerde sırasıyla %60 ve %28,52 oranlarında azalma görülmektedir. 18,4-25,03 kW arasındaki güç grubunda yer alan traktörlerde ise değişim oranı %0,34 ile artış eğilimindedir. Çift akslı 25,76-36,8 kW, 37,54-51,52 kW ve 51,52 kW+ güç gruplarındaki traktörlerin artış oranları ise sırasıyla %17,05, %57,30 ve %240,07 değerlerindedir. Çift akslı 51,52 kW+ güç grubundaki traktör sayısındaki artış dikkat çekmektedir.

### TR31 Bölgesi Tarımsal Mekanizasyon Düzeyi

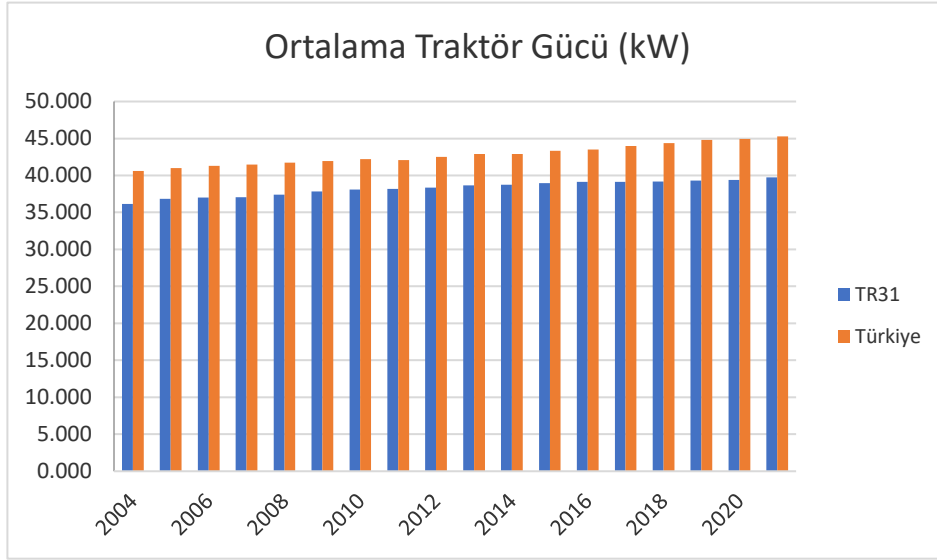
TR31 bölgesinin ve Türkiye'nin tarımsal mekanizasyon düzeyinin hesaplanması amacıyla; tarım alanları toplamı, traktör sayıları toplamı ve traktör güç grup dağılımı verileri, Eşitlik 1, 2, 3, 4 ve 5'te yerine konularak hesaplamalar yapılmıştır. TR31 bölgesinin ve Türkiye'nin tarımsal mekanizasyon düzeyi materyal metotta belirtilen kriterlere göre hesaplanmış, bulgular Şekil 2'de Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** TR31 Bölgesi 2004-2021 yılları tarımsal mekanizasyon durumu.

Yıl / Bölge	Bir traktör başına tarım alanı (ha traktör <sup>-1</sup> )		1000 hektar tarım alanına düşen traktör sayısı ( traktör 1000 ha <sup>-1</sup> )		Birim alan başına traktör gücü (kW ha <sup>-1</sup> )		Traktör başına düşen tarım makinası (makine traktör <sup>-1</sup> )	
	TR31	Türkiye	TR31	Türkiye	TR31	Türkiye	TR31	Türkiye
2004	11,403	26,402	87,700	37,876	2,427	0,932	5,859	4,683
2005	11,538	26,070	86,667	38,358	2,353	0,935	5,875	4,673
2006	11,333	24,989	88,239	40,018	2,383	0,969	5,892	4,701
2007	10,806	23,612	92,545	42,352	2,497	1,022	5,872	4,692
2008	10,925	22,937	91,531	43,598	2,448	1,045	5,956	4,693
2009	10,793	22,683	92,657	44,085	2,448	1,050	5,980	4,725
2010	10,746	22,295	93,061	44,853	2,444	1,063	5,956	4,729
2011	9,728	21,044	102,799	47,519	2,694	1,129	5,961	4,684
2012	9,974	20,237	100,260	49,416	2,615	1,162	5,908	4,568
2013	9,799	19,667	102,056	50,847	2,641	1,186	5,827	4,472
2014	9,656	19,308	103,564	51,793	2,674	1,207	5,809	4,403
2015	9,599	19,042	104,175	52,516	2,675	1,212	5,847	4,389
2016	9,557	18,673	104,640	53,554	2,674	1,231	5,831	4,394
2017	9,484	17,924	105,444	55,791	2,693	1,268	5,845	4,366
2018	9,361	17,459	106,825	57,279	2,726	1,291	5,890	4,342
2019	9,322	17,107	107,278	58,456	2,731	1,304	5,905	4,327
2020	9,374	16,096	106,676	62,126	2,709	1,382	5,919	4,132
2021	8,158	15,884	122,577	62,957	3,083	1,390	5,244	4,157

TR31 bölgesine ait veriler Türkiye'ye ait veriler ile karşılaştırıldığında; bir traktör başına tarım alanı değerinin Türkiye ortalamasının yaklaşık yarısı, 1000 hektar tarım alanına düşen traktör sayısının Türkiye ortalamasının iki katına yakın bir değere sahip olduğu görülmektedir. Birim alan başına traktör gücü kriteri açısından Türkiye ortalamasının üzerine bir değere sahip olan TR31 bölgesi ortalama traktör gücü kriteri açısından ise Türkiye ortalamasının altında kalmaktadır (Tablo 3).

Birim alana düşen ortalama traktör gücü ve ortalama traktör gücü kriterleri incelendiğinde bu değerlerin hem TR31 bölgesi hem de Türkiye ortalaması açısından yükseldiği görülmektedir (Şekil 2). Bu durum üreticilerin satın aldıkları yeni traktörlerde yüksek güç grubunda traktörlere yönelmesi ile envanterde bulunan ve kullanımı bırakılan eski traktörlerin güçlerinin düşük grupta yer almasından kaynaklanmaktadır.



**Şekil 2.** Ortalama traktör gücü değerleri

Traktör başına düşen tarım makinası kriterinin hesaplanması için kullanılan makineler, toprak işleme, ekim ve dikim, hasat ve harman, gübreleme ve bakım makineleri ile tarım arabası ve tarımsal sulama amaçlı kullanılan su tankerine ait verilerden oluşmaktadır (Tablo 3).

Çalışmada TR31 bölgesinde tarımsal üretim yapılan alanlar ve üretimde ana kuvvet ve güç kaynağı olarak kullanılan traktörler incelenmiştir. Bitkisel üretim yapılan alanlar ise üretilen ürünlere göre, traktörler ise hareket elemanları ve güç gruplarına göre sınıflandırılmıştır.

Tarımsal üretim yapılan alanların 2004-2021 yılları arasındaki verileri incelendiğinde yıllar içerisinde üretilen ürün gruplarının alanlarında değişimler yaşandığı görülmüştür. Toplam tarımsal üretim yapılan alanlarda azalma (%8,32) olduğu görülmüştür. Nadasa bırakılan alanlar (%24,02), sebze üretim alanları (%32,22) ile tahıllar ve diğer bitkisel ürünlerin üretildiği alanlarda (%16,15) azalma görülmekteyken, meyve, baharat ve içecek bitkileri üretim alanları (%8,02), örtüaltı üretim alanları (%73,06) ile süs bitkileri üretim alanlarında (%69,96) artış görülmektedir.

Tarımsal üretim faaliyetlerine kullanılan traktörlerin toplam sayıları incelendiğine artış olduğu görülmektedir. Tek akslı traktörlere ait veriler incelendiğinde büyük yoğunluğun (%87,45) +3,68 kW güç grubunda yer almaktadır. Tek akslı traktörlerden 0,5-3,68 kW arası ve +3,68 kW güç grubundaki traktörlerde artış görülmektedir. İki akslı traktörlerin verileri incelendiğinde büyük yoğunluğun (%49,81) 25,76-36,8 kW güç grubunda olduğu görülmektedir. TR31 bölgesinde tarımsal üretim faaliyetleri için gerekli olan güç miktarı 25,76-51,52 kW arasında olduğu görülmektedir. 51,52 kW+ güç grubundaki traktörlerin sayısında görülen artış tarımsal üretimde kullanılan makinelerin artan güç ihtiyacını karşılamaya yönelik olduğu görülmektedir. Güneş ve ark. (2020), Türkiye’de bulunan traktörlerin güç büyüklüklerinin 44 ila 52 kW arasında olduğunu bildirmiştir. Çalışmada elde edilen verilerin bu çalışmayı desteklediği görülmektedir.

Üretim alanlarındaki ve traktör sayılarındaki değişimler TR31 bölgesinin tarımsal mekanizasyon düzeyinin değişimine sebep olmaktadır. Bir traktöre düşen tarım alanı kriterine göre Türkiye ortalaması olan 15,884 ha traktör<sup>-1</sup>'dir. TR31 Bölgesi 8,158 ha traktör<sup>-1</sup> değeri ile Türkiye ortalamasının yaklaşık yarısına tekabül eden bir değere sahiptir. 1000 hektar tarım alanı başına düşen traktör sayısı kriterine göre TR31 bölgesi 122,577 traktör 1000 ha<sup>-1</sup> değerine Türkiye ortalaması ise 62,957 traktör 1000 ha<sup>-1</sup> değerine sahiptir. Birim alana düşen traktör gücü kriterinde TR31 bölgesi 3,083 kW ha<sup>-1</sup> Türkiye ortalaması 1,39 kW ha<sup>-1</sup> değerlerine sahiptir. Özgüven ve ark. (2010) ile Mavioğlu ve Çobanoğlu (2019) yaptıkları çalışmalarda İzmir bölgesinde kullanılan traktörlerin güç ortalamalarının Türkiye ortalama değerlerinin üzerinde olduğunu bildirmişlerdir. Bu durum TR31 bölgesinde tarımsal faaliyet yapılan parsel büyüklüklerinin küçük olması ve üretimde kullanılan makinaların güç ihtiyaçlarının 25,76-36,8 kW arasında olmasından kaynaklanmaktadır. Gökdoğan (2012), yaptığı çalışmada Türkiye'de traktör başına düşen makine sayısının 5,20 makine olduğunu bildirmiştir. TR31 Bölgesi 5,25 makine traktör<sup>-1</sup> değeri ile Türkiye ortalamasının üzerinde bir değerdedir. Bu durum TR31 Bölgesinde tarımsal üretimde makine kullanımının yoğun olarak gerçekleştiğini desteklemektedir.

## **Sonuçlar**

TR31 bölgesine ait 2004-2021 yılları arasını kapsayan 17 yıllık veriler ışığında tarımsal üretimde kullanılan traktör sayılarında artış olduğu ve tarımsal mekanizasyon düzeyinde gelişme olduğu saptanmıştır. Tarımsal üretim yapılan alanlardaki azalma, artan beslenme ihtiyacını karşılamak üzere tarımsal üretimde makine kullanımının artması ile teknolojik ve bilimsel gelişmelerin üretim tekniklerini iyileştirmede kullanılması kaçınılmazdır. Verim artışı için, akıllı tarım uygulamalarının çoğaltılması ve ortak makine kullanımının yaygınlaşması, farklı güç ihtiyaçlarını karşılayacak büyüklükte ve tipte traktör-makine kullanımının desteklenmesi, üretici sayısını ve üretim miktarını arttıracak tedbir ve teşviklerin alınması önemlidir. Sürdürülebilirlik ve kaynakların korunması konularında yapılan çalışmalar kapsamında yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarının kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Teknolojik gelişmelerin yaygınlaşması ve ilk yatırım maliyetlerinin düşmesi sonucunda tarımsal üretim yapan işletmelerin bu enerji kaynaklarına ilgisi artmaktadır. Bu kapsamda enerji kaynağı olarak kullanılan bu kaynakların istatistiki bilgilerinin de ulaşılabilir olması mekanizasyon düzeyinin doğru olarak belirlenmesi açısından önem arz etmektedir. Bu kapsamda yapılacak yeni bilimsel araştırmalar ve çalışmalar büyük önem göstermektedir.

## **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

- Abdikoğlu Dİ. Trakya bölgesinde tarımsal mekanizasyon düzeyinin illere göre belirlenmesi. KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi 2019; 22(6): 865-871.
- Akar M., Çelik A. Muş ovası tarım işletmelerinin tarımsal mekanizasyon özellikleri. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 2017; 4(4): 491-498.
- Altıkat S., Çelik A. Erzurum ilinin tarımsal mekanizasyon özellikleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2009; 40(2): 57-70.
- Altıkat S., Çelik A. Iğdır ilinin tarımsal mekanizasyon özellikleri. Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der. 2011; 1(4): 99-106.
- Altuntaş E. Türkiye'nin tarımsal mekanizasyon düzeyinin coğrafik bölgeler açısından değerlendirilmesi. Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi 2016; 4(12): 1157-1164.
- Altuntaş E. Türkiye'deki tarım makineleri kullanım projeksiyonunun tahmini. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi (UTYHBD) 2020; 6(3): 506 – 516.
- Altuntaş E., Aslan İ. Sivas ilinin tarımsal mekanizasyon düzeyinin 1997-2007 yılları arasındaki değişiminin incelenmesi. GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi 2009; 26(2): 87-95.
- Altuntaş E., Demirtola H. Ülkemizin tarımsal mekanizasyon düzeyinin coğrafik bölgeler bazında değerlendirilmesi. GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi 2004; 21(2): 63-70.
- Anonim. TR31 bölge haritası. <https://yereldemokrasi.net/haritalarla-kamu-idaresi/147-istatistiki-bolge-birimleri-siniflandirmasi-ibbs-duzey-1-ve-duzey-2-bolgeleri>, 2022.
- Aslantürk B., Altuntaş E. Malatya ilinin tarımsal mekanizasyon düzeyi. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi (GBAD) 2018; 7(2): 15-26.
- Aybek A., Kuzu H., Karadöl H. Türkiye'nin ve tarım bölgelerinin tarımsal mekanizasyon düzeyindeki değişimlerin son on yıl (2010-2019) ve gelecek yıllar (2020-2030) için değerlendirilmesi. KSÜ Tarım ve Doğa Derg. 2021; 24(2): 319-336.
- Aygün M., Gürsoy S. Antep fıstığı (Pistacia vera L.) üretimi yapan işletmelerin tarımsal mekanizasyon düzeylerinin belirlenmesi: Türkiye, Siirt ili örneği. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi 2020; 7(2): 136-142.
- Bal M., Altuntaş E. Çorum ilinde çeltik üretimi yapan işletmelerin tarımsal mekanizasyon durumu. Akademik Ziraat Dergisi 2019; 8(1): 63-76. doi: <http://dx.doi.org/10.29278/azd.593804>
- Baran MF., Gökdoğan O., Durgut MR. Batı marmara bölgesi'nin tarımsal mekanizasyon özellikleri. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 2014; 1(4): 561-567.
- Bayram M., Altuntaş E. Tokat ili'nin 2003 ve 2013 yılları için mekanizasyon özelliklerindeki değişiminin incelenmesi. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi 2016; 12(3): 213-220.
- Bayramoğlu Z. Tarımsal verimlilik ve önemi. Selçuk Üniversitesi Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi 2010; 24(3): 52-61.
- Bilim C., Korucu T., Semerci T. Gaziantep ilinin tarımsal mekanizasyon özellikleri. KSÜ Doğa Bil. Derg. 2014; 17(2): 14-23.

- Bozkurt M., Aybek A. Şanlıurfa ili harran ovasının tarımsal yapı ve mekanizasyon özellikleri. *KSÜ Doğa Bil. Derg.* 2016; 19(3): 319-331.
- Cankurt M., Miran B. Aydın yöresindeki tarımsal işletmelerin mekanizasyon durumu. *ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi* 2010; 7(2): 93-101.
- Comart A., Akıncı İ. Antalya ili tarım işletmelerinin tarımsal yapı, üretim ve mekanizasyon özelliklerinin belirlenmesi. *Mediterranean Agricultural Sciences* 2017; 30(3): 227-234. doi: 10.29136/mediterranean.359840
- Duran E., Ünal H. Bursa ili Orhangazi ve Gemlik ilçelerinde zeytin yetiştiriciliğindeki mekanizasyon durumu. *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi* 2016; 30(1): 127-138.
- Ertekin C. Akman HE., Boyar İ. Türkiye’de tarımsal mekanizasyona bir bakış. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi* 2021; Sayı 31(3): 786-798.
- Eryılmaz T., Gökdoğan O., Yeşilyurt MK. Yozgat ilinin tarımsal mekanizasyon durumunun incelenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 2014; 1(2): 262–268.
- Eryılmaz T., Gökdoğan O., Yeşilyurt MK., Ercan K. Nevşehir ilinin tarımsal mekanizasyon özellikleri. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2013; 10(2): 1-6.
- Esenali Uluu T., Ögüt H. Orta asya ülkelerinin tarımsal mekanizasyon düzeylerinin incelenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi* 2019; 15(1): 1-5.
- Evcim HÜ., Değirmencioğlu A., Özgünaltay Ertuğrul Ö., Aygün İ. Advancements and transitions in technologies for sustainable agricultural production. *Economic and Environmental Studies* 2012; 12(4): 459-466.
- Evcim HÜ., Özgünaltay Ertuğrul Ö. Türkiye tarımında traktör kullanımı (2010). *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science)* 2017; 13(1): 21-31.
- Gökdoğan O. Türkiye ve avrupa birliği'nin tarımsal mekanizasyon düzeyi göstergelerinin karşılaştırılması. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2012; 9(2): 1-4.
- Gökdoğan O. Hakkâri ilinin tarımsal mekanizasyon durumu. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 2014; 1(1): 98–101.
- Gökdoğan O., Bayhan AK. Eğirdir ilçesi tarım işletmelerinin mekanizasyon düzeyi. *ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi* 2011; 8(1): 23-29.
- Gökdoğan O., Demir F. Isparta yöresindeki gül yetiştiriciliği yapılan işletmelerin tarımsal mekanizasyon düzeyi. *ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi* 2011; 8(2): 1-6.
- Güneş D., Hasegawa H., Yalçın H. Turkey and japan agricultural and mechanization status comparison. *Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg.* 2020; Özel Sayı: 161-168. doi: 10.20289/zfdergi.835918.
- Gürsoy S. Batman ilinin tarımsal mekanizasyon düzeyinin ilçeler bazında değerlendirilmesi. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi* 2013; 3(2): 146-158.
- Işık E. Bursa ilinin tarımsal mekanizasyon düzeyinin belirlenmesine ve türkiye ortalama değerleriyle karşılaştırılmasına yönelik bir çalışma. *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi* 2017; 31(1): 115-125.

- Işık E., Güler T., Ayhan A. Bursa iline ilişkin mekanizasyon düzeyinin belirlenmesine yönelik bir çalışma. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2003; 17(2): 125-136.
- İZKA. İzmir Kalkınma Ajansı. İzmir bölge planı 2014-2023. [https://izka.org.tr/wp-content/uploads/pdf/01\\_bolgeplani\\_1.pdf](https://izka.org.tr/wp-content/uploads/pdf/01_bolgeplani_1.pdf) , 2022a.
- İZKA. İzmir Kalkınma Ajansı. İzmir'in ekonomik göstergeleri 2014-2019. <https://izka.org.tr/wp-content/uploads/pdf/ekonomik-gostergeler-2001-2020.pdf>. 2022b.
- İZKA. İzmir Kalkınma Ajansı. İzmir ili kırsal ve kentsel alanlarının tespitine yönelik analiz çalışması. [https://izka.org.tr/wp-content/uploads/2021/10/kirsal\\_kentsel\\_alanlarinin\\_tespiti.pdf](https://izka.org.tr/wp-content/uploads/2021/10/kirsal_kentsel_alanlarinin_tespiti.pdf). 2022c.
- Kayhan İE., Aydın B., Baran MF. Kırklareli ili tarım işletmelerinin tarımsal yapısı ve mekanizasyon düzeyi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 2017; 4(3): 263–270.
- Kirpitçi DA., Bayhan AK., Baran MF. Karaman ilinde dane mısır üreten işletmelerin tarımsal Mekanizasyon düzeyinin belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi* 2018; 14(1): 57-65.
- Koçtürk D., Onurbaş Avcıoğlu A. Türkiye’de bölgelere ve illere göre tarımsal mekanizasyon düzeyinin belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi* 2007; 3(1): 17-24.
- Korucu T., Aybek A., Sivrikaya F., Gürlek E., Mert G., Kozak B.. Kahramanmaraş ilinin tarımsal mekanizasyon düzeyinin haritalanması ve değerlendirilmesi. *KSÜ Doğa Bil. Derg.* 2015; 18(2): 10-24.
- Lüle F., Koyuncu T., Engin K.E. Adıyaman ilinin tarımsal mekanizasyon durumu. *Tarımsal Mekanizasyon 27. Ulusal Kongresi, 5-7 Eylül 2012, Samsun*, 48-54.
- Malaslı MZ., Palta Ç., Argon Üstün Z. Agricultural mechanization properties of KOP region. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology* 2020; 8(4): 826-832.
- Mavioğlu MN., Çobanoğlu F. İzmir yöresindeki üreticilerin mekanizasyon düzeylerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. *ADÜ Ziraat Derg.* 2019; 16(1): 19-26. doi: 10.25308/aduziraat.456982
- MGM. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Meteorolojik veriler. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=İzmir>, 2022.
- Özgünlaltay Ertuğrul G., Ertuğrul Ö., Değirmencioğlu A. Determination of agricultural mechanization level of kırşehir province using geographical information systems (GIS). *Comptes rendus de l’Acad’emie bulgare des Sciences* 2019; 72(8): 1144-1152.
- Özguven MM., Türker U., Beyaz A. Türkiye'nin tarımsal yapısı ve mekanizasyon durumu. *GOÜ, Ziraat Fakültesi Dergisi* 2010; 27(2): 89-100.
- Rahman M., Ali R., Oliver MH., Hanif A., Uddin Z., Ul-Hasan T., Saha KK., Islam H. Farm mechanization in Bangladesh: A review of the status, roles, policy, and potentials. *Journal of Agriculture and Food Research* 2021; 6.
- Sağlam C., Kuş ZA. Orta anadolu bölgesi illerinde tarımsal mekanizasyon düzeyinin yıllara göre değişimi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2016; Targid Özel Sayı: 364-371. <http://dx.doi.org/10.17100/nevbiltek.211024>

- Saygılı YS., akmak B. Niğde ili ve ilçelerindeki tarımsal yapı, üretim özellikleri ve mekanizasyon durumunun incelenmesi. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi 2021a; 17(3): 101-117.
- Saygılı YS., akmak B. Niğde ilinin tarımsal mekanizasyon düzeyinin incelenmesi. Bursa Uludağ Üniv. Ziraat Fak. Derg. 2021b; 35(2): 389-413.
- Saygılı YS., Şen B. Niğde ili ve ilçelerinde tarımsal üretimde kullanılan traktörlerin incelenmesi. Uluslararası Biyosistem Mühendisliği Dergisi. 2022; 3(1): 32-49.
- Sessiz A. Diyarbakır ilinin tarım makinaları imalat dektöründeki gelişmelerin değerlendirilmesi. Makinaları Bilimi Dergisi 2020; 16(2): 15-18.
- TÜİK, 2022. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr>
- Ulusoy E., Türkay B., Has M., Dönder Ö., İleri S., Canoğlu S., Önal Ş., Bilgen H., Demir V., Yazgı A. Tarım makinaları sanayinde mevcut durum ve gelecek. Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi. Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, 2020; ISBN-978-605-01-1321-1: 233-256 s.
- Ünal HG. Kastamonu'da pancar üreticilerinin mekanizasyon durumları ve tarımsal uygulamalarının belirlenmesi üzerine bir araştırma. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi 2006; 13(1): 9-16.
- Yeşilyurt MK., Eryılmaz T., Gökdoğan O., Yumak B. Kırıkkale ilinin tarımsal mekanizasyon düzeyi. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2013; 10(2): 7-13.
- Yılmaz S., Sümer SK. Güney marmara kalkınma bölgesinin tarımsal mekanizasyon düzeyinin belirlenmesi. ÇOMÜ Zir. Fak. Dergisi 2018; 6(1): 115-122.



## Bitlis Yöresi İgnimbiritleri ile Oluşturulan Numunelerin Dayanım Sonuçlarının Tespitinde Bulanık Mantık Yönteminin Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Nusret BOZKURT<sup>1</sup>, Erden Ozan KARACA<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 13000, Bitlis

<sup>2</sup> Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 13000, Bitlis

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-3737-8205>

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1111-1710>

\*Sorumlu yazar: eokaraca@beu.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 14.04.2022

Kabul tarihi: 09.03.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Bulanık mantık  
Korelasyon  
İgnimbirit  
Taş tozu

### ÖZ

Bu çalışma kapsamında; Bitlis yöresi ignimbiritlerinden olan ponza taşı, Ahlat taşı ve Güroymak taşlarının toz haline getirilmesiyle elde edilen harç numunelerinin dayanım sonuçları bulanık mantık yöntemiyle incelenmiştir. %10, %20 ve %40 oranında taş tozunun çimentoyla ikame edilmesiyle oluşturulan numunelere sırasıyla ultrasonik ses geçirgenlik, eğilmede çekme ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar kullanılarak her bir deney için birer bulanık mantık modeli oluşturulmuştur. Bu model ile deney sonuçlarının karşılaştırılması sonucu; yüzdesel olarak ortalama hata, ortalama mutlak hata, en büyük mutlak hata ve korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar ile bulanık model sonuçları arasında %99 oranında benzerlik oranı elde edilmiştir. Bu durum bulanık mantık yönteminin inşaat mühendisliği laboratuvar deneyleri için kullanılabilir bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur.

## Investigation of the Usability of the Fuzzy Logic Method in Determining the Strength Results of the Samples Created by Bitlis Region Ignimbrites

### Research Article

#### Article History:

Received: 14.04.2022

Accepted: 09.03.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Fuzzy logic  
Correlation  
Ignimbrite  
Stone dust

### ABSTRACT

Within the scope of this study, the strength results of the mortar samples obtained by pulverizing the pumice stone, Ahlat stone and Güroymak stones, which are ignimbrites of Bitlis region, were examined by fuzzy logic method. Ultrasonic sound permeability, flexural tensile and compressive strength tests were applied to the samples formed by replacing 10%, 20% and 40% stone dust with cement, respectively. Using the obtained results, a fuzzy logic model was created for each experiment. By comparing the experimental results with this model; the mean error, mean absolute error, maximum absolute error and correlation coefficient were obtained. As a result, a similarity rate of 99% was obtained between the experimental results and the fuzzy model results. This situation revealed that the fuzzy logic method can be used for civil engineering laboratory experiments.

**To Cite:** Bozkurt N., Karaca EO. Bitlis Yöresi İgnimbiritleri ile Oluşturulan Numunelerin Dayanım Sonuçlarının Tespitinde Bulanık Mantık Yönteminin Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 1834-1850.

### 1. Giriş

İnsanoğlunun akıl yoluyla karar verebilmek gibi eşsiz bir yeteneği olması nedeniyle ; karşılaştığı problemler karmaşılaştıkça çözüm için yeni yollar ve araçlar geliştirmektedir. Çözüm yolları

açısından bakıldığında; parametrelerdeki değişkenler ve karar vericiyi etkileyen birçok faktörün olması gibi nedenlerden ötürü karar vermede bulanıklık ve çokluk oluşması kaçınılmazdır (Kentli, 2011). İnsanoğlunun sahip olduğu karar verebilme yetisini cansız varlıklara da aktarabilme isteği “yapay zekâ” terimini ortaya çıkartmıştır. Yapay zekâ terimi günümüzde kabaca; derin öğrenme, makine öğrenmesi, yapay sinir ağları, görüntü işleme ve bu çalışmanın da temelini oluşturan bulanık mantık yöntemlerine ayrılmaktadır (Gültekin ve Doğan, 2021). Her insanda mevcut olan farklı özellikler neticesinde karar vermede oluşan bu bulanıklık ve çokluk hali ise şaşırtıcı bir durum değildir. Karar analizindeki belirsizliği modellemeye çalışan araştırmalar; temel olarak olasılık teorisi ve/veya bulanık küme teorisi aracılığıyla yapılır. Temel olarak olasılık teorisi; , karar analizinin skolastik doğasını sunarken, bulanık küme teorisi insan davranışının öznelliğine benzemektedir. İstatistiksel karar analizi gibi bir karar yöntemi insan davranışındaki belirsizliği ölçmemektedir. Bu yöntem daha ziyade, insanları saran dış çevre hakkındaki eksik bilgileri modellemenin bir yoludur. Bulanık küme teorisi ise ne rastgele ne de skolastik olan zihinsel fenomenlerden kaynaklanan belirsizliği modellemek için mükemmel bir araçtır.(Cümle anlaşılıyor tekrar yazılmalı). İnsanoğlu, karar analizi sürecine yoğun bir şekilde dâhil olur. Karar vermeye yönelik rasyonel bir yaklaşım, yalnızca nesnel olasılık ölçütlerini kullanmak yerine insan öznelliğini hesaba katmalıdır. İnsan davranışının belirsizliğine yönelik bu tutum, yeni bir karar analizi alanı olan bulanık karar verme çalışmasına yol açmıştır. (Chen ve Hwang, 1992).

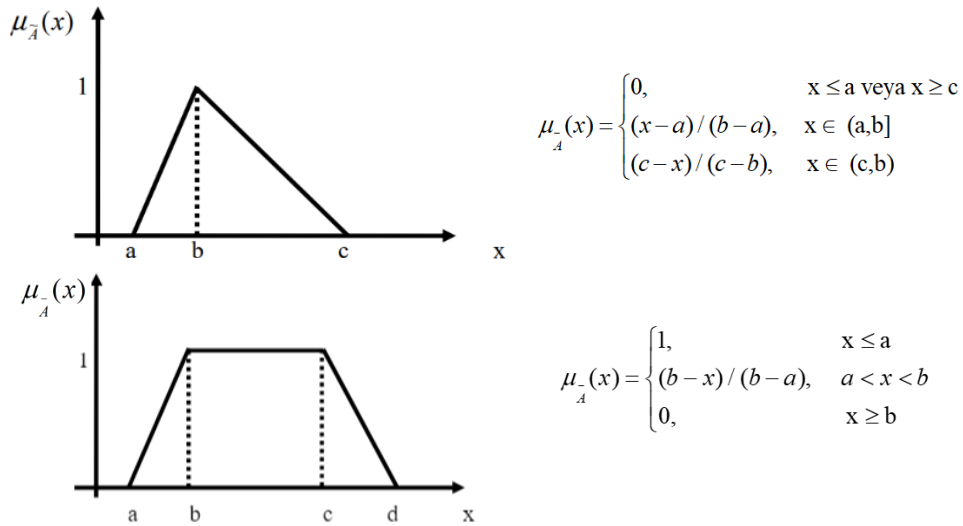
## 2. Bulanık Mantık

Bulanık mantık; modellerin ve sistemlerin tanımlanmasında ve kontrolünün yapılmasında oldukça sık kullanılan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (Uygunoğlu ve Yurtçu, 2006). Bahsedilen yöntem ilk olarak Zadeh (1965) tarafından tanımlanmıştır. Zadeh’in belirsizlik içeren sistemlerin incelemesi üzerine yaptığı bu çalışmayla farklı bir boyut kazanan konu hakkında bulanık küme terimi ancak 1975 yılında kullanılmıştır. Bu noktada yine Zadeh (1973, 1975a, 1975b, 1975c) tarafından yapılan devam niteliğindeki çalışmaların karmaşık ve belirsizlik içeren sistemlerde bulanık mantık kullanımı hakkında olması konunun popüleritesini artırmıştır. Devamında bulanık mantık kullanılmasına yönelik ilk uygulama ise 1974 yılında bir buhar makinesinin kontrolüne yönelik yapılmıştır (Mamdani, 1974). Zadeh’e göre bulanık mantık yönteminin ilkeleri aşağıdaki gibidir;

- Kesin olarak belli olan değerler yerine bulanık değerler kullanılır.
- Bulanık mantıkta veriler çok küçük, küçük, büyük, çok büyük şeklinde sözel ifadeler kullanılarak tanımlanır.
- Tanımlanacak tüm değerler 0 ile 1 aralığında bir üyelik derecesi ile tanımlanır.
- Matematiksel olarak modellenmesi karmaşık ve zor olan sistemler bulanık mantık yöntemi için uygundur.
- Mantıksal olarak belirtilen her ifade bulanık hale dönüştürülebilir (Elmas, 2007).

Sıfır ile bir  $\{0-1\}$  değerlerinden ikisine sahip olabilecek şekilde işleyen klasik mantık anlayışında elemanlar için kısmi bir üyelikten bahsedilemez. Sıfır ile bir aralığındaki  $[0-1]$  ikiden fazla değere sahip olacak şekilde ilerleyen bulanık mantık ise; felsefe, fen, sosyal ve mantık gibi konulara gerçekçi çözümler sunmasından ötürü gün geçtikçe önemi artan popüler bir konu konumundadır (Keskenler, 2017).

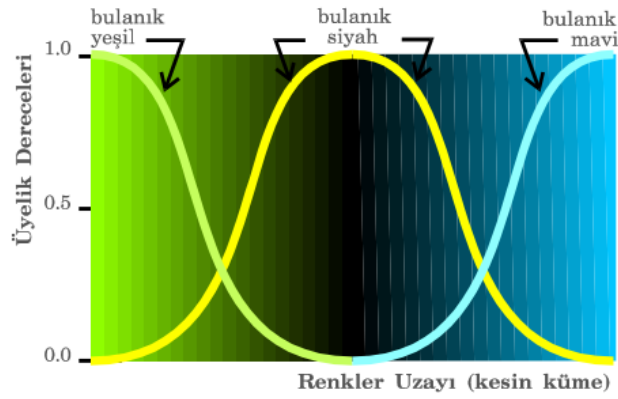
Bulanık mantık teriminin çalışma alanı bulanık kümelerden oluşmaktadır ve bulanık kümeler tanımlanacak olan üyelik fonksiyonları ile ifade edilmektedir. Bulanık kümeler farklı üyelik (ait olma) derecelerine sahip elemanlardan oluşmaktadır. Elemanların sıfır ile bir arasında farklı değerler alabildiği bir bulanık küme; bir üyelik fonksiyonu yardımıyla tanımlanmaktadır. Kümeye dâhiliyeleri net olmayan yani bulanık olan elemanların üyelik değerleri ise sıfır ile bir arasında bulunan bir değer ile tanımlanmaktadır (Altaş, 1999). Elemanları sıfır ya da birden oluşan, yani elemanın bir kümeye ait olması veya elemanın kümenin dışında olması gibi kesin ve keskin sınırlı klasik mantığa göre bulanık mantık bu noktada ayrılmaktadır. Bir bulanık küme oluşturmanın değişik yolları olmakla birlikte en yaygın olarak kullanılan yöntemin üyelik fonksiyonları tanımlamak olduğu söylenebilir (Klir ve Yuan, 1996). Dünyamızın keskin sınırlar içermeyip bulanık oluşunu bulanık mantık yöntemi iyi bir şekilde betimlemektedir. Bulanık fonksiyonları tanımlamak üzere kullanılan üçgen, yamuk, çan, sinüsoid, sigmoid ve cauchy gibi farklı üyelik fonksiyonları vardır (Özdemir ve Kalıncara, 2020) ve bunlar arasından üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonlarına ait gösterim ve formülasyon aşağıda sunulmuştur (Ayçın, 2011);



Şekil 1. Üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları ve matematiksel gösterimleri

Şekil 2’de görüldüğü üzere renk uzayı; yeşil, siyah ve mavi olmak üzere üç farklı renkten oluşmaktadır (Altaş, 1999);. Burada mevcut renkler kesin sınırlara sahip olmayıp üç rengin de tonları mevcuttur. Yani kümede soldan sağa doğru gidildikçe yeşil renk koyulaşarak siyaha, siyah rengin de maviye doğru tonu değişmekte ve küme nihayetinde mavi renk ile bitmektedir. Bu kümede seçilecek

bir noktanın hangi renge ait olduğunun bulunmasında üç renge ait birer bulanık küme oluşturulabilir. Burada örneğin yeşilden siyaha doğru gidildikçe yeşil renge ait olan üyelik derecesi azalırken siyah renge ait olan üyelik derecesi ise artacaktır. Aynı durum siyahtan mavi renge geçişte de benzer özellik gösterecektir. Ayrıca mavi-siyah tonlarının hâkim olduğu bir bölgede yeşil renge ait kümenin hiçbir üyeliği bulunmadığı gibi benzer durum yeşil-siyah bölgede mavi renge ait kümenin üyelik derecesi için geçerlidir. Bulanık mantığa göre seçilen bölgeler arasında açık yeşil ya da koyu mavi gibi kesin olmayan tanımlar kullanılabilirken bu durum kesin sınırlarla tarif edilen klasik mantıkta söz konusu olmayacaktır. Bulanık mantıkta bu durumun; elemanın kümeye aitliğini (üyeliğini) (0-1) gibi sadece iki değerlerle tanımlamak yerine [0-1] arasındaki ikiden fazla değer yardımıyla tarif edilmesi sağlanmaktadır.



Şekil 2. Üç farklı renkten oluşan bulanık renk kümeleri

Kısaca bulanık kümeler; elemanların ait olma derecelerini birer üyelik fonksiyonu yardımıyla ifade edebilir. Bulanık mantık ile klasik yaklaşım kıyaslanacak olursa şu şekilde üstünlükleri olduğu görülmektedir;

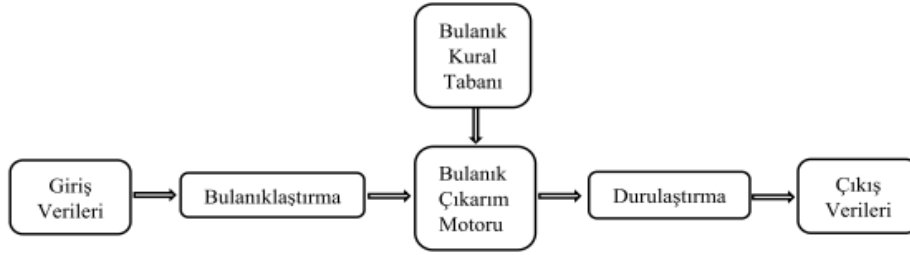
- Bulanık mantık yaklaşımında denetimler dilsel niteleyicilerle yapıldığından ötürü insan düşünüşe benzerlik göstermektedir.
- Bulanık mantıkta herhangi bir matematiksel modele ihtiyaç duyulmadığından doğrusal olmayan ya da zamanla değişen sistemler en çok verim alınan sistemlerdir.
- Bulanık mantıkta geniş alanlara yayılmış değerlerin az sayıda üyelik işlevine indirilmesi sonuca ulaşmayı hızlandırmaktadır.

Yukarıda belirtilen üstünlüklerin yanı sıra aşağıdaki sakıncalar da mevcuttur;

- Üyelik işlemlerinin ayarlanmasının uzun zaman alması ve sistemin bir öğrenme yetisinin bulunmaması,
- Bir sistem için belirlenen üyelik işlevi bu sisteme özgüdür ve başka bir sisteme uygulanamaz,
- Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi kolay bir işlem olmayıp mutlaka uzman deneyimine dayandırılarak belirlenmesi gerekmektedir (Elmas, 2003).

Bir bulanık mantık modelinde bulunan öğeler Şekil 3'te sunulmuştur (Alakara ve Ağaoğlu, 2022).





Şekil 3. Bulanık mantık modelinde bulunan öğeler

Bulanık mantık yöntemi kullanılarak inşaat mühendisliği özelinde yapılan çalışmalar derlenecek olursa;

Öztekin (2022) çalışmasında betonarme kirişlerin taşıma gücü momentlerinin tespitinde bulanık mantık yöntemini kullanmıştır. Bu kapsamda girdi parametreleri olarak kiriş kesitinin özellikleri, donatı oranı ve karakteristik beton dayanımı tanımlanıp çıkış parametresi olarak da kiriş taşıma momenti belirlenmiştir. Bulanık mantık modelinin oluşturulmasında toplamda 240 adet örnek çözümün kullanıldığı çalışmada sonuç olarak en büyük hata %6,45 iken ortalama %2,31'lik hata payıyla taşıma gücü momentinin belirlenmesinde kabul edilebilir sınırlardaki hata paylarıyla bulanık mantığın kullanılabilirliği ortaya konmuştur.

Deney sonuçlarının bulanık mantıkla yorumlanmasıyla hedef değeri verebilecek kombinasyonların tespiti; deneme yoluyla tespitine karşın şüphesiz daha hızlı olacaktır. Bu arada zamandan tasarruf edilmesine ek olarak harcanacak enerji ve maddiyatta da benzer bir tasarruf sağlanacaktır. Bu konuya ilişkin olarak uçucu külün belli oranlarda çimentoyla ikame edilmesiyle üretilen numunelerin basınç mukavemetlerinin bulanık mantıkta işlenmesiyle pik basınç mukavemetini verecek ikame oranının elde edildiği ve bunun laboratuvar ortamında ispat edildiği çalışmalar (Uygunoğlu ve ark., 2005; Uygunoğlu ve Ünal, 2005) örnek olarak gösterilebilir. Sarıdemir (2008) çalışması kapsamında beton içerisinde geri dönüştürülmüş katı atıkların kullanılabilirliğini ve etkisini araştırmıştır. Çalışmada kullandığı geri dönüştürülmüş malzemeler; atık otomobil lastikleri ve atık gaz beton agregalarıdır. Bu malzemelerle üretilmiş betonların mukavemet özelliklerinin tahmininde ise yapay zekâ uygulamalarından olan yapay sinir ağları ve bulanık mantıktan faydalanmıştır. Deney sonuçları ve model sonuçları arasındaki sonuçlar %10'u geçmeyen düşük farklılıklar göstermiş, böylece deney sonuçlarının kısa sürede ve kabul edilebilir hata payı ile elde edilebileceğini vurgulamıştır.

Uygunoğlu ve Ünal (2006) uçucu kül katkısının beton basınç dayanıma etkisini araştırdığı çalışmada bulanık mantık yönteminden faydalanmıştır. En yüksek %15,4 oranında bir hata payı olan model ve deneysel sonuçları üzerinden; zamandan, malzemeden ve maliyetten tasarruf elde ettikleri belirtilmiştir.

Laboratuvar ortamında yapılan yapı malzemesine yönelik çalışmalarda hedeflenen pik değerleri verecek karışım oranlarının bulunması çalışmaların genel amacı olarak gösterilebilir. Buna karşın

deney sonuçlarına etkiyen değişken sayısının fazla olmasına örnek olarak karışımda kullanılacak malzeme oranlarından kür türüne/süresine ve ortam sıcaklığına varıncaya dek geniş bir skaladaki parametreler gösterilebilir. Kullanılacak malzemelerin maliyeti ve harcanacak süre göz önünde bulundurulduğunda pik değeri verecek karışım oranlarının tespiti her zaman mümkün olamamaktadır. Yapılan bir deneysel çalışma verilerinin yapay zekâ yöntemleriyle incelenmesi ile aranan karışım oranı bulunması mümkün olmaktadır ve bu durum maliyet ve zamandan tasarruf imkânı sağlamaktadır. Bu konuya örnek olarak en iyi basınç dayanımını verecek uçucu kül oranının belirlenmesine yönelik olarak yapay sinir ağı yöntemleriyle belirlenmesine ilişkin çalışma (Topçu ve ark., 2006) örnek olarak gösterilebilir. Bulanık mantık sistemi yapıların nonlineer davranışlarının analizinde yetenekli olduğu için (Aldawod ve ark., 2001) diğer yapısal mühendislik çalışmalarında da kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmalara da örnek olarak; araştırmacılar Avustralya'da bulunana 76 katlı bir betonarme binanın rüzgâr etkisine karşı sergilediği davranışı bulanık mantık yöntemi ile kontrolünü amaçlamışlardır. Sonuç olarak klasik kontrol yöntemlerine karşın bulanık kontrol sisteminin daha güvenilir olduğu belirlenmiştir (Aldawod ve ark., 2001). Tanyıldızı ve Yazıcıoğlu (2006) çalışmalarında çelik kirişlerin plastik analizinde bilinmesi gereken göçme yük faktörünün belirlenmesinde bulanık mantık yöntemini kullanmışlardır. Burada elde ettikleri sonuçlar ile klasik yöntemlerle elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu belirtilmiştir. Öztekin (2022) çalışmasında oluşturduğu bulanık mantık modeli neticesinden bu uygulamanın betonarme kirişlerin kesme dayanımlarının hesaplanmasında kullanılabilir olduğunu belirtmiştir.

Beton basınç dayanımlarının tespitinde bulanık mantık yönteminin kullanılabilirliği üzerine yapılan çalışmada ise (Çakıroğlu ve ark., 2010) geliştirilen bulanık mantık modelinin tahmin ettiği sonuçlar ile deneysel sonuçlar kıyaslanmıştır. Elde edilen yüksek tahmin oranı neticesinde modelin basınç dayanımı tahmininde kullanılabileceği vurgulanmıştır. Kendiliğinden yerleşen betonların çökme değeri, çökme yayılması miktarı ve basınç dayanımlarının tahminine yönelik yapılan çalışmada (Topsakal ve Özel, 2012) elde ettikleri yüksek belirleyicilik katsayıları neticesinde oluşturulan modelin kullanılabileceği sonuca varmışlardır.

Ülkemiz gibi aktif depremlere maruz ülkeler için deprem sonrası binaların hasar tespit işleminin hızlı bir şekilde yapılması önemli bir husustur. Burada keskin sınırlara sahip klasik değerlendirme yöntemlerine karşın insan doğasına uygun, daha muğlak alanlara sahip bulanık mantık yöntemin kullanılmasına yönelik bir çalışma literatürde mevcuttur (Kömür ve Altan, 2005). Çalışma sonunda bulanık mantık yönteminin insanoğlunun düşünüş ve karar verme özelliklerine daha uygun olduğundan ötürü bu tür uygulamalarda kullanılabilirliği vurgulanmıştır.

### **3. Materyal ve Metot**

Bu çalışma kapsamında öncelikle Bitlis yöresi ignimbiritlerinden olan Bitlis ponzası (BP), Bitlis-Ahlat yöresi taşı (AT) ve Bitlis-Güroymak yöresi taşı tozlarının (GT) beton içerisinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla yukarıda sayılan taş atıkları toz haline getirilerek %0, %10, %20 ve %40

oranlarında çimentoyla ikame edilmiştir. Burada kullanılan çimento tipi CEN-1 42,5 N tipi olup ve CEN tipi standart deney kumu numunelerin üretiminde kullanılmış olup bunların özellikleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir (Bozkurt ve Karaca, 2019). Verilen karışım oranlarıyla üretilen 4\*4\*16 cm ölçülerine sahip numuneler üzerinde 7, 28 ve 90 günlük standart su kürü uygulanmıştır. Kür yaşlarını tamamlayan numunelerin dayanım özelliklerinin tespitinde sırasıyla ultrasonik ses geçirgenlik deneyi (USG) ve TS EN 196-1’e uygun olacak şekilde eğilme çekme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Bahsedilen çalışmanın amacı; inşaat uygulamalarında zayıf olan malzemelerin beton içerisinde çimentoya bir ikame malzemesi olarak kullanımının araştırılmasıdır. Bu yolla sadece uygulamalarda zayıf olan malzemelerin tekrar kullanılması haricinde, çimento üretiminde kullanılan doğal kaynaklara olan talebin farklı malzemelerle bir alternatif olarak azaltılabilmesi hedeflenmiştir. Burada bahsedilen malzemelerin puzolonik aktivite özelliğine sahip olup olmadıkları; yani beton içerisinde ilerleyen kür yaşlarında mukavemete olumlu etkisinin olup olmadığı çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Bu yolla çimento yerine bu malzemelerin kullanılabilirliği araştırılmıştır ve detaylı bilgiler Bozkurt ve Karaca (2019)’da mevcuttur.

Laboratuvar ortamında elde edilen verilerin yapay zekâ yöntemleriyle değerlendirilmesine yönelik olarak yapılan bu çalışmada ise bulanık mantık yöntemi seçilmiştir. Bulanık mantık modelinin oluşturulmasında MATLAB programından faydalanılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan karışım oranları Tablo 3’de, elde edilen ultrasonik ses geçirgenlik, eğilme ve basınç deneylerinin sonuçları da Tablo 4’de verilmiştir.

**Tablo 1.** CEN-1 42,5 N tipi çimentonun özellikleri

<b>Analiz sonuçları</b>	<b>TİP I 42,5 N</b>
2 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	22,4
7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	39,4
28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	51
SO <sub>3</sub> (%)	2,6
MgO (%)	2,1
CI (%)	0,007
Kızdırma Kaybı (%)	1,7
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,3
Özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3749
Priz Başlancısı (dakika)	161
Priz Sonu (saat)	04:20
Hacim Sabitliği (mm)	0,4
Serbest Kireç (%)	0,5
Eşdeğer Alkali	-
Su İhtiyacı (Vicac Suyu) (%)	29,6

**Tablo 2.** CEN tipi deney kumunun özellikleri

Tane Büyüklük Dağılımı Kare Göz Açıklığı	Standart	Analiz Sonuçları
2 mm	%0	%0,00
1,6 mm	%7 ± 5	%7,06
1 mm	%33 ± 5	%32,69
0,5 mm	%67 ± 5	%67,90
0,16 mm	%85 ± 5	%87,32
0,08 mm	%99 ± 1	%99,42
Rutubet	%0,20	%0,13

**Tablo 3.** Karışım içerikleri

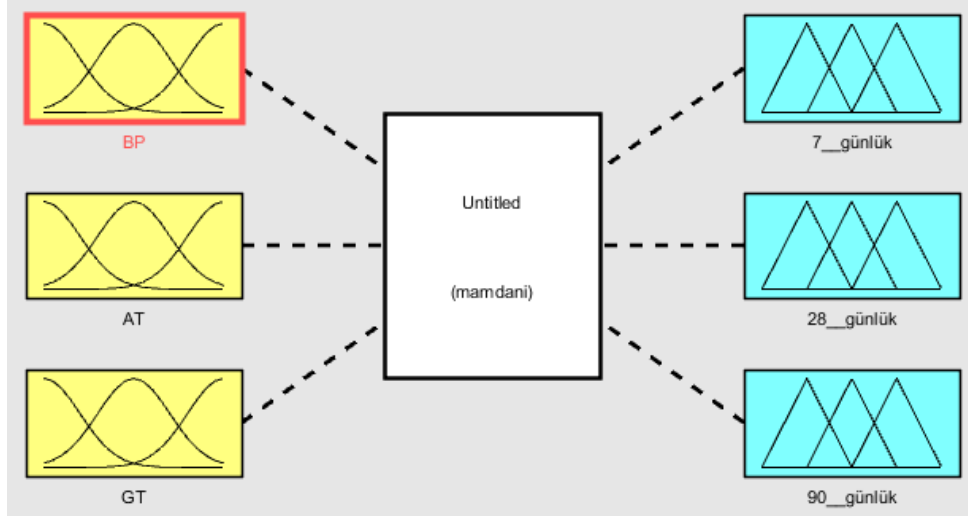
İçerik	Çimento Miktarı (gr)	Kullanılan Toz (gr)	Kum (gr)	Su (gr)
Kontrol (K)	450	0	1350	250
%10 BP	405	45	1350	250
%20 BP	360	90	1350	249
%40 BP	270	180	1350	247
%10 AT	405	45	1350	250
%20 AT	360	90	1350	248
%40 AT	270	180	1350	245
%10 GT	405	45	1350	250
%20 GT	360	90	1350	246
%40 GT	270	180	1350	245

**Tablo 4.** Deney sonuçları

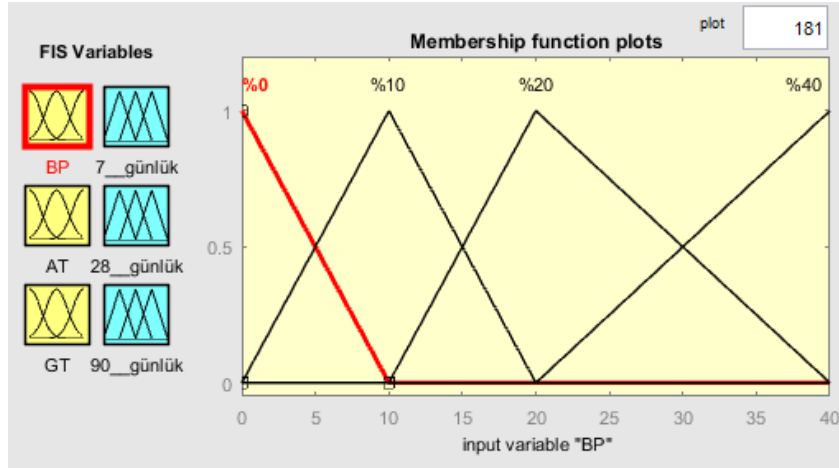
İçerik	USG (m/s)			Eğilme Day. (MPa)			Basınç Day. (MPa)		
	7 gün	28 gün	90 gün	7 gün	28 gün	90 gün	7 gün	28 gün	90 gün
Kontrol (K)	4218	4508	4539	5,39	7,23	8,84	17,44	18,09	24,85
%10 BP	4203	4369	4519	6,15	6,44	7,01	16,81	18,81	24,77
%20 BP	4108	4282	4519	6,36	7,09	7,37	15,51	17,41	25,28
%40 BP	3877	4251	4371	4,29	6,03	6,39	10,01	16,5	21,18
%10 AT	4295	4347	4429	5,65	6,39	7,66	13,65	20,57	24,27
%20 AT	4286	4295	4332	5,04	6,35	7,2	12,07	18,77	20,97
%40 AT	4010	4050	4346	3,43	5,23	6,22	7,41	11,48	18,12
%10 GT	4156	4271	4342	5,13	6,69	7,02	11,21	19,41	23
%20 GT	3387	4148	4438	4,96	5,48	6,5	10,35	17,5	23,25
%40 GT	3316	3871	4302	4,05	4,78	6,26	8,63	9,76	18,57

Tablo 4’de sonuçları verilen dayanım deneyleri sonuçları kullanılarak MATLAB ortamında bulanık mantık modelleri oluşturulmuştur. USG, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı değerleri kullanılarak oluşturulan 3 farklı modele ait görsel aşağıda sunulmuştur. Giriş verileri olarak her 3 taş tozu için %0,

%10, %20 ve %40'lık ikame oranları kullanılmış olup, çıkış verileri olarak da 7, 28 ve 90 günlük deney sonuçlarıyla oluşturulan üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Şekil 4'te verilen giriş/çıkış verilerine ait görsel ile Şekil 5'te verilen üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasına ait MATLAB programının görselleri USG deney sonuçları için modele aittir. Eğilme ve basınç dayanımlarına ait model görselleri de Şekil 4-5 ile aynıdır.



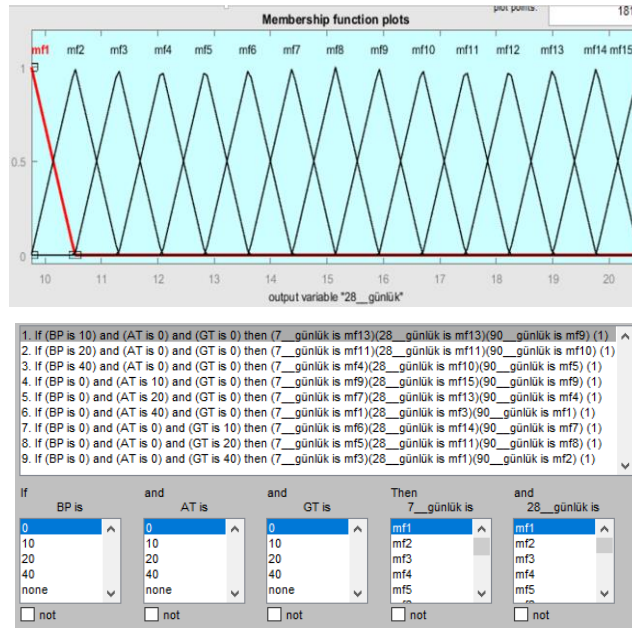
Şekil 4. USG sonuçları için hazırlanan bulanık mantık modeli-Giriş/Çıkış verileri



Şekil 5. USG sonuçları için hazırlanan bulanık mantık modeli-üyelik fonksiyonları

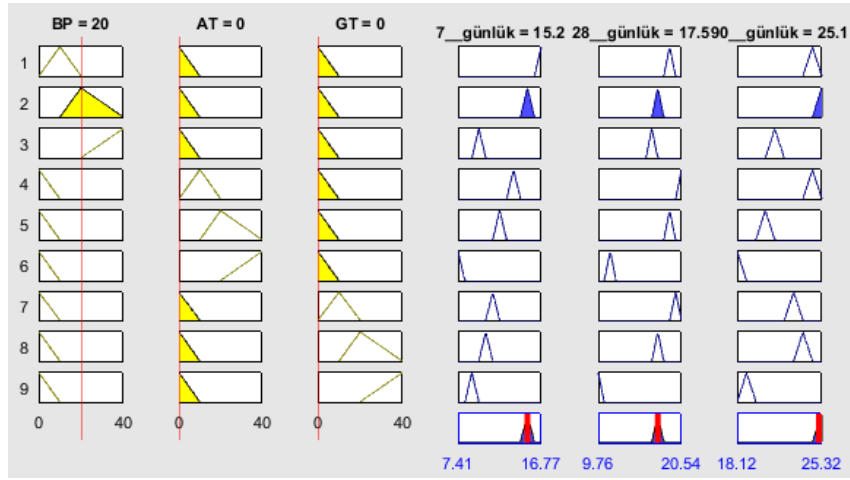
Yukarıda bahsedildiği gibi USG, eğilme dayanımı ve basınç dayanımları için üç farklı model oluşturulmuştur. USG için oluşturulan üyelik fonksiyonu sayısı belirtilecek olursa; 7 günlük deney sonuçları için 11, 28 günlük deney sonuçları için 7, 90 günlük deney sonuçları içinde 5 üyelik fonksiyonu oluşturulmuş. Eğilme dayanımı için 7, 28 ve 90 günlük kür sonuçlarına karşılık oluşturulan üyelik fonksiyonu sayısı her bir kür süresi için 10ar tanedir ve basınç dayanımı için de 15'er üyelik fonksiyonu mevcuttur. Burada kullanılan üyelik fonksiyonu sayısı bulanık çıktılarının doğruluğunu yakından etkilemektedir. Bundan ötürü en yüksek ve en düşük deney sonuçlarının arasındaki fark gözetilerek yukarıda bahsedilen sayılardaki üyelik fonksiyonları yüksek korelasyon

sayısı verecek şekilde belirlenmiştir. Modeller bu şekillerde oluşturulduktan her deney türü için 9 kural hazırlanmıştır. Burada dokuz kural oluşturulmasının sebebi 3 farklı numune içeriğinin 3 farklı kür yaşı sonucunun incelenmesinden kaynaklanmaktadır. Oluşturulan üyelik fonksiyonları içerisinde deney sonucuna karşılık/yakın gelenler belirlenerek kural tablosu tamamlanmıştır. Burada üyelik fonksiyonlar “and” bağlacıyla oluşturulmuştur. Her kür süresi için ayrı ayrı model oluşturmak yerine tüm kür süresi sonuçlarının and bağlacı kullanılmasıyla model sayısı ve harcanacak süreden tasarruf maksatlı bu yol izlenmiştir. Ayrı ayrı model oluşturulması bulanık çıktı sonuçlarında bir farklılığa sebep olmamaktadır. Tüm kural tablolarına ait görseller benzer olduklarından ötürü Şekil 6’da örnek olması amacıyla sadece basınç dayanıma ait üyelik fonksiyonlarına ve kural tablosuna ait görsel paylaşılmıştır.



Şekil 6. Basınç dayanımından kullanılan üyelik fonksiyonları (a) ve kural tablosu (b)

Bu şekilde tamamlanan model sonuçlarıyla birlikte Tablo 5-7 ve Şekil 8-10 hazırlanmıştır. Tamamlanan modellerin sonuçlarının okunduğu MATLAB ekranı görseli ise Şekil 7’de sunulmuştur. Şekilde basınç dayanımına ait sonuç ekranı paylaşılmış olup; diğer modellerdeki sonuç ekranları da benzer olmasından ötürü paylaşılmamıştır. Üyelik fonksiyonları oluşturulurken ise üçgen tipi üyelik fonksiyonları tercih edilmiş ve durulama işlemi bu üçgenlerin ağırlık merkezlerine göre sonuç vermiştir.



Şekil 7. Basınç dayanımına ait sonuç ekranı

#### 4. Bulgular ve Tartışma

Oluşturulan modeller sonucu yapılan analiz ile model sonuçları elde edilmiştir. 7, 28 ve 90 günlük kür sonucu elde edilen deneysel sonuçlar, bulanık mantık yoluyla elde edilen sonuçlar (bulanık çıktı) ve bunların farkları kullanılarak oluşturulan tablolar; Tablo 5, 6 ve 7’de sunulmuştur. Belirtilen tablolarda bulanık mantık modelinden elde edilen değerlere ilişkin yüzdesel olarak ortalama hata, ortalama mutlak hata, en büyük mutlak hata ve korelasyon katsayısı da verilmiştir.

Tablo 5. USG deneyi sonuçları ve bulanık mantık ile bulunan sonuçlar (m/s<sup>2</sup>)

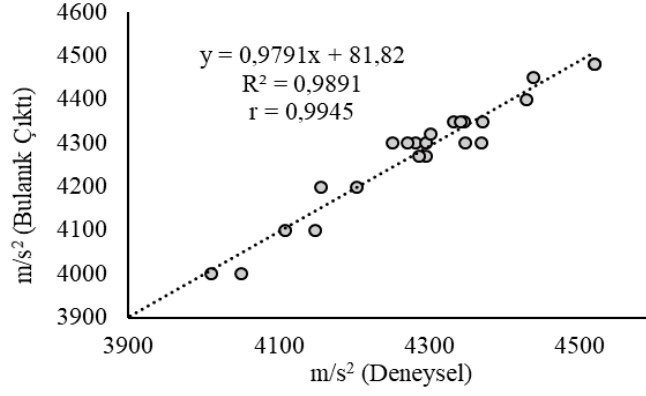
Num. İçeriği	7			28			90		
	Günlük Sonuçla r	Bulanık Çıktı	Fark (%)	Günlük Sonuçla r	Bulanık Çıktı	Fark (%)	Günlük Sonuçla r	Bulanık Çıktı	Fark (%)
%10 BT	4203	4200	-0,07	4369	4300	-1,58	4519	4480	-0,86
%20 BT	4108	4100	-0,19	4282	4300	0,42	4519	4480	-0,86
%40 BT	3877	3900	0,59	4251	4300	1,15	4371	4350	-0,48
%10 AT	4295	4270	-0,58	4347	4300	-1,08	4429	4400	-0,65
%20 AT	4286	4270	-0,37	4295	4300	0,12	4332	4350	0,42
%40 AT	4010	4000	-0,25	4050	4000	-1,23	4346	4350	0,09
%10 GT	4156	4200	1,06	4271	4300	0,68	4342	4350	0,18
%20 GT	3387	3400	0,38	4148	4100	-1,16	4438	4450	0,27
%40 GT	3316	3300	-0,48	3871	3900	0,75	4302	4320	0,42

Ortalama % Hata = -0,12

En Büyük Mutlak % Hata = 1,58

Ortalama Mutlak % Hata = 0,61

Korelasyon Katsayısı r = 0,9945



Şekil 8. Bulanık model ile USG sonuçlarının arasındaki ilişki

Tablo 6. Eğilme deneyi sonuçları ve bulanık mantık ile bulunan sonuçlar (MPa)

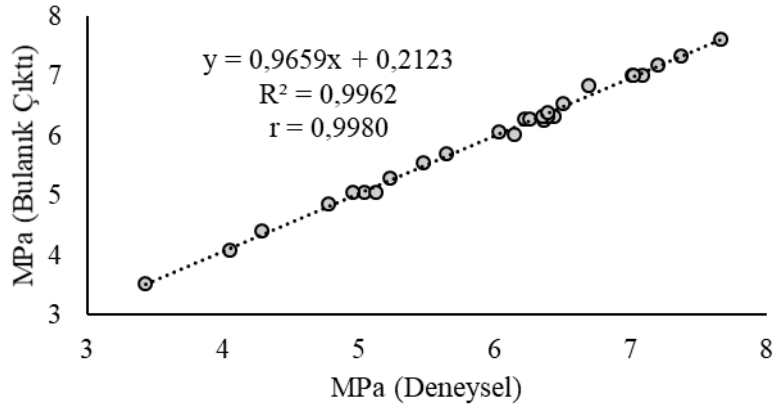
Num. İçeriği	7 Günlük Sonuçlar	Bulanık Çıktı	Fark (%)	28 Günlük Sonuçlar	Bulanık Çıktı	Fark (%)	90 Günlük Sonuçlar	Bulanık Çıktı	Fark (%)
% 10 BT	6,15	6,03	-1,95	6,44	6,32	-1,86	7,01	7,02	0,14
% 20 BT	6,36	6,26	-1,57	7,09	7,01	-1,13	7,37	7,34	-0,41
% 40 BT	4,29	4,41	2,80	6,03	6,06	0,50	6,39	6,38	-0,16
% 10 AT	5,65	5,7	0,88	6,39	6,32	-1,10	7,66	7,61	-0,65
% 20 AT	5,04	5,06	0,40	6,35	6,32	-0,47	7,20	7,18	-0,28
% 40 AT	3,43	3,53	<b>2,92</b>	5,23	5,29	1,15	6,22	6,28	0,96
% 10 GT	5,13	5,06	-1,36	6,69	6,84	2,24	7,02	7,02	0,00
% 20 GT	4,96	5,06	2,02	5,48	5,55	1,28	6,50	6,54	0,62
% 40 GT	4,05	4,08	0,74	4,78	4,86	1,67	6,26	6,28	0,32

Ortalama % Hata = **-0,28**

En Büyük Mutlak % Hata = **2,92**

Ortalama Mutlak % Hata = **1,09**

Korelasyon Katsayısı  $r = 0,9980$



Şekil 9. Bulanık model ile eğilme dayanımı deneyi sonuçlarının arasındaki ilişki



**Tablo 7.** Basınç deneyi sonuçları ve bulanık mantık ile bulunan sonuçlar (MPa)

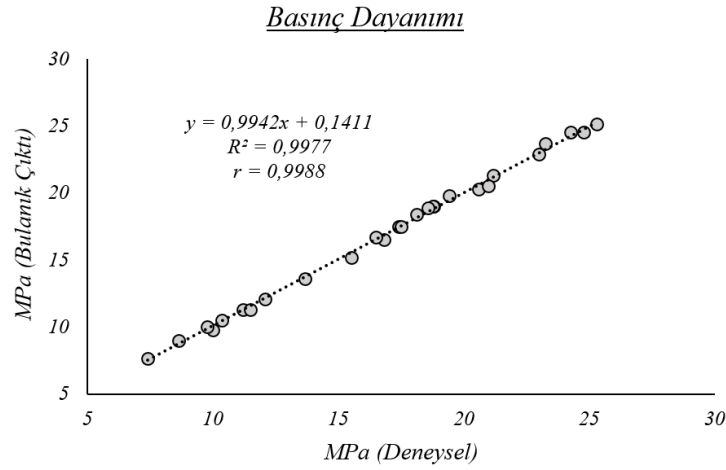
Num. İçeriği	7			28			90		
	Günlük Sonuçlar	Bulanık Çıktı	Fark (%)	Günlük Sonuçlar	Bulanık Çıktı	Fark (%)	Günlük Sonuçlar	Bulanık Çıktı	Fark (%)
%10 BP	16,81	16,5	-1,84	18,81	19	1,01	24,77	24,5	-1,09
%20 BP	15,51	15,2	-2,00	17,41	17,5	0,52	25,28	25,1	-0,71
%40 BP	10,01	9,75	-2,60	16,5	16,7	1,21	21,18	21,3	0,57
%10 AT	13,65	13,6	-0,37	20,57	20,3	-1,31	24,27	24,5	0,95
%20 AT	12,07	12,1	0,25	18,77	19	1,23	20,97	20,5	-2,24
%40 AT	7,41	7,64	3,10	11,48	11,3	-1,57	18,12	18,4	1,55
%10 GT	11,21	11,3	0,80	19,41	19,8	2,01	23	22,9	-0,43
%20 GT	10,35	10,5	1,45	17,5	17,5	0	23,25	23,7	1,94
%40 GT	8,63	8,97	3,94	9,76	9,98	2,25	18,57	18,9	1,78

Ortalama % Hata = **0,38**

En Büyük Mutlak % Hata = **3,94**

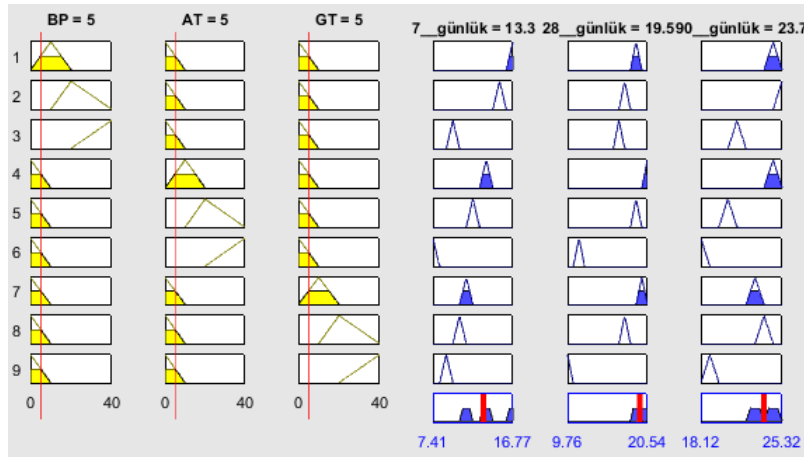
Ortalama Mutlak % Hata = **1,4**

Korelasyon Katsayısı  $r = 0,9988$

**Şekil 10.** Bulanık model ile basınç dayanımı deneyi sonuçlarının arasındaki ilişki

Tablo 5-7 incelenecek olursa; toplam 81 adet numunenin (3\*3\*9) laboratuvar ortamında elde edilen deney sonuçları ve bunlardan hareketle oluşturulan bulanık mantık modelleri sonuçları görülmektedir. Bulanık model oluşturulurken yapılan deneyler göz önünde bulundurularak USG, eğilme ve basınç deneyleri için ayrı bulanık modeller oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar fiziki deney sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Verilen tablolara en yüksek farklar ortalama mutlak ve yüzde hatalar ile korelasyon sayıları eklenmiştir. Burada verilen yüzdeler; bulanık sonuç ile gerçek sonucun farkının, gerçek sonuca bölünüp 100 ile çarpılmasıyla elde edilmiştir. USG ile alakalı olan Tablo 3 incelendiğinde en büyük hatanın %-1,58 olduğu ve ortalama hatanın ise %-0,12 olduğu görülmektedir. Eğilme deneyine ilişkin; en büyük hata %2,92 olarak elde edilmişken ortalama hata ise %0,28'dir. Son olarak basınç dayanımına ilişkin olarak %3,94 şeklinde en büyük hata bulunmuş ve bu deney için ortalama hata ise %0,38 olmuştur. Laboratuvar ortamında harcanan zaman, malzeme ve maliyet unsurları göz önüne alındığında bunlardan tasarruf sağlayarak sağlıklı deney sonuçları elde edilebilmesi adına bahsedilen bu hata paylarının makul olduğu görülmektedir.

Şekil 8-10'da ise elde edilen bulanık mantık analizi sonuçları ile deneysel sonuçlar arasında mantıklı bir ilişki bulunup bulunmadığına dair korelasyon değerleri tespit edilmiştir. Yapılan üç deney için de elde edilen sonuçların %99 oranında uyumlu olduğu anlaşılmaktadır. Üyelik fonksiyonların belirlenmesinde deney sonuçlarının en yüksek ve en düşüklerinin farkının üyelik sayısına bölünmesi yoluna gidilmiştir. Kullanılacak fonksiyon sayısının artırılmasıyla; en yüksek yüzde hatalarda azalması olacaktır. Genel anlamda, elde edilen korelasyon değerlerinin %99 gibi yüksek bir oranda olmasından ötürü çalışma kapsamında üyelik fonksiyonu sayısının artırılarak yeni bir bulanık model oluşturulmasına gerek duyulmamıştır. Elde edilen bu yüzdesel oran; yapılan deneysel çalışma kapsamında hedeflenen farklı karışım karışım oranları (%5 pomza + %10 ahlat taşı tozu içeren numune gibi) ve en yüksek dayanım sonuçlarını verecek karışım oranlarının tespiti için yeni karışım ve deneyler yapılmadan; bulanık model yardımıyla belirlenecek karışım oranının ve bu orandaki numuneden elde edilecek sonucun fiziki metotlarla %99 oranında benzer şekilde elde edileceğini göstermektedir. Örnek olarak Şekil 7'deki sonuç ekranı üzerinde yapılacak inceleme ile pomza, Ahlat ve Güroymak taş tozlarının her birinin %5'yle oluşturulacak bir numunenin basınç dayanımı değerleri okunabilir. Şekil 11'de sonuçları gösterilen bu durum neticesinde, oluşturulacak böyle bir numunenin 90 gün kür sonunda yaklaşık olarak 23,7 MPa basınç dayanımına sahip olacağı söylenebilir. Bu yöntem zamandan ve maliyetten tasarruf edilmesinin sağlayacak olup, bu durumla alakalı örnekler literatür taraması kısmında detaylı olarak verilmiştir.



**Şekil 11.** Bulanık çıktı verileri üzerinden farklı karışım oranlarının vereceği tahmini sonuçların okunması

## 5. Sonuçlar

Günümüzde ilerleyen teknolojinin sunduğu avantajlardan yararlanma noktasında çeşitli yapay zekâ yöntemlerinin inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılması bu duruma örnek olarak gösterilebilmektedir. Bu yöntemlerden biri olan bulanık mantık sahip olduğu ve sunduğu özellikler nedeniyle bu çalışmada tercih edilen yöntemdir. En yüksek dayanım değerlerinin elde edilmesi; yapılan fiziki çalışmanın en genel amacı olup pik değeri verecek karışım oranının tespit edilmesi ve farklı karışım oranları ile üretilecek beton numunelerinin dayanım özelliklerinin belirlenmesi zaman

ve malzeme açısından maliyetli bir işlemdir. Ayrıca deney sonuçlarını etkileyecek gerek numunenin hazırlanması sırasında gerek kür aşamasında birçok parametrenin olması bu durumu daha karmaşık bir hale getirmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen korelasyon değerlerinin %99 gibi yüksek bir oranda olması; bulanık model ile tespit edilecek karışım oranının deneysel çalışmada elde edilecek dayanım sonucuyla neredeyse aynı olduğu anlamına gelmektedir. Bu durum bulanık mantık uygulamalarının bu çalışmaya benzer inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

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

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

### **Kaynakça**

- Alakara EH., Ağaoğlu MN. Beton ve mermer atıkları kullanılarak üretilen bitümlü sıcak karışımların optimum bitüm miktarının bulanık mantık yöntemi ile tahmin edilmesi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi 2022; 14(1): 31-44.
- Aldawod M., Samali B., Naghdy F., Kwok KCS. Active control of along wind response of tall building using a fuzzy controller. Engineering Structures 2001; 23(11): 1512-1522.
- Altaş İH. Bulanık mantık: bulanıklılık kavramı. Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e 1999; 62: 80-85.
- Ayçın E. Kural tabanlı bulanık modelleme ve fiyat tahminleme sürecinde bir uygulama. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir, Türkiye, 2011.
- Bozkurt N., Karaca EO. Atık taş tozları ile üretilen harçların dayanım ve durabilite özelliklerinin araştırılması. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 2019; 31(1): 11-20.
- Çakıroğlu MA., Terzi S., Kasap S., Çakıroğlu MG. Beton basınç dayanımının bulanık mantık yöntemiyle tahmin edilmesi. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2010; 6(2): 1-8.
- Chen SJ., Hwang CL. Fuzzy multiple attribute decision making: methods and applications. New York: Springer; 1992.
- Elmas Ç. Bulanık mantık denetleyicileri (kuram, uygulama, sinirsel bulanık mantık). Ankara: Seçkin Yayıncılık; 2003.
- Elmas Ç. Yapay zekâ uygulamaları. Ankara: Seçkin Yayınevi; 2007.
- Gültekin B., Doğan G. İnşaat mühendisliğinde yapay zekâ çalışmaları. İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi 2021; 2(2): 117-138.
- Kentli A. Studies on fuzzy decision making in turkish universities: an overview. Marmara Fen Bilimleri Dergisi 2011; 23(4): 140-159.
- Keskenler MF., Keskenler EF. Bulanık mantığın tarihi gelişimi. Takvim-i Vekayi 2017; 5(1): 1-10.

- Klir GJ., Yuan B. Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications. New Jersey: Prentice hall; 1996.
- Kömür M., Altan M. Deprem hasarı gören binaların hasar tespitinde bulanık mantık. İTÜ Dergisi 2005; 4(2): 43-52.
- Mamdani EH. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant. Proceedings of the Institution of Electrical Engineers 1974; 121(12): 1585-1588.
- Özdemir O., Kalıncara Y. Bulanık mantık: 2000-2020 yılları arası tez ve makale çalışmalarına yönelik bir içerik analizi. ACTA Infologica 2020; 4(2): 155-174.
- Öztekin E. Tek donatılı betonarme kirişlerin taşıma gücü momentlerinin bulanık mantık metodu ile belirlenmesi. ALKU Journal of Science 2022; Özel Sayı: 11-20.
- Öztekin E. Bulanık mantık yaklaşımıyla süneklik düzeyi sınırlı betonarme kirişlerin kesme dayanımlarının hesabı. ALKU Journal of Science 2022; Sayı 4(1): 1-10
- Sarıdemir M. Farklı agregalarla üretilmiş beton özelliklerinin yapay sinir ağları ve bulanık mantık ile tahmin edilmesi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Eskişehir, Türkiye, 2008.
- Tanyıldızı H., Yazıcıoğlu S. Bulanık mantık metodu ile tekil yükler altında iki açıklıklı kirişlerin plastik göçme yük faktörü değerinin bulunması. İMO Teknik Dergi 2006; 17(84): 3961-3971.
- Topçu İB., Uygunoğlu T., Sivri M. Puzolanların beton basınç dayanıma etkisinin yapay sinir ağlarıyla incelenmesi. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2006; 2: 1-10.
- Topsakal A., Özel C. Kendiliğinden yerleşen betonların yerleştirme zamanına bağlı taze ve sertleşmiş özelliklerinin bulanık mantık yöntemi ile modellenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2012; 12: 1-7.
- Uygunoğlu T., Ünal O. Uçucu külün betonun basınç dayanımına etkisi üzerine bulanık mantık yaklaşımı. 4. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 2005, Konya.
- Uygunoğlu T., Ünal O. A new approach to determination of compressive strength of fly ash concrete using fuzzy logic. Journal of Scientific & Industrial Research 2006; 65: 894-899.
- Uygunoğlu T., Yurtcu Ş. Yapay zekâ tekniklerinin inşaat mühendisliği problemlerinde kullanımı. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2006; 2(1): 61-70.
- Uygunoğlu T., Ünal O., Yücel KY. Seyitömer uçucu külünün betonun basınç dayanımına etkisi üzerine bulanık mantık yaklaşımı. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2005; 1(1): 13-20.
- Zadeh LA. Fuzzy sets. Information and Control 1965; 8(3): 338-353.
- Zadeh LA. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics 1973; 3(1): 28-44.
- Zadeh LA. The concept of linguistic variable and its application to approximate reasoning-I. Information Sciences 1975a; 8(3): 199-249.
- Zadeh LA. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-II. Information Sciences 1975b; 8(4): 301-357.

Zadeh LA. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-III.  
Information Sciences 1975c; 9(1): 43-80.

## Mısır Bitkisinde Yapraktan Uygulanan Eksogen Uygulamalarının Bitkideki Azota ve Verime Etkisi

Bülent ÇAKIR<sup>1\*</sup>, Celaeddin BARUTÇULAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, 01370, Adana

<sup>2</sup>Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, 01250, Adana

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4672-7582>

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0003-3583-9191>

\*Sorumlu yazar: bulentcakir31@gmail.com

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 23.12.2022

Kabul tarihi: 14.03.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Mısır

Eksogen

Azot kullanım etkinliği

Verim

### ÖZ

Mısır; önemli bir tahıl bitkisi olup aynı zamanda önde gelen bir yem bitkisi olarak da işlem görmektedir. Gıda işlemeden etanol üretimine kadar çok çeşitli endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Bu çalışma Çukurova koşullarında, yapraktan 5 farklı eksogen (Glisin-betain, prolin, salisilik asit, silikon ve sitokin) uygulamasının iki atışı mısır çeşidinde bitkideki azota ve dane verimine etkisini belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Deneme, 2017 ve 2018 yıllarında mısır yetiştirme sezonunda yürütülmüştür. Çalışmada, eksogenlerin azota ve dane verimine etkileri yıllara göre farklılık göstermiştir. Glisin-betain uygulaması ile kontrol uygulaması arasında P.2088 çeşidinde %9,2'lik, Sancia çeşidinde ise %16,2'lik dane veriminde artış sağlanmıştır. Elde edilen verilere göre, Çukurova koşullarında ana ürün mısır yetiştiriciliğinde azot kullanım etkinliğini artırmak ve verim artışı için glisin-betain uygulaması önerilmektedir.

## The Effect of Foliar Exogenous Applications on Nitrogen and Yield in Corn Plant

### Research Article

#### Article History:

Received: 23.12.2022

Accepted: 14.03.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Corn

Exogen

Nitrogen use efficiency

Yield

### ABSTRACT

Corn is an important cereal crop and is also traded as a leading forage crop. It is used in a wide variety of industrial fields, from food processing to ethanol production. In this study, it was carried out to determine the effects of foliar application of 5 different exogenous (glycinebetaine, proline, salicylic acid, silicon, and cytokinin) on the nitrogen and grain yield of two maize cultivars in Çukurova conditions. The experiment was conducted in the corn growing season in 2017 and 2018. In the study, the effects of exogenes on nitrogen and grain yield differed according to years. Between the application of glycinebetaine and the control application, an increase in grain yield of 9.2% was achieved in P.2088 variety and 16.2% in Sancia variety. According to the finding, glycibetaine application is recommended to increase nitrogen use efficiency and increase yield in main crop corn cultivation in Çukurova conditions.

**To Cite:** Çakır B., Barutçular C. Mısır Bitkisinde Yapraktan Uygulanan Eksogen Uygulamalarının Bitkideki Azota ve Verime Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 1851-1863.

## 1. Giriş

Mısır (*Zea mays L.*) çok yönlü bitkilerden olup çeşitli çevre koşullarında yetiştirilebilir ve insan beslenmesinde, hayvan yemlerinde ve çok sayıda endüstriyel ürün için hammaddelerde birçok

kullanıma sahip olup Türkiye’de olduğu gibi dünyada da buğday ve pirinçten sonra en önemli üçüncü tahıldır (Ayyar ve ark., 2019).

Mısır üretim alanları yaklaşık 202 milyon ha, üretim miktarları yaklaşık 1,16 milyar ton ve ortalama tane verimi yaklaşık 5755 kg ha<sup>-1</sup>'dir. Türkiye’de yıllık ortalama mısır üretim alanları 690.553 ha ve üretimler yaklaşık 6,5 milyon ton olup, ortalama dane verimi 9413 kg ha<sup>-1</sup>'dir (FAO, 2020).

Tarımda kullanılan azotlu gübrelerin etkinliği ve bu gübrelerin uygulama düzeyleri giderek önem kazanmaktadır. Aşırı azotlu gübre kullanımı insan ve çevre sağlığı açısından büyük tehditler oluşturmaktadır (Singh, 2018). Bu nedenle son yıllarda tarımda azotlu gübrelerin etkinliğini artırmak için eksogen maddelerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Yüksek verim hedefi olan üreticiler aşırı azotlu gübre kullanımına yönelmiş olsa da azotun kullanım etkinliği düşmektedir. Bu nedenle eksogen maddelerin azotlu gübrelerle kullanımı ile etkinliğinin artırılması sağlanmaktadır. Bu durum; yavaş veya kontrollü salınımlı gübreler veya eksogen maddelerin kullanımı gibi gübre endüstrisinde yeni bir trendin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Folina ve ark., 2021).

Silisyum (Si) uygulaması; yaprak klorofil indeksini, gövde çapını artırmış ve toprak özellikleri üzerinde benzer etkilere sahip olduğunu bunun yanı sıra mısır büyümesi ve üretkenliği üzerinde olumlu etkiler göstermiştir (Galindo ve ark., 2020). Eksogen maddelerin bitki büyümesini iyileştirme potansiyellerinin olduğu bu nedenle son on yılda büyük ilgi gördükleri ve bildirilmiştir (Mrid ve ark., 2021). Abiyotik stresin olumsuz etkisini azaltmak için uygulanan yeni bir girişim olan eksogen bileşikler (Tian ve ark., 2015) bitkilerin kuraklık, düşük-yüksek sıcaklık ve tuzluluk gibi çevresel koşullardan etkilenmektedir. Bu faktörler; tarımsal üretimde verim ve kaliteyi sınırlamaktadır (Martinez-Beltran ve Manzur, 2005). Bu sınırlamaların giderilmesinde kullanılan eksogen maddeler büyük önem taşımaktadır. Glisin-betain ve prolin gibi osmoprotektanlar çevresel stres koşulları altındaki pek çok bitkide hücrel osmotik düzenlemeyi olumlu yönde etkilemektedir (Rhodes ve Hanson, 1993). Bu nedenle eksogenler ve kuraklığın olumsuz etkilerini iyileştirerek bitki besin maddelerinin kullanımını artırmaktadır (Yavaş ve ark., 2016).

Kurak koşullarda yapılan tarımsal üretimde tane gelişimi için gerekli bitki besin elementlerinin alınımı azaldığı için gübreleme yapılması ve toprakta bulunan bitki besin maddelerinin hareketliliği oldukça önemlidir. Bu çalışma, çiftçi koşullarında I. ürün mısır yetiştiriciliğinde farklı eksogen uygulamalarının mısır verimine ve azot etkinliği üzerine olan etkilerini belirlemek için yapılmıştır.

## **2. Materyal ve Metot**

### **2.1. Materyal**

Çalışmada; iki atdışi melez mısır çeşidi (P.2088 ve Sancia) ve 5 eksogen (glisin-betain, prolin, salisilik asit, silikon ve sitokinin) kullanılmıştır.

## 2.2. Araştırma Yerinin Toprak Özellikleri

Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Araştırma İstasyonundan deneme alanının toprak özelliklerini belirlemek (2017 ve 2018 yılında) için ekim öncesi (0-30, 30-60 ve 60-90 cm) alınan toprak örneklerin analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri (2017-2018)

İncelenen Özellikler	Toprak derinliği (cm)					
	2017			2018		
	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90
Bünye (Bouyoucos, 1951)	Killi	Killi	Killi	Killi-tınlı	Killi-tınlı	Killi-tınlı
pH (Richards, 1954)	7,61	7,56	7,68	7,80	7,85	7,92
Toplam tuz (%) (Richards, 1954)	0,045	0,035	0,030	0,0190	0,0185	0,0225
Toplam kireç (%) (Richards, 1954)	23,11	24,65	23,35	25,74	26,60	23,64
Organik madde (%) (Nelson ve Sommers, 1996)	3,55	1,96	2,62	1,54	1,13	1,05
Alınabilir potasyum (kg da <sup>-1</sup> ) (Sumner ve Miller, 1996)	700,7	566,7	527,5	1199	1021	947
Alınabilir fosfor (kg da <sup>-1</sup> ) (Olsen ve Sommers, 1983)	23,79	5,87	10,08	10,01	6,56	3,69

## 2.3. Araştırma Yerinin İklim Özellikleri

2017 yılında mısır bitkisi 6 yaprak dönemine kadar maksimum sıcaklık ortalaması 29,01°C, minimum sıcaklık ortalaması 15,46 °C, toplam yağış 57,60 mm olmuştur. V6 dönemi ile tepe püskülü dönemi arasında maksimum sıcaklık ortalaması 31,71°C, min. sıcaklık ortalaması 19,62 °C, yağış toplamı 22,00 mm olmuştur. Tepe püskülü ile dane büyüme dönemi arasında maksimum sıcaklık ortalaması 36,51°C, minimum sıcaklık ortalaması 21,96 °C, yağış düşmemiştir. Dane büyüme ile fizyolojik olgunlaşma dönemi arasında maksimum sıcaklık ortalaması 36,20 °C, minimum sıcaklık ortalaması 23,90 °C, yağış düşmemiştir.

2018 yılında ekim dönemi ile V6 yaprak arasında maksimum sıcaklık ortalaması 28,48 °C, minimum sıcaklık ortalaması 14,12 °C, yağış toplamı 64,20 mm olarak bulunmuştur. V6 dönemi ile tepe püskülü dönemi maksimum sıcaklık ortalaması 32,47 °C, minimum sıcaklık ortalaması 18,80 °C, yağış toplamı 20,40 mm olmuştur. Tepe püskülü ile dane büyüme dönemi arasında maksimum sıcaklık ortalaması 31,71°C, minimum sıcaklık ortalaması 20,45 °C ve yağış 27,20 mm olmuştur. Dane büyüme ile



fizyolojik olgunlaşma dönemi arasında maksimum sıcaklık ortalaması 33,67 °C, min. sıcaklık ortalaması 23,32 °C ve yağış ise gerçekleşmemiştir.

## 2.4. Metot

### 2.4.1. Tarla Denemelerinin Yürütülmesi

Mısır çeşitleri; ana ürün olarak birinci deneme yılında 26.04.2017 ve ikinci deneme yılında ise 06.04.2018 tarihinde ekilmiştir. Parsel alanı 0.7mx4 sıra5m = 14 m<sup>2</sup> olup her parselde 100 bitki olması sağlanmıştır. 8 kg N da<sup>-1</sup>, 8 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> da<sup>-1</sup>, ve 8 kg K<sub>2</sub>O da<sup>-1</sup> gübre 15-15-15 kompoze gübresinden ekim öncesi toprağa uygulanmıştır. Bitkiler 50-60 cm boyuna geldiğinde, kalan N üst gübre olarak (35 kg N da<sup>-1</sup> göre) üre gübresinden verilmiştir. Düzenli olarak toprak tarla kapasitesine ulaşana kadar yağmurlama sulama yapılmıştır. Ayrıca boğaz doldurma ve çapa işlemleri yapılmıştır. Eksogen uygulamaları, bitkiler altı yaprak (V6) ve tepe püskülü çıkış dönemine ulaştığında Tablo 2’de verilen dozlarda bitkilere püskürtülerek uygulanmıştır.

**Tablo 2.** Yapraklara püskürtülerek uygulanan eksogenler ve konsantrasyonları

Eksogenler	Konsantrasyonlar
Glisin-betain (Miri ve Armin, 2013)	150 ppm
Prolin (Hassan ve ark., 2015)	100 mM
Salisilik Asit (Ahmad ve ark., 2014)	40 mg L <sup>-1</sup>
Silikon (Salim, 2014)	500 ppm
Sitokinin (Aker ve ark.,2014)	150 mg L <sup>-1</sup>

mM: milimol

## 2.5. Araştırmada incelenen morfolojik ve agronomik özellikler

### 2.5.1. Klorofil yoğunluğu

Yaprakların klorofil ölçümü çiçeklenme döneminde SPAD-502 Plus modeli (Konica Minolta, Osaka, Japan) ile her parseli temsil edecek 10 bitkinin koçan yapraklarında sabah saat 9:00-11:00 aralığında ve çiçeklenme döneminden sonra 10., 15., 20., 25. ve 30. günlerde yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

### 2.5.2. Kavuz verimi, sömek verimi ve sap+yaprak verimi (kg da<sup>-1</sup>)

Her parselin orta iki sırasında 0,5 m kenar tesiri bırakılarak 4 metrede bulunan bitkiler elle hasat edilip kavuz, sömek, sap+yaprak kısımları ayrı ayrı kurutularak (60 °C’de), kuru ağırlık esaslı üzerinden dekara kuru madde miktarı hesaplanmıştır.

### **2.5.3. Dane Verimi (kg da<sup>-1</sup>)**

Uygulama parsellerinin orta iki sırasında 0,5 m kenar tesiri bırakılarak geriye kalan bitkilerdeki koçanlar toplandıktan sonra anelenmiş ve parsellerin dane ağırlıkları belirlenmiştir. Dane nemi %15 olacak şekilde verim (kg da<sup>-1</sup>) hesaplanmıştır (Ülger, 1986).

### **2.5.4. Örneklemelerdeki N hesaplaması (%)**

Her parselin orta iki sırasında 0,5 m kenar tesiri bırakılarak 4 metrede bulunan bitkiler elle hasat edilip kavuz, sömek, sap+yaprak kısımları ayrı ayrı kurutulan örneklerde azot değerleri NIRFlex N-500 (Büchi Labortechnik AG, Flawil, Switzerland) cihazında yapılan okumalarla elde edilmiştir.

### **2.5.5. Kaldırılan azot miktarı (kg N da<sup>-1</sup>)**

Alınan örnekler kurutulduktan sonra öğütme işlemleri yapılarak total N içeriği belirlenmiştir. Daha sonra kuru ağırlık miktarı ile total azotun çarpılmasıyla dekara kaldırılan azot miktarı hesaplanmıştır.

### **2.5.6. Azot Hasat İndeksi (AHI, %)**

Tane ile kaldırılan N (kg da<sup>-1</sup>)/Tane dahil toprak üstü aksamınca kaldırılan toplam azot (kg N da<sup>-1</sup>) formülüne göre hesaplanmıştır (Moll ve ark., 1982; Mengel, 1991).

### **2.5.7. Azot Kullanım Etkinliği (Tane verimi/Uygulanan N dozu)**

Hasattan sonra elde edilen tane veriminin, uygulanan azot dozlarına oranlanmasıyla hesaplanmıştır (Moll ve ark., 1982; Mengel, 1991).

### **2.5.8. Azottan Yararlanma Etkinliği (Tane verimi (kg da<sup>-1</sup>)/Toprak üstü aksamınca kaldırılan azot (kg N da<sup>-1</sup>))**

Tane veriminin, toprak üstü aksamınca kaldırılan azota oranlanmasıyla hesaplanmıştır (Moll ve ark., 1982; Mengel, 1991).

### **2.5.9. Azot Alım Etkinliği (Toprak üstü aksamca kaldırılan N (kg da<sup>-1</sup>)/Uygulanan azot dozu (kg da<sup>-1</sup>))**

Örneklerin alındığı dönemlerde toprak üstü aksamınca kaldırılan azotun, uygulanan azot dozlarına oranlanmasıyla hesaplanmıştır (Moll ve ark., 1982; Mengel, 1991).

## **2.6. Verilerin İstatistiksel Analizi**

Denemede elde edilen verilerin istatistiksel analizleri yıllar içinde birleştirilmiş iki faktörlü tesadüf blokları deneme desenine göre MSTAT-C paket programında yapılmıştır. İstatistiksel analizlerin ortalamalarının karşılaştırılmasında Duncan çoklu testi kullanılmıştır.

### **3. Bulgular ve Tartışma**

#### **3.1. Araştırma alanına ait toprak özellikleri**

Tablo 1 incelendiğinde; toprak killi ve killi tınlı bünyeli, hafif alkali (Ülgen ve Yurtsever, 1995), tuzsuz (Richards, 1954), fazla kireçli (Hızalan ve Ünal, 1966), ilk yıl deneme yürütülen alanın organik madde miktarı genel olarak yeterli ama ikinci yıl yürütülen deneme alanının organik madde düzeyi yetersiz bulunmuştur (Nelson ve Sommers, 1996). Toprakların yararlı potasyum içeriği yüksek (Sumner ve Miller, 1996), fosforca zengin olduğu belirlenmiştir (Olsen ve Sommers, 1983).

#### **3.2. Eksogen uygulamalarının SPAD okuma değerleri**

Vejetasyon dönemi süresince farklı dönemlerde ölçülen SPAD okuma değerleri Tablo 3'te verilmiştir. SPAD okuma değerleri sırasıyla; 49,068-55,772; 45,300-55,527; 39,382-49,515; 33,738-45,987 ve 26,797-38,103 arasında değişmiştir. SPAD-5 okuma değerleri olgunlaşma döneminde okuma yapıldığı için diğer dönemlere göre tüm uygulamalarda en düşük ölçülmüştür. Bunun nedeni olarak bitki fizyolojik olgunluğa eriştiği için klorofil miktarının düşmesinden kaynaklanmaktadır (Sripathy ve Groot, 2023; Subedi ve Ma, 2005). İstatistiksel olarak çeşit ortalamaları dört dönem SPAD okuma değerlerinde çeşit ortalamaları birinci dönemde 0,05 diğer üç dönemde 0,01 düzeyinde önemli bulunmuştur. Tüm okuma dönemlerinde en yüksek SPAD okuma değerleri Sancia çeşidinde elde edildiğinden klorofil düzeyinin yüksek olduğu ve topraktan azotu diğer çeşide göre daha iyi kullandığı söylenebilmektedir.

Eksogen uygulamalarının ve eksogen çeşit interaksyonu istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Benzer bir çalışmada kişnişte glisin uygulamasının yaprakta SPAD değerini artırdığını (Mohammadipour ve Sourı, 2019a) diğer bir çalışmada ise farklı amino asit uygulamalarının bitki boyu, yaprak SPAD değeri, kök kuru ağırlığı ve N, K, Ca, Mg ve Zn yaprak konsantrasyonları üzerinde önemli bir etkisi olmadığını bildirmişlerdir Mohammadipour ve Sourı, 2019b). Mısır bitkisinde eksogen uygulamasının net fotosentezi, gaz değişim özelliklerini, yani stoma iletkenliği (Gs), hücreler arası CO<sub>2</sub> konsantrasyonu (Ci) ve terleme hızı (Tr) ve SPAD değerleri gibi değişkenleri olumlu yönde etkilediğini bildirmişlerdir (Li ve ark., 2016).

#### **3.3. Eksogen uygulamalarının kaldırılan N miktarına etkisi**

Farklı eksogen uygulamalarının mısır bitkisinin farklı aksamaları tarafından topraktan kaldırılan N miktarı ve hasat indeksi değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Her ne kadar SPAD okuma değeri Sancia çeşidinde daha yüksek olmasına rağmen kuru madde üretimi P.2088 çeşidinde daha yüksek olduğundan tane ile kaldırılan N (23,606 kg da<sup>-1</sup>) ve toplam kaldırılan N miktarı (26,324 kg da<sup>-1</sup>) daha yüksek elde edilmiştir. İstatistiksel olarak 0,05 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Mısır çeşitlerine eksogen uygulamalarının etkisi önemli bulunmamıştır. Tane ile ve kaldırılan N miktarı en yüksek düzeyde Glisin-betain ve Silikon uygulamalarından (sırasıyla 24,733 ve 23,645 kg da<sup>-1</sup>) elde edilmiştir. Toplam kaldırılan N olarak 27,122 kg da<sup>-1</sup> ile Glisin-betain uygulamasında elde edilmiştir. Eksogen uygulamalarının topraktan kaldırılan N miktarını etkilediğinden hasat indeksi de istatistiksel olarak 0,01 düzeyinde etkilenmiş olup, Glisin-betain ve Silikon uygulamalarında en yüksek hasat indeksi (sırasıyla 0,902 ve 0,905) değerleri elde edilmiştir. Benzer bir çalışmada mısır bitkisi tarafından kaldırılan azot ile sap ve dane verimi arasında önemli ilişkilerin olduğunu bildirmişlerdir (Koca ve İbrikçi, 2019). ÇeşitxEksogen interaksyonunu incelendiğinde hasat indeksi (0,05) istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

**Tablo 3.** Mısır bitkisinde farklı eksogen uygulamalarının SPAD okuma değerlerine etkisi

Çeşitler	Uygulamalar	SPAD-1	SPAD-2	SPAD-3	SPAD-4	SPAD-5
P.2088	Kontrol	51,095	49,098	43,393	40,045	34,327
P.2088	Glisin-betain	51,672	50,273	42,845	35,598	32,188
P.2088	Prolin	49,370	45,300	42,187	36,298	30,732
P.2088	Salisilik asit	52,865	50,408	42,293	33,738	30,800
P.2088	Silikon	50,432	49,960	390862	37,963	33,628
P.2088	Sitokinin	50,338	48,962	42,382	37,048	29,837
Sancia	Kontrol	49,068	49,815	410683	40,467	27,470
Sancia	Glisin-betain	55,682	54,405	460372	44,347	32,930
Sancia	Prolin	49,967	51,015	44,125	45,198	38,103
Sancia	Salisilik asit	52,218	55,327	49,515	43,793	33,363
Sancia	Silikon	55,772	53,880	48,875	45,987	26,797
Sancia	Sitokinin	55,362	55,527	48,412	42,318	33,532
Çeşit ort.	P.2088	50,962 B	49,000 B	42,160 B	36,782 B	31,919
	Sancia	53,011 A	53,328 A	46,497 A	43,685 A	32,032
Eksogen ort.	Kontrol	50,082	49,457	42,538	40,256	30,898
	Glisin-betain	53,677	52,339	44,608	39,973	32,559
	Prolin	49,668	48,157	43,156	40,748	34,418
	Salisilik Asit	52,542	52,868	45,904	38,766	32,082
	Silikon	53,102	51,920	44,368	41,975	30,213
	Sitokinin	52,850	52,244	45,397	39,683	31,684
F Test <sup>+</sup>						
A		*	**	**	**	ÖD
B		ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD
AxB		ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD
CV (%)		7,78	8,58	15,31	17,63	23,09

\*: 0,05 düzeyinde önemli, \*\*: 0,01 düzeyinde önemli, ÖD: önemli değil

+: A (çeşit), B (eksogen) ve AXB (çeşitxEksogen) interaksyonu göstermektedir.

### 3.4. Azot Kullanım, Azot Alım ve Azottan Yararlanma Etkinliği

Çeşitler azot kullanım etkinliği (NKE) yönünden istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Ama azot alım etkinliği (NAE) yönünden istatistiksel olarak 0,05 düzeyinde önemli iken, azottan yararlanma etkinliği (NYE) istatistiksel olarak 0,01 düzeyinde önemli bulunmuştur. Eksogen uygulamaları NKE üzerinde istatistiksel olarak 0,05 düzeyinde etkilenmiştir. NAE ve NYE üzerinde istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Tablo 5).

Çeşitli Eksogen interaksyonu incelendiğinde NKE, NAE ve NYE istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Topraktaki azotun düşük çıkmasının nedeni olarak azotun hızlı bir şekilde ve sürekli değişime uğraması, bitkinin gelişiminde önemli rol oynaması, kalite ve verimi sınırlayıcı özellikte olması, bitki tarafından en çok kullanılan ve etkili bir element olması gibi birkaç önemli nedeni (Özbek ve ark., 1993) olduğundan eksogen uygulamalarının mısır bitkisinin azot elementini kullanma, alım etkinliğini, N asimilasyonunu ve antioksidan metabolizmasını olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir (Khan ve ark., 2013).

**Tablo 4.** Farklı eksogen uygulamalarının mısır bitkisinin farklı aksamaları tarafından topraktan kaldırılan azot ve hasat indeksine etkisi

Çeşitler	Uygulamalar	Tane ile Kaldırılan N	Vegetatif aksam ile kaldırılan N	Generatif aksam ile kaldırılan N	Toplam Kaldırılan N	Azot hasat indeksi
				kg da <sup>-1</sup>		
P.2088	Kontrol	23,594	0,962	1,309	25,865	0,903 a
P.2088	Glisin-betain	25,876	1,040	1,505	28,423	0,901 a
P.2088	Prolin	22,943	0,995	1,568	25,505	0,900 a
P.2088	Salisilik Asit	21,620	1,124	1,356	24,100	0,874 d
P.2088	Silikon	24,935	0,902	1,479	28,983	0,902 a
P.2088	Sitokinin	22,667	0,815	1,586	25,069	0,894 abc
Sancia	Kontrol	20,775	1,074	1,371	23,220	0,895 ab
Sancia	Glisin-betain	23,590	0,874	1,356	25,821	0,902 a
Sancia	Prolin	20,028	1,098	1,456	22,582	0,878 cd
Sancia	Salisilik Asit	21,147	0,895	1,337	23,380	0,881 bcd
Sancia	Silikon	22,356	0,856	1,337	24,549	0,908 a
Sancia	Sitokinin	23,219	1,037	1,401	25,157	0,902 a
Çeşit ortalama	P.2088	23,606A	0,973	1,467	26,324A	0,896
	Sancia	21,853B	0,972	1,377	24,118B	0,894
Eksogen ortalama	Kontrol	22,185	1,018	1,340	24,543	0,899 AB
	Glisin-betain	24,733	0,958	1,431	27,122	0,902 A
	Prolin	21,486	1,046	1,512	24,043	0,889 B
	Salisilik Asit	21,384	1,010	1,347	23,740	0,878 C
	Silikon	23,645	0,879	1,408	26,766	0,905 A
	Sitokinin	22,943	0,926	1,493	25,113	0,898 AB
F Test <sup>+</sup>						
A		*	ÖD	ÖD	**	ÖD
B		ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	**
AxB		ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	*
CV (%)		13,34	21,66	13,82	12,82	1,37

\*: 0,05 düzeyinde önemli, \*\*: 0,01 düzeyinde önemli, ÖD: önemli değil

+: A (çeşit), B (eksogen) ve AXB (çeşitxeksogen) interaksyonu göstermektedir.

**Tablo 5.** Mısır çeşitlerine uygulanan farklı eksogenlerin azot kullanım, azot yararlanma ve azot alım etkinliklerine etkisi

Çeşitler	Uygulamalar	NKE	NAE	NYE
P.2088	Kontrol	46,455	0,740	62,135
P.2088	Glisin-betain	50,692	0,812	62,360
P.2088	Prolin	45,525	0,728	62,808
P.2088	Salisilik Asit	42,362	0,688	60,245
P.2088	Silikon	49,043	0,780	62,255
P.2088	Sitokinin	45,657	0,717	62,955
Sancia	Kontrol	42,347	0,665	63,977
Sancia	Glisin-betain	49,222	0,740	66,248

Sancia	Prolin	41,063	0,645	63,140
Sancia	Salisilik Asit	43,167	0,668	63,178
Sancia	Silikon	46,450	0,703	66,233
Sancia	Sitokinin	46,697	0,733	63,798
Çeşit Ort.	P.2088	46,622	0,744 A	62,126 B
	Sancia	44,824	0,692 B	64,429 A
Eksogen Ortalama	Kontrol	44,401 B	0,703	63,056
	Glisin-betain	49,957 A	0,776	64,304
	Prolin	43,294 B	0,687	62,974
	Salisilik Asit	42,764 B	0,678	61,712
	Silikon	47,747 AB	0,742	64,244
	Sitokinin	46,177 AB	0,725	63,377
F Test <sup>+</sup>				
A		ÖD	*	**
B		*	ÖD	ÖD
AxB		ÖD	ÖD	ÖD
CV (%)		12,20	12,17	4,30

\*: 0,05 düzeyinde önemli, \*\*: 0,01 düzeyinde önemli, ÖD: önemli değil

+: A (çeşit), B (eksogen) ve AXB (çeşitxeksogen) interaksyonu göstermektedir.

### 3.5. Eksogen uygulamalarının total azot ve kuru ağırlık üzerine etkisi

Sap+yaprak ve kavuz örneklerinde yapılan total N ve kuru ağırlıklar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Sömek örneklerinde ölçülen total N çeşitler için 0,05 düzeyinde önemli bulunmuştur. En yüksek azot içeriği 0,74 ile P.2088 çeşidinde elde edilmiştir. Kuru ağırlık ölçümleri yine aynı çeşitte 65,7 kg da<sup>-1</sup> ile elde edilirken istatistiki olarak 0,05 düzeyinde önemli bulunmuştur. Tane örneklerinde total N çeşitler için istatistiksel olarak 0,01 düzeyinde önemli olmuştur. Tane örneklerinde total N analizi 1,47 ile P.2088 çeşidinden elde edilmiştir.

Eksogen uygulamalarının ortalaması incelendiğinde, Glisin-betain uygulaması ile 1749,4 kg da<sup>-1</sup> ile en yüksek verim elde edilmiş, istatistiksel olarak eksogen uygulamaları verimi 0,05 düzeyinde etkilemiştir (Tablo 6).

Glisin-betain uygulaması ile kontrol uygulaması arasında %12,5'lik dane veriminde artış sağlanmıştır (Tablo 6). Eksogen uygulamasının mısır bitkisinde kuru madde üretimini ve mineral iyon dağılımını artırabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca, ozmotik düzenleme, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin ön işleme tabi tutulmasıyla mısır yapraklarının bakır toksisitesinin hafifletilmesinde rol oynadığını (Guzel ve Terzi, 2013), mısır bitkisinde yapılan diğer bir çalışmada eksogen uygulamalarının 14 günlük mısır yapraklarının kök ve yaprak biyokütlesinde artışlar meydana geldiğini belirtmişlerdir (Mocquot ve ark., 1996).

**Tablo 6.** Mısır çeşitlerine uygulanan farklı eksogenlerin total azot ve kuru ağırlık üzerine etkisi

		Sap+yaprak		Kavuz		Sömek		Tane	
		Total N	Kuru ağırlık	Total N	Kuru ağırlık	Total N	Kuru ağırlık	Total N	Verim
		%	kg da <sup>-1</sup>	%	kg da <sup>-1</sup>	%	kg da <sup>-1</sup>	%	kg da <sup>-1</sup>
P.2088	Kontrol	1,03	92,4	0,97	86,9	0,70	62,8	1,48	1625,9
P.2088	Glisin-betain	1,07	95,6	1,04	92,8	0,77	68,4	1,48	1776,0
P.2088	Prolin	1,03	92,2	1,06	95,0	0,76	67,8	1,46	1593,4

P.2088	Salisilik Asit	1,11	99,1	0,99	88,2	0,72	64,6	1,49	1482,6
P.2088	Silikon	1,00	89,1	1,06	94,3	0,72	64,4	1,46	1716,5
P.2088	Sitokinin	0,95	85,1	1,09	97,2	0,74	66,2	1,44	1598,0
Sancia	Kontrol	1,09	97,6	1,02	91,2	0,69	61,9	1,40	1482,0
Sancia	Glisin-betain	0,99	88,1	1,01	90,2	0,70	62,2	1,38	1722,8
Sancia	Prolin	1,10	98,4	1,05	93,6	0,71	63,4	1,41	1437,2
Sancia	Salisilik Asit	1,00	89,1	0,98	87,5	0,72	64,3	1,42	1510,8
Sancia	Silikon	0,98	87,2	1,00	89,0	0,70	62,2	1,38	1625,7
Sancia	Sitokinin	1,07	95,3	1,02	91,2	0,71	63,5	1,42	1634,3
Çeşit Ort.	P.2088	1,03	92,3	1,04	92,4	0,74A	65,7A	1,47 A	1632,9
	Sancia	1,04	92,6	1,01	90,4	0,70B	62,9 B	1,40 B	1568,8
Eksogen Ort.	Kontrol	1,06	95,0	1,00	89,1	0,70	62,3	1,44	1554,0 B
	Glisin-betain	1,03	91,9	1,02	91,5	0,73	65,3	1,43	1749,4 A
	Prolin	1,07	95,3	1,06	94,3	0,73	65,6	1,43	1515,3 B
	Salisilik Asit	1,05	94,1	0,98	87,9	0,72	64,4	1,46	1496,7 B
	Silikon	0,99	88,8	1,03	91,7	0,71	63,3	1,42	1671,2 AB
	Sitokinin	1,01	90,2	1,06	94,2	0,73	64,9	1,43	1616,2 AB
F Test <sup>+</sup>									
A		ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	*	*	**	ÖD
B		ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	*
AxB		ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD	ÖD
CV (%)		10,26	10,29	9,47	9,44	7,53	7,51	4,60	12,20

\*: 0,05 düzeyinde önemli, \*\*: 0,01 düzeyinde önemli, ÖD: önemli değil

+: A (çeşit), B (eksogen) ve AXB (çeşitxeksogen) interaksyonu göstermektedir.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Çiftçi koşullarında farklı eksogen uygulamalarının, mısır çeşitlerinin farklı aksamaları tarafından azot kullanım etkinliği, azot alım etkinliği, azottan yararlanma etkinliği, verim, total azot, kuru ağırlık, topraktan kaldırılan azot, SPAD okuma ve hasat indeksi üzerine etkileri incelenmiştir. Mısır çeşitlerinin SPAD okuma değerleri, NAE ve NYE bakımından eksogen uygulamalarından etkilendiği belirlenmiştir. Eksogen uygulamasının NKE ve verim üzerine olumlu etkisi olduğu ama eksogen uygulamasının çeşitlerin sömekte incelenen total N ve kuru ağırlık üzerine olan etkisinin önemli olduğu ve tanedeki N miktarını etkilediği belirlenmiştir. Bu bulgulara göre, Çukurova koşullarında ana ürün mısır yetiştiriciliğinde eksogen uygulamalarının çeşitlere göre farklılık göstermekle birlikte bitkiler azotu NKE, NAE, NYE yönünden gelişmeyi teşvik ettiği görülmüştür. Bu nedenle azotlu gübrelerin bitkiler tarafından kullanımını artırmak için eksogen uygulamasının mısır üretiminde ek olarak yararlı olabileceği sonucuna varılmıştır. Kontrol uygulamasına göre her iki çeşitte Glisin-betain uygulamasının verim ve azot kullanım etkinliği olarak en yüksek değerleri elde edilmesini sağlamıştır.

#### 5. Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

#### 6. Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

## 7. Kaynaklar

- Ahmad I., Basra SMA., Wahid A. Exogenous application of ascorbic acid, salicylic acid and hydrogen peroxide improves the productivity of hybrid maize at low temperature stress. *International Journal of Agriculture & Biology* 2014; 16(4): 825-830.
- Akter N., Islam MR., Karim MA., Hossain T. Alleviation of drought stress in maize by exogenous application of gibberellic acid and cytokinin. *Journal of Crop Science and Biotechnology* 2014; 17(1): 41-48.
- Ayyar S., Appavoo S., Basker M., Pandiyarajan P., Kavimani R. Effect of zinc and microbial inoculation on soil enzyme activities for maize (*Zea mays L.*) in black soil. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 2019; 8(8): 1804-1814.
- Bouyoucos GJ. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal* 1951; 43(9): 434-438.
- FAO. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. 2020. Erişim tarihi:22/06/2022
- Folina A., Tataridas A., Mavroeidis A., Kousta A., Katsenios N., Efthimiadou A., Travlos IS., Roussis I., Darawsheh MK., Papastylianou P., Kakabouki I. Evaluation of various nitrogen indices in N-Fertilizers with inhibitors in field crops: A review. *Agronomy* 2021; 11(3): 418
- Galindo FS., Pagliari PH., Rodrigues WL., de Azambuja Pereira MR., Buzetti S., Teixeira Filho MCM. Investigation of *Azospirillum brasilense* inoculation and silicon application on corn yield responses. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 2020; 20(4): 2406-2418.
- Guzel S., Terzi R. Exogenous hydrogen peroxide increases dry matter production, mineral content and level of osmotic solutes in young maize leaves and alleviates deleterious effects of copper stress. *Botanical Studies* 2013; 54(1): 1-10.
- Hassan NM., Ebeed HT., Al-Jarany CM. Effectiveness of seed priming with polyamines in decreasing drought stress adversities in two wheat cultivars. *Scientific Journal for Damietta Faculty of Science* 2015; 5(1): 124-134.
- Hızalan E., Ünal H. Topraklarda önemli kimyasal analizler. A. Ü. Ziraat Fak, Yayınları 1966; 278.
- Khan MIR., Iqbal N., Masood A., Per TS., Khan NA. Salicylic acid alleviates adverse effects of heat stress on photosynthesis through changes in proline production and ethylene formation. *Plant Signaling & Behavior* 2013; 8(11): e26374.
- Koca G., İbrikçi H. Çukurova koşullarında mısır bitkisinde bitkide azot ve verim ilişkileri. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi* 2019; 34(2): 119-125.
- Li W., Liu J., Ashraf U., Li G., Li Y., Lu W., Gao L., Han F., Hu, J. Exogenous  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA) application improved early growth, net photosynthesis, and associated physio-biochemical events in maize. *Frontiers in Plant Science* 2016; 7: 919.
- Martinez-Beltran J., Manzur CL. Overview of salinity problems in the world and FAO strategies to address the problem. In: *Proceedings of the International Salinity Forum, Riverside, California* 2005; 311-313.



- Mengel K. Available nitrogen in soils and its determination by the 'Nmin-method' and by electroultrafiltration (EUF). *Fertilizer Research* 1991; 28: 251-262.
- Miri HR., Armin M. The interaction effect of drought and exogenous application of glycine betaine on corn (*Zea mays L.*). *European Journal of Experimental Biology* 2013; 3(5): 197-206.
- Mocquot B, Vangronsveld J, Clijsters H, Mench M. Copper toxicity in young maize (*Zea mays L.*) plants: effects on growth, mineral and chlorophyll contents, and enzyme activities. *Plant and Soil* 1996; 182: 287-300.
- Mohammadipour N., Souri MK. Effects of different levels of glycine in the nutrient solution on the growth, nutrient composition, and antioxidant activity of coriander (*Coriandrum sativum L.*). *Acta Agrobotanica* 2019a; 72(1): 1759.
- Mohammadipour N., Souri MK. Beneficial effects of glycine on growth and leaf nutrient concentrations of coriander (*Coriandrum sativum*) plants. *Journal of Plant Nutrition* 2019b; 42(14): 1637-1644.
- Moll RH., Kamprath EJ., Jackson WA. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal* 1982; 74(3): 562-564.
- Mrid RB., Benmrid B., Hafsa J., Boukcim H., Sobeh M., Yasri A. Secondary metabolites as biostimulant and bioprotectant agents: A review. *Science of the Total Environment* 2021; 777: 146204.
- Nelson DW., Sommers LE. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Sparks DL., Page AL., Helmke PA., Loeppert RH., Soltanpour PN., Tabatabai MA., Johnson CT., Sumner ME. (eds) *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*, 5.3, SSSA Book Series 1996; 961-1010.
- Olsen SR., Sommers LE. Phosphorus. In: Page AL., Miller RH., Keeney DR. (eds) *Methods of Soil Analyses: Part 2 Chemical and Microbiological Properties* 1983; 403-430.
- Özbek H., Kaya Z., Gök M., Kaptan H. *Toprak Bilimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Yayın No:73 Adana* 1993, 816s.
- Rhodes D., Hanson AD. Quarternary ammonium and tertiary sulfonium compounds in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology & Plant Molecular Biology* 1993; 44: 357-384.
- Richards LA. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Soil Science* 1954; 78(2): 154p.
- Salim BBM. Effect of boron and silicon on alleviating salt stress in maize. *Middle East Journal of Agriculture Research* 2014; 3(4): 1196-1204.
- Singh B. Are nitrogen fertilizers deleterious to soil health? *Agronomy* 2018; 8(4): 48.
- Sripathy KV., Groot SPC. Seed development and maturation. In: Dadlani M., Yadava DK. (eds) *Seed Science and Technology* Springer, Singapore 2023.
- Subedi KD., Ma BL. Nitrogen uptake and partitioning in stay-green and leafy maize hybrids. *Crop Science* 2005; 45(2): 740-747.

- Sumner ME., Miller WP. Cation exchange capacity and exchange coefficients. *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*, 5.3, SSSA Book Series 1996; 1201-1230.
- Tian X., He M., Wang, Z., Zhang J., Song Y., He Z., Dong Y. Application of nitric oxide and calcium nitrate enhances tolerance of wheat seedlings to salt stress. *Plant Growth Regulation* 2015; 77, 343-356.
- Ülgen N., Yurtsever N. Türkiye gübre ve gübreleme rehberi (4. Baskı). TC Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın, 1995; 209: 230.
- Ülger AC. Reaktion verschiedener mais-inzuchtlinien und-hybriden auf steigendes stickstoffangebot. Dissertation, University of Hohenheim Stuttgart, Germany 1986.
- Yavaş İ., Akgül HN., Ünay A. Bitkilerin kuraklığa dayanıklılığını artırmaya yönelik uygulamalar. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2016; 4(1): 48-57.

## Nano Boyutta Kalay ve Sodyum Katkılı Bi-2212 Süperiletken Sisteminde Elektriksel Özelliklerin Matematiksel Formülasyonlarının Elde Edilmesi

Mehmet Ersin AYTEKİN<sup>1\*</sup>, Ali YÜCE<sup>2</sup>, Berdan ÖZKURT<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tarsus Üniversitesi Mersin Tarsus OSB Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Elektronik ve Otomasyon Anabilim Dalı, Mekatronik Bölümü, 33100, Mersin

<sup>2</sup>Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Malatya

<sup>3</sup>Tarsus Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Temel Bilimleri Bölümü, 33400, Mersin

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-0731-2034>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-4642-6272>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-7837-9773>

\*Sorumlu yazar: mehmetaytekin@tarsus.edu.tr

### Araştırma Makalesi

### ÖZ

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 14.09.2022

Kabul tarihi:20.03.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Bi-2212

Süperiletkenlik geçiş sıcaklığı

Eğri uydurma

Özdirenç

Sunulan çalışmada, sodyum katkılı Bi-2212 süperiletken sisteminde stronsiyum sitelere nano boyutta kalay katkısının etkisi araştırılmıştır. Katı hal tepkime yöntemi kullanılarak üretilen süperiletken örnekler X-ışını kırınım analizi (XRD) ve özdirenç sıcaklık ölçümleri ( $\rho$ -T) ile karakterize edildi. Bunun yanında, özdirenç sıcaklık grafiğinden elde edilen veriler kullanılarak, nano boyutta kalay katkılama oranı ve süperiletkenlik geçiş sıcaklığı arasında teoriksel ilişki elde edildi. XRD ölçümü ile yapılan faz analizlerinde bazı safsızlık fazlarının oluşmasına rağmen tüm örneklerde temel faz yapısının Bi-2212 yüksek sıcaklık fazının olduğu tespit edildi. Özdirenç sıcaklık grafiğinden elde edilen bulgularda tüm örneklerin süperiletken davranış sergilediği gözlemlendi. Deneysel çalışma sonucunda, 0.05 oranında nano boyutta kalay katkısı içeren örnek diğer örnekler ile karşılaştırıldığında daha iyi süperiletkenlik özelliklere sahip olduğu belirlendi. Diğer taraftan, Matematiksel formülasyonların elde edilmesi işlemi Matlab ortamında eğri uydurma aracı kullanılarak gerçekleştirildi. Elde edilen matematiksel formülasyonlardan yararlanarak 0.682 oranında nano boyutta kalay katkısının optimum süperiletkenlik özelliklerini sağlayabileceği teoriksel olarak belirlendi.

## Obtaining Mathematical Formulations of Electrical Properties in Nanosized Tin and Sodium Doped Bi-2212 Superconductor System

### Research Article

### ABSTRACT

#### Article History:

Received: 14.09.2022

Accepted: 20.03.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Bi-2212

Superconductivity transition

Temperature

Curve fitting

Resistivity

In the presented study, the effect of nano-sized tin doping on strontium sites in the sodium-doped Bi-2212 superconductor system was investigated. Superconducting samples produced using the solid-state reaction method were characterized by X-ray diffraction analysis (XRD) and resistivity temperature measurements ( $\rho$ -T). In addition, using the data obtained from the resistivity temperature graph, the theoretical relationship between the nanosized tin doping rate and the superconductivity transition temperature was obtained. Although some impurity phases were formed in the phase analyzes performed by XRD measurement, it was determined that the basic phase structure was Bi-2212 high temperature phase in all samples. In the findings obtained from the resistivity temperature graph, it was observed that all samples exhibited superconducting behavior. It was determined that the sample containing 0.05 nano size tin additive had better superconductivity properties compared to the other samples as a result of the experimental study. On the other hand, the mathematical formulations were obtained using the curve fitting tool in Matlab environment. Using the obtained mathematical formulations, it was theoretically determined that 0.682 nano-sized tin additives could provide optimum superconductivity properties.

**To Cite:** Aytekin ME., Yüce A., Özkurt B. Nano Boyutta Kalay ve Sodyum Katkılı Bi-2212 Süperiletken Sisteminde Elektriksel Özelliklerin Matematiksel Formülasyonlarının Elde Edilmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 1864-1877.

## 1. Giriş

Bilindiği gibi elektrik iletimi bakır kablolarla sağlanmaktadır. Bakır kabloların sahip olduğu iç dirençlerinden dolayı elektrik iletiminde kayıpların önlenmesi için elektrik enerjisi çok yüksek değerlere çıkarılmaktadır. Enerji santrallerinde üretilen elektrik enerjisi tüketicinin rahat bir şekilde kullanabilmesi için iletim kablolarında milyon volt değerlerine çıkartılarak üç fazlı alternatif (AC) gerilim olarak iletilmektedir. Enerji santrallerinde üretilen elektrik enerjisini bu değerlere başarılı bir şekilde çıkarabilmek ve aynı zamanda tüketicinin kullanabileceği değerlere indirebilmek için trafo sistemlerinin kullanılması gereklidir. Elektrik enerjisinin milyon volt gibi çok yüksek değerlerde iletilmesi ve iletim hatlarında birçok birleşenlerin kullanılması hem maliyeti arttırmaktadır hem de enerji verimliliğini azaltmaktadır. Elektrik iletiminde var olan bu problemler enerjinin kayıpsız iletimini sağlayan süperiletken malzemelerin kullanımı ile çözülebilir. Böylece iletim hatlarında sıfır dirence sahip süperiletkenlerin kullanılması ile elektrik enerjisinde kayıplar ortadan kaldırılacağı için gerilimin çok yüksek değerlere çıkarılması gerekmemektedir. Süperiletkenlerin elektrik iletiminde kablo ya da tel olarak kullanılması ile elektrik iletimi AC gerilim yerine DC gerilim olarak sağlanabilir. Böylece gerilim yükseltici ve düşürücü bileşenlerin maliyetleri de ortadan kalkar. Süperiletken malzemeler teknolojiye enerji aktarımında kullanılmasının yanında sahip olduğu manyetik özelliklerden dolayı yüksek alan sahip mıknatıslarda (Hao ve ark., 2020), tıpta yüksek manyetik alan görüntüleme cihazlarında (Dogruer ve ark., 2022), parçacık hızlandırıcılarda ve manyetik sensör (Statra ve ark., 2022) sistemlerinde de kullanılmaktadır.

Süperiletkenler sıfır direnç ve kuvvetli diamanyetik gibi eşsiz özelliklere sahip olduğu için endüstriyel ve teknolojik uygulamalar için umut verici malzemelerdir. Süperiletken aileler arasında Bi tabanlı yüksek sıcaklık süperiletken malzemeler  $Bi_2Sr_2Ca_{n-1}Cu_nO_{2n+4+y}$  genel formülüne sahiptir ve formüldeki  $n$  (bakıroksit tabakaların sayısı) değerine göre üç farklı faz meydana gelir. Bu fazlar arasında  $n = 2$  için Bi-2212 yüksek sıcaklık süperiletken fazı yaklaşık olarak 85 K geçiş sıcaklığına sahiptir ve diğer fazlar ile karşılaştırıldığında yüksek faz kararlılığı ve kolay sentezlenmesi gibi avantajlara sahiptir (Akkurt ve ark., 2021). Bakır oksit tabakalar arasında diğer tabakaların yerleşmesiyle oluşan BSCCO süperiletken malzemeler kuvvetli anizotropik yapı, oldukça düşük taşıyıcı yük yoğunluğu, düşük koherens uzunluğu ve geniş nüfuz derinliğine sahiptir (Zaloğlu ve ark., 2012). Bunun yanında, taneler arası zayıf bağlantıların oluşması, zayıf akı çivileme kapasitesi ve seramik doğasından dolayı kırılgan yapıya sahip olması bizmut tabanlı yüksek sıcaklık süperiletkenlerin teknolojik uygulamalarda kullanılmasını sınırlayan faktörlerdir. BSCCO süperiletken malzemelerin elektrikselsel ve manyetik özelliklerini iyileştirebilmek için birçok strateji geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlisi tanecikselsel özelliklerin geliştirilmesidir. Literatürde, LFZ (Laser Floating Zone; Sotelo ve ark., 2009), sıcak presleme (Oner ve ark., 2022) ve yüksek peletizasyon basıncı (Aytekin ve ark., 2016) gibi teknikler daha düzgün tane yapılarının oluşumunda son derece faydalı metotlar arasındadır. BSCCO süperiletken sisteminde süperiletkenlik mekanizmasını anlamak ve temel özellikleri geliştirmek için bir başka faydalı yöntem ise malzeme içerisine farklı iyonik yarıçapta metalik element katılma ya da

ekleme yöntemidir. Literatürden görülmektedir ki, Ag, Li, K, Nb, Sb ve Pb gibi elementleri içeren çalışmalarda BSCCO süperiletken sistemin temel özelliklerinde son derece önemli gelişmeler elde edilmiştir (Khalil., 2001; Sözeri ve ark., 2007; Kocabaş ve ark., 2008; Sotelo ve ark., 2009; Tagipour ve ark., 2010; Tran ve ark., 2019; Shalabay ve ark., 2021).

Nanoteknolojide meydana gelen gelişmeler ile nano boyutta birçok malzeme sentezlendi. İyi bilinmektedir ki, nano boyutta parçacıklar makro boyutta malzemeler ile karşılaştırıldığında yüzeylerinde daha yüksek oranda atom yerleşmiştir. Bu durum nano boyutta malzemelere eşsiz fiziksel ve kimyasal özellikler sağlamaktadır (Yavuz ve ark., 2016). Bunun yanında, son yıllarda BSCCO sisteminin içerisine nano boyutta parçacıkların katılanması ya da eklenmesinde elde edilecek sonuçlar birçok araştırma grubu için merak konusu olmuştur. BSCCO sistemi içerisine uygun oranlarda nano boyutta parçacıklar girdiği zaman özellikle taneler arası boşluklara yerleşerek taneciksel özellikleri geliştirerek kritik akım yoğunluğu değerini arttırmaktadır (Öztornacı ve Özkurt, 2017).

II. tip süperiletken malzemeler  $H_{c1}$  ve  $H_{c2}$  kritik manyetik alan arasında değerlerde manyetik alana maruz kaldığında, manyetik akı malzeme içerisine kuantizeli olarak girmektedir. Manyetik akının malzeme içerisinde hareketi süperiletken bölgeler ile etkileşerek malzemenin taşıyabileceği kritik akım yoğunluğu değerini sert bir şekilde azaltabilmektedir. Malzeme içerisinde etkili çivileme merkezlerinin oluşturulması akı hareketlerinin engellenmesi için oldukça faydalı bir metottur (Özçelik ve ark., 2020). Literatürden iyi bilindiği gibi, yapı içerinden akı çivileme merkezleri malzeme içerisinde safsızlık fazlarının oluşturulması ve farklı iyonik yarıçapta elementlerin katılanması/eklenmesi ile oluşturulmaktadır (Özkurt, 2020). Akı çivileme merkezlerinin oluşturulması için bir başka metot ise malzeme içerisine koherens uzunluğuna yakın (1.6 nm) değerlerde (Reichle., 2022) nano malzemeler katılmaktır (Arani ve ark., 2019;). Literatürde,  $Co_3O_4$ , Au,  $Sm_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$  ve Ag gibi nano boyutlu parçacıkların BSCCO sistemine girmesi sonucu etkili çivileme merkezleri oluşturularak, kritik akım yoğunluğu değerinde önemli gelişmeler elde edilmiştir (Jannah ve ark., 2013; Baqiah ve ark., 2009; Öztornacı ve Özkurt, 2017; Ghattas ve ark., 2008; Sakhno ve ark., 2007; Oboudi ve Mustafa, 2016).

Laboratuvar çalışmalarında malzemelerin temini, sentezlenmesi ve karakterize edilmesi oldukça maliyet gerektiren süreçleri içermektedir. Yüksek maliyetler birçok araştırma grubu için çalışmaların gerçekleştirilmesinde problem oluşturmaktadır. Bunun yanında bazı laboratuvar çalışmaları ise insan sağlığına önemli ölçüde zarar veren süreçler içerebilmektedir. Bu durumlarda hem maliyeti azaltmak hem de insan sağlığına zarar verebilecek temastan kaçınmak için bilgisayar simülasyonları ya da modellemeler kullanılmaktadır. Böylece gerçek bir sistem ya da herhangi bir prototip üretilmeden düşük maliyetler ile araştırma ve geliştirme faaliyetlerine devam edilebilmektedir.

Nano boyutta kalay elementinin optik geçirgenlik, mekaniksel sertlik ve düşük direnç gibi özelliklere sahip olmalarının yanında 850-860<sup>0</sup> arasında sinterlenen BSCCO sistemine kıyasla 1630 °C' lik yüksek erime sıcaklığına sahiptir (Ali ve ark., 2013). Bunun yanında nano boyutta kalay kristal

yapısında oksijen eksikliğinin olması (Chen ve ark., 2012) Bi-2212 sistemine girdiği zaman akı çivileme özelliklerini geliştirebilmesinin yanında hole konsantrasyonu değerini de geliştirebilir. Diğer taraftan, alkali metaller en dış kabuğunda bir elektrona sahiptir ve bu durum onları oldukça reaktif yapıda olmalarını sağlar. Daha kararlı hale gelmeleri için valans elektronlarını kaybetmeyi tercih edebilirler. Böylece alkali elementler BSCCO sistemine katıldığı zaman sisteme fazladan elektron vererek sistemin hol konsantrasyonu değerini arttırabilir (Bilgili ve ark., 2008). Özkurt tarafından gerçekleştirilen çalışmada Bi-2212 süperiletken sisteminde bakır sitelere farklı oranlarda sodyum elementi katılmıştır. Elde edilen bulgularda 0.25 oranında sodyum elementi içeren örneğin süperiletkenlik özelliklerinde önemli gelişmeler elde edilmiştir (Özkurt, 2013). Daha önceki çalışmamızda bakır sitelere 0.25 oranında sodyum katkılı Bi-2212 süperiletken sisteminde stronsiyum sitelere farklı oranlarda nano boyutta kalay elementi katıldı.  $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}\text{Sn}_x\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.1, 0.20$ ) başlangıç kompozisyonunda süperiletken örnekler katı hal tepkime yöntemi ile hazırlandı ve X-ışını kırınım ölçümleri taramalı elektron mikroskobu ölçümleri özdirenç sıcaklık ve manyetizasyon ölçümleri ile karakterize edildi (Aytekin ve Özkurt, 2019). Analiz çalışmaları sonucu elde edilen bulgularda  $x = 0.05$  oranında nano boyutta kalay içeren örnekte Bi-2212 yüksek sıcaklık faz yoğunluğunun ve şiddetinin artması, taneler arası kuvvetli bağların oluşumu ve akı çivileme özelliklerinin gelişmesi ile en iyi süperiletkenlik özellikleri elde edilmiştir. Sunulan çalışmada ise özdirenç sıcaklık ölçümlerinden elde edilen bulgular ile  $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}\text{Sn}_x\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$  süperiletken yapısı için yaklaşık matematiksel formülasyonlar elde edilerek özdirenç, süperiletkenlik geçiş sıcaklığı ve nano boyutta kalay katılama değerleri arasında ilişki araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışma kapsamında  $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}\text{Sn}_x\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.1, 0.20$ ) başlangıç kompozisyonunda süperiletken örnekler %99 saflıkta  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  (Panreac, 98+ %),  $\text{SrCO}_3$  (Panreac, 98+%),  $\text{CaCO}_3$  (Panreac, 98.5+%),  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (Panreac, 98.5+%),  $\text{CuO}$  (Panreac, 97+ %) ve  $\text{SnO}_2$  (Abo Swiss, 98.5+%) öncü tozlar katı hal tepkime yöntemi kullanılarak üretildi. İlk olarak öncü tozlar uygun oranlarda tartıldı ve agat havanda karıştırıldı. Öğütme işleminden sonra toz halindeki örnekler saf su ve nitrik asit çözeltisi içerisine katılarak manyetik karıştırıcıda homojen bir karışım elde edilene kadar karıştırıldı. Çözeltinin rengi açık maviye döndükten sonra sıvının buharlaştırılma işlemine geçildi ve siyah renkte tozlar elde edilene kadar sıvı buharlaştırıldı. Elde edilen tozlarda kurutma işlemini tamamen gerçekleştirebilmek için  $350^\circ\text{C}$ 'de ısıtma işlemi uygulandı. Tozlar kurutulduktan sonra oluşabilecek topaklanmayı engellemek için agat havanda elde öğütüldü. Öğütme aşamasından sonra toz halinde örnekleri 2.9 cm çapında pelet haline dönüştürebilmek için oda sıcaklığında 375 MPa basınç uygulanarak presleme işlemi tamamlandı. Tablet halindeki örneklere ilk ısıtma işlemi (kalsinasyon) uygulanması için örnekler kül fırına konuldu. Örnekler üzerine  $750^\circ\text{C}$  sıcaklık 12 saat boyunca uygulanarak ilk kalsinasyon işlemi tamamlandı. Tablet halindeki örnekler tekrar öğütüldü, preslendi ve süperiletken fazların oluşumunu başlatmak için  $820^\circ\text{C}$  ısıtma işlemi 12 saat boyunca

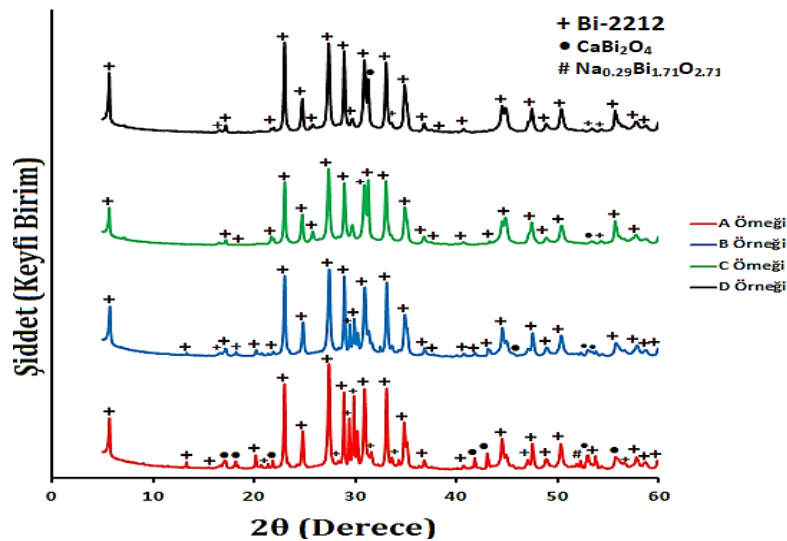
uygulanarak kalsine edildi. Öğütme, presleme ve kalsinasyon işlemleri iki kez daha gerçekleştirildi. Son olarak örneklerde karışımı oluşturan atomlar arasındaki bağları kuvvetlendirmek, polikristalleri oluşturmak ve yapı içerisindeki kristal hataları en aza indirebilmek için hazırlanan tabletlerin sinterlenmesi aşamasına geçildi. Örnekler tekrar öğütüldü ve 375 MPa basınç altında preslendi. Tablet haline gelen örnekler 850 °C ısıtma işlemi 120 saat boyunca uygulanarak sinterlendi ve örnekler karakterizasyon işlemine hazır hale geldi.

Bu çalışma kapsamında üretilen örnekler  $x = 0.0, 0.05, 0.1$  ve  $0.2$  nano boyutta stronsiyum katkılama oranı ile sırasıyla A Örneği, B Örneği, C Örneği ve D Örneği olarak isimlendirildi.

Süperiletken iletken örnekler içerisinde meydana gelen fazları gözlemleyebilmek için X-Işını kırınım ölçümleri gerçekleştirildi. X-Işını ölçümleri  $2^\circ/\text{dakika}$  tarama hızında  $2\theta = 3^\circ - 60^\circ$  tarama aralığında X-Işını Kırınım cihazında gerçekleştirildi. Örneklerin süperiletkenlik  $T_c^{\text{onset}}$  ve  $T_c^{\text{offset}}$  geçiş sıcaklıklarının tespit edilebilmesi için yaklaşık olarak 2 K sıcaklıklara ulaşabilen kapalı döngü Helyum sisteminden oluşan Cryogenic Limited PPMS cihazı (Physical Property Measurement System - Fiziksel Özellikler Ölçüm Sistemi) kullanıldı. Bu ölçüm sonuçlarından her bir örnek için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak öz direnç değerleri elde edilmiştir. Farklı katkılama değerlerine sahip örnekler için elde edilen öz direnç sıcaklık verileri kullanılarak,  $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}\text{Sn}_x\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$  süperiletken sistemi için katkılama oranı ve süperiletkenlik geçiş sıcaklığı arasında matematiksel formülasyon geliştirilmiştir. Bu işlem Matlab ortamında eğri uydurma aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Şekil 1’de tüm örneklere ait X-Işını kırınım ölçüm sonuçları sergilenmektedir. Tüm örneklere ait XRD grafiğinde + sembolü Bi-2212 yüksek sıcaklık fazını simgelerken, ● ile  $\text{Bi}_2\text{CaO}_4$  safsızlık fazı ve # ile  $\text{Na}_{0.9}\text{Bi}_{1.71}\text{O}_{2.71}$  safsızlık fazı simgelenmektedir.

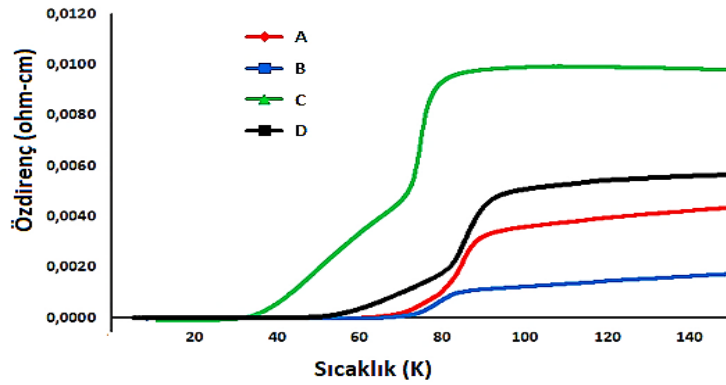


Şekil 1. A, B, C ve D Örnekleri için X-Işını Kırınım Ölçüm Sonuçları

Literatürden iyi bilindiği gibi bizmut tabanlı yüksek sıcaklık süperiletken malzemelerin X-ışını ölçüm sonuçlarında  $2\theta \approx 5.7^\circ; 24.8^\circ; 29.1^\circ; 31.24^\circ$  ve  $45.04^\circ$  gibi noktalarda Bi-2212 süperiletken fazının gözlemlenmesi ve bu noktalarda oluşan fazların şiddet ve keskinliklerinde artış gözlemlenmesi malzemede iyi bir kristalleşmenin meydana geldiğinin göstergesidir (Cavdar ve ark., 2012). Şekil 1’de tüm örneklere ait X-ışını kırınım ölçümlerine bakıldığında zaman karakteristik piklerin tüm örneklerde oluştuğu görülmektedir. Ayrıca bazı safsızlık fazlarının oluşmasının yanında tüm örneklerde temel faz yapısı Bi-2212 yüksek sıcaklık fazıdır.

Yapı içerisinde 0.05 oranında nano boyutta SnO<sub>2</sub> içeren B örneğinde toplam fazlar içerisinde Bi-2212 faz yoğunluğunun yüksek olduğu Şekil 1’de görülmektedir (Aytekin ve Özkurt, 2019). Diğer taraftan, yapı içerisinde nano boyutta SnO<sub>2</sub> içermeyen A örneğinde  $2\theta \approx 17.905^\circ; 18.187^\circ; 41.78^\circ$  ve  $43.02^\circ$  de gözlemlenen Bi<sub>2</sub>CaO<sub>4</sub> safsızlık fazları ve  $2\theta \approx 52.225^\circ$  de gözlemlenen Na<sub>0.29</sub>Bi<sub>1.71</sub>O<sub>2.71</sub> safsızlık fazı B örneğinde Bi-2212 süperiletken fazına dönüşmüştür. Diğer örnekler ile karşılaştırıldığında B örneğinde yüksek oranda Bi-2212 süperiletken fazların oluşumu ve bazı noktalarda safsızlık fazlarının Bi-2212 süperiletken fazına dönüşmesi daha iyi süperiletken özelliklerin gözlemlenmesine işaret etmektedir.

Bu çalışma kapsamında Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2-x</sub>Sn<sub>x</sub>Ca<sub>1</sub>Cu<sub>1.75</sub>Na<sub>0.25</sub>O<sub>y</sub> (x = 0.0, 0.05, 0.1, 0.20) başlangıç kompozisyonunda katı hal tepkime yöntemi kullanılarak üretilen süperiletken örneklerin öz direnç sıcaklık grafiği Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2. A, B, C ve D Örneklerine ait öz direnç sıcaklık grafiği

Bizmut tabanlı yüksek sıcaklık süperiletken sisteminde süperiletken faza geçişin başladığı sıcaklık değeri  $T_c^{onset}$  sıcaklık değeridir ve bu değer malzeme içerisindeki süperiletken fazların sayısına bağlıdır (Akça ve ark., 2013). Süperiletken faz geçişinin tamamlandığı ve malzemenin tamamen süperiletken davranış sergilediği sıcaklık değeri ise  $T_c^{offset}$  sıcaklık değeridir ve malzeme içerisinde var olan süperiletken fazların birbirleriyle bağlantıları ile ilişkilidir (Siregar ve ark., 2021). Şekil 2’de örneklere ait öz direnç sıcaklık grafiğine bakıldığında tüm örneklerde  $T_c^{onset}$  değerlerine kadar metalik davranış sergilediği görülmektedir. Bu durum bizmut tabanlı süperiletkenlerin karakteristik davranışıdır.

Öz direnç sıcaklık ölçüm sonuçlarından elde edilen  $T_c^{onset}$ ,  $T_c^{offset}$  ve  $\Delta T_c$  değerleri Tablo 1’de gösterilmektedir. 150 K sıcaklıkta öz direnç sonuçları ise Tablo 2’de sunulmuştur.



**Tablo 1.** A, B, C ve D Örneklerine ait süperiletken geçiş sıcaklığı değerleri

Örnekler	$T_c^{\text{onset}}$ (K)	$T_c^{\text{offset}}$ (K)	$\Delta T_c$ (K)
A	89,08	61,4	27,68
B	84,6	66,3	18,3
C	82,8	35,8	47
D	92,6	50,2	42,4

**Tablo 2.** A, B, C ve D Örneklerine ait özdirenç değerleri

Örnekler	150 K'de
	Özdirenç ( $\rho$ ) Değeri (mohm-cm)
A Örneği	4,1
B Örneği	1,75
C Örneği	9,8
D Örneği	5,69

Tablo 1'de diğer örnekler ile karşılaştırıldığında en yüksek  $T_c^{\text{onset}}$  değeri D örneğinde gözlemlenmiştir. Ancak X-ışını analizlerinde de gözlemlendiği gibi, D örneğinde Bi-2212 süperiletken faz yoğunluğunun azalması örneklerin  $T_c^{\text{offset}}$  değerinin oldukça düşük olmasına neden olmuştur. Diğer taraftan B örneğinde Bi-2212 fazının yoğunluğunda artış gözlemlenmesi ile beraber safsızlık fazlarında azalmalar sonucu daha iyi kristal yapı oluşumu gerçekleşmiştir. Bu durumda B örneğinde diğer örnekler ile karşılaştırıldığında daha düşük özdirenç ve daha yüksek  $T_c^{\text{offset}}$  değeri gözlemlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında  $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}\text{Sn}_x\text{Ca}_1\text{Cu}_{1,75}\text{Na}_{0,25}\text{O}_y$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.1, 0.20$ ) seramik süperiletken örnekleri katı hal tepkime yöntemi ile üretilmiş ve deneysel çalışmaları tamamlanmıştır. Bu işlemler sunulan çalışmamızın birinci aşamasıdır. İkinci aşamasında ise deneysel sonuçlardan elde edilen süperiletkenlik geçiş sıcaklığı değerleri ve oda sıcaklığındaki özdirenç değerlerinin katkı miktarına bağlı olarak değişimini belirleyen matematiksel bir formül sunulmuştur.

#### 4. $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}\text{Sn}_x\text{Ca}_1\text{Cu}_{1,75}\text{Na}_{0,25}\text{O}_y$ Süperiletken Sisteminin Elektriksel Özelliklerinin Matematiksel Formülasyonlarının Belirlenmesi

Çalışmanın üçüncü bölümünde sunulan deneysel verilerden elde edilen bulgular ışığında süperiletkenlik özelliklerin geliştirilebildiği anlaşılmaktadır. Bu özelliklerin deneysel çalışmalardan bağımsız olarak belirlenmesine olanak sağlanması için deneysel verilerden yararlanılarak matematiksel formülasyonlar geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır. İyi bilindiği gibi, bir malzemenin süperiletkenlik performansı araştırılırken malzemenin  $T_c^{\text{onset}}$  ve  $T_c^{\text{offset}}$  değerleri önemli bilgiler

sunmaktadır. Tablo 1’de farklı oranlarda nano boyutta kalay katkılı Bi-2212 süperiletkenlerin malzemelerine ait  $T_c^{onset}$  ve  $T_c^{offset}$  değerleri verilmiştir. Bu değerler Matlab ortamında eğri uydurma aracı kullanılarak analiz edilmiştir. Yapılan analizde katkılama-sıcaklık verilerinin belirli bir periyotta seyrettiği gözlenmiştir. Böylece, Tablo 1 verilerinden elde edilen  $T_c^{onset}$  ve  $T_c^{offset}$  parametrelerinin katkılama miktarına bağlı matematiksel formülasyonlar sırasıyla (1) ve (2)’de verilmiştir.

$$T_{c,onset} = 97.09 - 7.847 \cos(11.13x) - 11.75 \sin(11.13x) \quad (1)$$

$$T_{c,offset} = 45.97 + 15.43 \cos(28.82x) + 18.49 \sin(28.82x) \quad (2)$$

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirdiğimiz matematiksel formülasyonlar ile  $Bi_2Sr_{2-x}Sn_xCa_1Cu_{1.75}Na_{0.25}O_y$  süperiletken sistemi için nano boyutta katkılama oranına bağlı olarak  $T_c^{onset}$  ve  $T_c^{offset}$  değerleri başarılı bir şekilde teoriksel olarak tespit edilebilmektedir. Denklemlerden elde edilen veriler ile deneysel olarak önceden elde edilmiş veriler Tablo 3’de sunulmuştur.

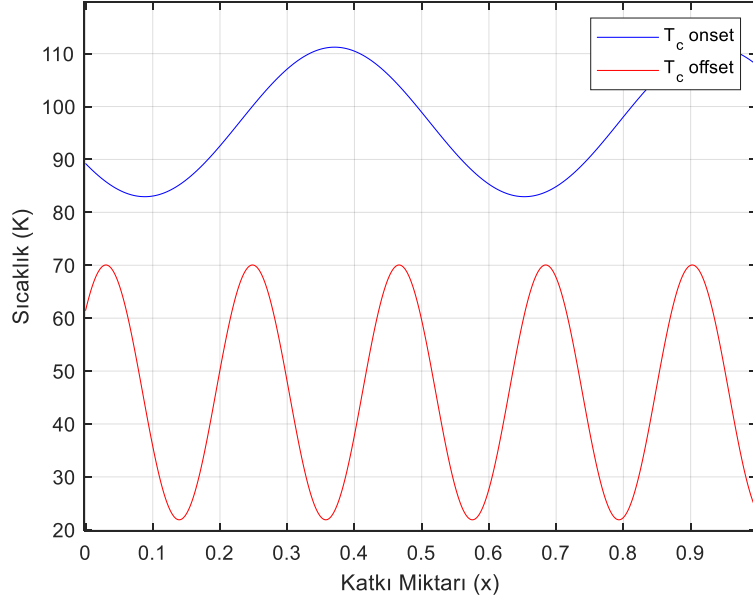
**Tablo 3.** A, B, C ve D Örneklerine ait süperiletken geçiş sıcaklığı değerlerinin matematiksel formülasyon sonuçları ile karşılaştırılması

Örnekler	Deneysel Veriler			Matematiksel Formülasyon Verileri		
	$T_c^{onset}$ (K)	$T_c^{offset}$ (K)	$\Delta T_c$ (K)	$T_c^{onset}$ (K)	$T_c^{offset}$ (K)	$\Delta T_c$ (K)
A	89,08	61,4	27,68	89,24	61,4	27,84
B	84,6	66,3	18,3	84,22	66,3	17,92
C	82,8	35,8	47	83,08	35,8	47,28
D	92,6	50,2	42,4	92,55	50,19	42,36

Tablo 3’de elde edilen bulgulardan görüldüğü gibi matematiksel formüllerden elde edilen süperiletken geçiş sıcaklık verileri deneysel veriler ile başarılı bir şekilde örtüşmektedir. Diğer taraftan gerçekleştirdiğimiz matematiksel formül yaklaşımları ile deneysel çalışmalarda üretimi yapılmamış  $x=0.25, 0.7, 0.9$  ve  $1.0$  nano boyutta katkı değerleri için süperiletken geçiş sıcaklık verileri ise (1) ve (2) denklemleri kullanılarak Tablo 4’deki gibi tespit edilmiştir.

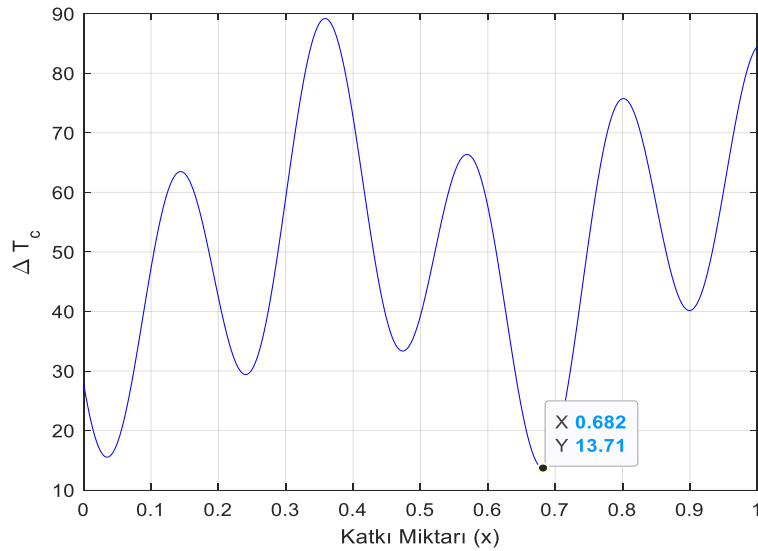
**Tablo 4.** Teoriksel olarak elde edilen katkı oranlarında süperiletken geçiş sıcaklığı değerleri

Katkı Miktarı	Matematiksel Formülasyon Verileri		
	$T_c^{onset}$ (K)	$T_c^{offset}$ (K)	$\Delta T_c$ (K)
0.25	100,30	70,03	30,27
0.70	84,87	67,66	17,21
0.90	110,16	69,99	40,17
1.00	107,68	23,18	84,5



**Şekil 3.** Farklı katkı oranlarında  $T_c^{\text{onset}}$  ve  $T_c^{\text{offset}}$  sıcaklık eğrileri

Süperiletken geçiş sıcaklıkları olan  $T_c^{\text{onset}}$  ve  $T_c^{\text{offset}}$  parametrelerinin katkı miktarı ( $x$ )'na bağlı eğrileri (1) ve (2) denklemleri kullanılarak Şekil 3'de çizdirilmiştir. Şekil 3'ten yararlanarak hangi katkı miktarında hangi geçiş sıcaklıkları meydana geldiği elde edilebilmektedir. Deneysel çalışmada  $x = 0.0, 0.05, 0.1$  ve  $0.2$  miktarları için nano boyutta stronsiyum katkılması yapılmıştır. Elde edilen yaklaşık formül ile farklı katkı miktarları için sıcaklık geçiş verileri izlenebilmektedir. Bu amaçla, Şekil 3'te katkı miktarının  $[0-1]$  aralığındaki değişimine karşı sıcaklık geçiş değerleri incelenmiştir. Bu grafik sayesinde yüksek değerde süperiletkenlik geçiş sıcaklığına sahip örneğin katkı miktarlarını belirlemek mümkün olabilecektir. Bu sayede yüksek katkı miktarları yerine daha düşük katkı seviyelerinde de daha başarılı noktalar tespit edilebilir.



**Şekil 4.** Katkı miktarına göre  $\Delta T_c$  değeri değişim eğrisi

Denklem (1) ve (2) kullanılarak [0,1] aralığındaki katkı miktarına göre hesaplanan  $T_c^{\text{onset}}$  ve  $T_c^{\text{offset}}$  sıcaklık değerleri arasındaki fark olan  $\Delta T_c$  verilerinin katkı miktarına göre değişimi Şekil 4'te verilmiştir. Literatürden iyi bilindiği gibi  $\Delta T_c$  değeri süperiletken malzemenin iyi bir faz oluşumuna sahip olduğunun göstergesidir (Dogruer ve ark., 2022; Abbas ve ark., 2022). Bu nedenle  $\Delta T_c$  değerini de yorumlamak son derece önemlidir. Tablo 1'de (Aytekin ve Özkurt, 2019)'un deneysel çalışmalarında  $\Delta T_c = 18.3$  K değeri ile B örneğinin ( $x = 0.05$ ) diğer örneklere göre daha iyi faz yapısına sahip olduğu görülmektedir. Bu çalışma sonucunda katkı miktarına bağlı elde edilen ve Şekil 4'te verilen eğri ile minimum  $\Delta T_c$  değerine karşılık gelen optimum katkılama miktarlarının belirlenmesi mümkün olabilir. Grafik üzerinde görüldüğü gibi  $x = 0.682$  değerinde katılama ile  $\Delta T_c = 13.71$  K olarak en düşük seviyesindedir. Bu çalışma kapsamında elde ettiğimiz formülden çalışılan süperiletken yapı için  $x = 0.682$  katkılama oranında optimum süperiletkenlik oluşturabildiği görülmektedir. Diğer taraftan, bu katkı değeri dışında grafik üzerinde kalan diğer minimum seviyelerde denenebilir. Bu sayede rastgele katkı miktarı denemekten kaçınılarak malzeme üretimi ve karakterizasyonu için hem zamandan hem de maliyetten tasarruf edilebilir.

Diğer bir matematiksel formülasyon ile katkı miktarına bağlı olarak 150 K sıcaklıkta malzemelerimizin öz direnç değerleri teoriksel olarak belirlenmiştir. Bu formülasyon ile deneysel olarak hesaplanmış farklı oranlarda nano boyutta kalay katkısı içeren A, B, C ve D örneklerinin eğimleri (3) denklemi kullanılarak, (4)'te görüldüğü gibi hesaplandı. Denklem (3)'te ifade edilen 150K'daki deneysel olarak elde edilmiş öz direnç ( $\rho$ ) değerleri Tablo 3'ten alınmıştır (Aytekin ve Özkurt, 2019). Bu veriler ışığında hesaplanan eğim değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

$$m = \frac{\rho}{\Delta T_c} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} m_A &= \frac{4.1 \times 10^{-3}}{27.68} = 0.1481 \times 10^{-3} \\ m_B &= \frac{1.75 \times 10^{-3}}{18.3} = 0.0956 \times 10^{-3} \\ m_C &= \frac{9.8 \times 10^{-3}}{47} = 0.2085 \times 10^{-3} \\ m_D &= \frac{5.69 \times 10^{-3}}{42.4} = 0.1342 \times 10^{-3} \end{aligned} \quad (4)$$

**Tablo 5.** A, B, C ve D Örneklerine ait eğim değerleri

Örnek	m (Eğim)
<b>A Örneği (0,00)</b>	0,1481 x 10 <sup>-3</sup>
<b>B Örneği (0,05)</b>	0,0956 x 10 <sup>-3</sup>
<b>C Örneği (0,10)</b>	0,2085 x 10 <sup>-3</sup>
<b>D Örneği (0,20)</b>	0,1342 x 10 <sup>-3</sup>

Katkı-eğim eğrisinin matematiksel fonksiyonu Matlab ortamında eğri uydurma aracıyla (5) elde edilmiştir. Denklem (5)'te verilen model kullanılarak katkı miktarına göre özdirenç-sıcaklık eğrisinin eğimi hesaplanabilmektedir. Süperiletken geçiş sıcaklıkları olan  $T_c^{onset}$  ve  $T_c^{offset}$  değerleri de sırasıyla denklem (1) ve (2) kullanılarak hesaplanabilmektedir. Böylece  $T_c^{onset}$  sıcaklık değerindeki özdirenci denklem (6) gibi hesaplayabiliriz. Burada  $\rho$  özdirenci belirtmektedir.

$$m = [0.1748 - 0.02666 \cos(32.31x) - 0.08043 \sin(32.31x)] 10^{-3} \quad (5)$$

$$\rho = m \Delta T_c \quad (6)$$

Örnek olarak  $x = 0.682$  katkı için  $T_c^{onset}$  sıcaklık değerine karşılık gelen özdirenci hesaplayalım; Bu katkı değeri için  $T_c^{onset}$ ,  $T_c^{offset}$ ,  $\Delta T_c$  ve  $m$  değerleri (7) denkleminde görüldüğü gibi hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} T_{c,onset} &= 83.6053^\circ K \\ T_{c,offset} &= 69.8575^\circ K \\ \Delta T_c &= 13.7478^\circ K \\ m &= 0.2050 \times 10^{-3} \end{aligned} \quad (7)$$

Denklem (6) kullanılarak  $x = 0.682$  katkı değeri için özdirenç (8) gibi bulunur.

$$\rho = m \Delta T_c = 0.2050 \times 10^{-3} \times 13.7478 = 2.8182 \text{ mohm.cm} \quad (8)$$

Seçilen katkı miktarı  $x = 0.682$  için süperiletken geçiş sıcaklıklarının farkı  $13.7478^\circ K$  gibi oldukça iyi bir değerdir. Bu katkılama sonucunda özdirenç  $2.8182 \text{ mohm.cm}$  olarak hesaplanmıştır. Bu değer süperiletken bir malzeme için kabul edilebilir olarak düşünülmektedir.

## 5. Sonuç

$\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}\text{Sn}_x\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$  ( $x = 0.0, 0.05, 0.1, 0.20$ ) seramik süperiletken örnekleri katı hal tepkime yöntemi ile üretilmiş ve X-ışını kırınım ölçümleri ve özdirenç sıcaklık ( $\rho$ -T) ölçümleri ile deneysel olarak karakterize edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen bulgularda  $x = 0.05$  oranında nano boyutta kalay içeren B örneği yüksek oranda Bi-2212 yüksek sıcaklık süperiletken faz yapısına sahip olması ve  $66.3 \text{ K}$   $T_c^{offset}$  değerine sahip olması ile en iyi süperiletkenlik özellikleri sergilemiştir. Ayrıca, yapılan deneysel çalışmadan elde edilen süperiletkenlik sıcaklık geçiş verileri ( $T_c^{onset}$ ,  $T_c^{offset}$  ve  $\Delta T_c$ ) ve sıcaklık-özdirenç eğrilerinin eğimlerinin matematiksel formülasyonları çalışılmıştır. Bu çalışma kapsamında farklı oranda nano boyutta kalay katkılı malzemelerin süperiletkenlik geçiş sıcaklığı değerleri ( $T_c^{onset}$  ve  $T_c^{offset}$ ) ve sıcaklık-özdirenç eğrilerinin eğimlerinin denklemleri elde edildi. Elde edilen yaklaşık formüller ile farklı katkılama miktarlarında  $T_c^{onset}$ ,  $T_c^{offset}$ ,  $\Delta T_c$  değerleri

ve  $T_c^{\text{onset}}$  sıcaklık değerine karşılık gelen öz direnç değerleri oldukça başarılı bir şekilde hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada elde edilen bulgularda  $x = 0.682$  katkı değeri daha yüksek süperiletkenlik geçiş sıcaklık değerlerini öngörmekte ve  $\rho = 0.1966$  mohm.cm öz direnç değeri ile oldukça iyi performansla sahip süperiletkenlik özelliklerini temsil etmektedir. Bu çalışma kapsamında araştırmacılar elde edilen formüller ile  $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}\text{Sn}_x\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$  sisteminde farklı katkı miktarlarında süperiletkenlik davranışlarını öngörebilecektir. Böylece daha iyi süperiletkenlik davranış için optimum değerde katkı miktarının belirlenmesi mümkün olmaktadır. Sonuç olarak katkı miktarının tespit edilebilmesi laboratuvarında gereksiz zaman ve iş gücü kayıplarını en aza indirilebilecektir. Ayrıca katkı malzemesinin daha az miktarlarda kullanılması sağlanabilecektir. Gelecek çalışmalarda daha fazla deneysel veri toplandığında daha doğru tahminlerin elde edilebileceği modeller geliştirilebilir.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

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

Tüm yazarlar makaleye eşit oranda katkıda bulunmuştur.

### **Kaynakça**

- Abbas S., Basma H., Awad R., Matar M. Tailoring the physical properties of (Bi, Pb)-2212 superconductor by the addition of  $\text{Cd}_{0.95}\text{Mn}_{0.05}\text{O}$  nanoparticles. *Journal of Low Temperature Physics* 2022; 208(3): 271-288.
- Akça G., Ekicibil A., Kiymaç K. Influence of lithium-holmium co-doped on structural and electrical properties of BSCCO superconductor. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials* 2013; 15(3-4): 229-234.
- Akkurt B., Erdem U., Zalaoglu Y., Ulgen AT., Turgay T., Yildirim G. Evaluation of crystallographic and electrical-superconducting features of Bi-2223 advanced ceramics with vanadium addition. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 2021; 32(4): 5035-5049.
- Aytekin ME., Özkurt B. The influence of nano-sized  $\text{SnO}_2$  doping on physical and magnetic properties of the  $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}(\text{SnO}_2)_x\text{Ca}_1\text{Cu}_{1.75}\text{Na}_{0.25}\text{O}_y$  superconductors. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* 2020; 33: 965-970.
- Baqiah H., Halim SA., Adam MI., Chen SK., Ravandi SSH., Faisal MAM., Hanif M. The effect of magnetic nanoparticle addition on the superconducting properties  $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$  superconductors. *Solid State Science and Technology* 2009; 17(1): 81-88.
- Bilgili O., Selamet Y., Kocabaş K. Effects of Li substitution in Bi-2223 superconductors. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* 2008; 21: 439-449.

- Cavdar S., Deniz E., Koralay H., Ozturk O., Erdem M., Gunen A. The effect of PbSe addition on the mechanical properties of Bi-2212 superconductors. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* 2012; 25(7): 2297-2307.
- Chen W., Zhou, Q., Wan F., Gao, T. Gas sensing properties and mechanism of nano-SnO<sub>2</sub>-based sensor for hydrogen and carbon monoxide. *Journal of Nanomaterials* 2012; 1-1.
- Dogruer M., Yildirim G., Terzioğlu C. Effect of Nd/Sr partial replacement on characteristic Bi-2223 phase and related fundamental superconducting parameters. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* 2022; 1-11.
- Fallah-Arani H., Baghshahi S., Sedghi A., Riahi-Noori N. Enhancement in the performance of BSCCO (Bi-2223) superconductor with functionalized TiO<sub>2</sub> nanorod additive. *Ceramics International* 2019; 45(17): 21878-21886.
- Ghattas A., Annabi M. Zouaoui M., Azzouz FB., Salem MB. Flux pinning by Al-based nano particles embedded in polycrystalline (Bi,Pb)-2223 superconductors. *Physica C: Superconductivity and its applications* 2008; 468(1): 31-38.
- Jannah AN., Abd-Shukur R., Abdullah H. Effect of Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles addition on (Bi, Pb)-2223 superconductor. *International Scholarly and Scientific Research Innovation* 2013; 7(3): 299-302.
- Khalil SM. Enhancement of superconducting and mechanical properties in BSCCO with Pb additions. *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 2001; 62(3): 457-466.
- Oboudi SF., Mustafa MQ. Synthesis and characterization of Ag nanoparticles addition on BPSCCO superconducting thin films. *Advances in Nanoparticles* 2016; 5(1): 75-82.
- Öner B., Özkurt P., Madre MA., Özkurt B., Sotelo A. Enhanced superconducting properties in Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>1</sub>Cu<sub>1.75</sub>Na<sub>0.25</sub>O<sub>y</sub> ceramics prepared by hot-pressing under different pressures and temperatures. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* 2022; 1-8.
- Özçelik B., Ergin I., Madre MA., Sotelo A. Effect of rubidium substitution on the physical and superconducting properties of textured high-T<sub>c</sub> BSCCO samples. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* 2020; 33: 1285-1292.
- Özkurt B. Effect of annealing conditions on the superconducting properties of nano-sized metallic Au-added Bi<sub>1.8</sub>Sr<sub>2</sub>Au<sub>0.2</sub>Ca<sub>1.1</sub>Cu<sub>2.1</sub>O<sub>y</sub> (Bi-2212) ceramics. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 2020; 31(14): 11448-11456.
- Özkurt B. Enhancement in superconducting transition temperature and J<sub>c</sub> values in Na-doped Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>1</sub>Cu<sub>2-x</sub>Na<sub>x</sub>O<sub>y</sub> superconductors. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 2013; 24: 2426-2431.
- Öztornacı U., Özkurt B. The effect of nano-sized metallic Au addition on structural and magnetic properties Of Bi<sub>1.8</sub>Sr<sub>2</sub>Au<sub>x</sub>Ca<sub>1.1</sub>Cu<sub>2.1</sub>O<sub>y</sub> (Bi-2212) ceramics. *Ceramics International*. 2017; 43(5): 4545-4550.

- Reichl LE. Signatures of electron entanglement in a NSNSN BSCCO nanowire. *Physica B: Condensed Matter* 2022; 628: 413598.
- Sakhno OV., Goldenberg LM., Stumpe J., Smirnova TN. Surface modified ZrO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> nanoparticles embedded in organic photopolymers for highly effective and UV-stable volume holograms. *Nanotechnology* 2007; 18(10): 105704.
- Shalaby MS., Hamed MH., Yousif NM., Hashem HM. The impact of the addition of Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> nanoparticles on the structural and the magnetic properties of the Bi-2223 high-Tc superconductor. *Ceramics International* 2021; 47(18): 25236-25248.
- Siregar DRD., Yudianto SD., Chandra SA., Lubis EFR., Humaidi S., Darsono N. Improvement of the superconducting properties of carbon addition on Bi<sub>1.6</sub>Pb<sub>0.4</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>10+δ</sub> prepared through the two-step sintering process. *Journal of Metals, Materials and Minerals* 2021; 31(4): 76-81.
- Sotelo A., Madre MA., Rasekh S., Diez JC., Angurel LA. Floating zone Ag doped (Bi<sub>1.6</sub>Pb<sub>0.4</sub>)Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>8+δ</sub> textured rods. *Advances in Applied Ceramics* 2009; 108(5): 285-289.
- Sözeri H., Ghazanfari N., Özkan H., Kilic A. Enhancement in the high-Tc phase of BSCCO superconductors by Nb addition. *Superconductor Science and Technology* 2007; 20(6): 522.
- Statra Y., Fawaz S., Menana H., Douine B. Experimental electromagnetic characterization of high temperature superconductors coils located in proximity to electromagnetically active materials. *Fluid Dynamic and Material Process* 2022; 18(5): 1529-1537.
- Taghipour J., Abbasi H., Sedghi H. The effect of Sb substitution on properties of Bi<sub>1.6</sub>Pb<sub>0.4</sub>Sr<sub>2-x</sub>Sb<sub>x</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> superconductors. *Physica B: Condensed Matter* 2010; 405(5): 1349-1352.
- Tran DH., Pham AT., Le TM., Anh DT., Phan YT., Man NK., Kang, WN. Enhanced flux pinning properties in Bi<sub>1.6</sub>Pb<sub>0.4</sub>Sr<sub>2-x</sub>K<sub>x</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>10+δ</sub> compounds. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 2019; 30(9): 8233-8238.
- Yavuz Ş., Bilgili Ö., Kocabaş K. Effects of superconducting parameters of SnO<sub>2</sub> nanoparticles addition on (Bi, Pb)-2223 phase. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 2016; 27(5): 4526-4533.
- Yildirim G., Bal S., Yucel E., Dogruer M., Akdogan M., Varilci A., Terzioğlu C. Effect of Mn addition on structural and superconducting properties of (Bi, Pb)-2223 superconducting ceramics. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism* 2012; 25(2): 381-390.



## Kültürel Mirasın Turizm Açısından Değerlendirilmesi: Şanlıurfa Barutçu Hanı Örneği

A. Yeliz GÖGEBAKAN<sup>1\*</sup>, Mücahit YILDIRIM<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, Adana

<sup>2</sup>Dicle Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, Diyarbakır

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-5875-29991>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-3858-8781>

\*Sorumlu yazar: yelizgogebakan027@gmail.com

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 09.06.2022

Kabul tarihi: 21.03.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Sürdürülebilir kültürel turizm  
Koruma  
Şanlıurfa  
Barutçu Hanı

### ÖZ

Günümüzde insanların değişen sosyal, kültürel ve ekonomik durumlarına göre turizm alanları çeşitlenmekte, eko ve kültürel turizm gibi farklı alanlara yönelmektedir. Bu çalışmada pek çok özgün değere sahip Şanlıurfa kentinde bulunan Barutçu Hanı örneğinde kültürel turizmin irdelenmesi amaçlanmıştır. Ulusal ve uluslararası alanda ülkelerin ekonomik, sosyal ve kültürel gelişimine katkı sağlayan kültürel turizmin sürdürülebilir olması kültürel mirasları koruma ve restorasyon çalışmalarının yapılması ile mümkündür. Şanlıurfa kentinde bulunan Barutçu Hanı'na yeni işlev verilerek restorasyonu yapılmış ve sürdürülebilirliği sağlanmıştır. Böylece kültürel açıdan özgün değerleri ile turistlere değişik imkânlar sunarak kentin odak noktası olmuş ve çok sayıda turisti ağırlamaktadır. Çalışma ile kültürel turizm içerisinde kültürel mirasın kendine özgün değerlerinin korunmasını ve sürdürülebilirliğinin önemini ortaya koymak hedeflenmektedir. Bu amaçla ilk aşamada yapının özgün mimari özellikleri ve tarihi geçmişini öğrenmek amaçlı literatür taraması, yapının bugünkü kullanımının tespiti için de yerinde gözlem ve fotoğraflama yapılmıştır. Çalışma sonucunda kültürel mirasa günümüz koşullarına uygun yeni bir işlev verildiğinde hem kültürel mirasın korunduğu hem de kültürel turizme katkı sağladığı anlaşılmıştır.

## The Evaluation of Cultural Heritage in Terms of Cultural Tourism: The Case of Barutçu Khan in Şanlıurfa

### Research Article

#### Article History:

Received: 09.06.2022

Accepted: 21.03.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Sustainable cultural tourism  
Protection  
Şanlıurfa  
Barutçu Khan

### ABSTRACT

Today, tourism areas are diversifying according to the changing social, cultural and economic conditions of people, and they are directed to different areas such as eco and cultural tourism. In this study, it is aimed to examine cultural tourism in the example of Barutçu Han located in the city of Şanlıurfa, which has many unique values. Sustainability of cultural tourism, which contributes to the economic, social and cultural development of countries in the national and international arena, is possible with the protection and restoration of cultural heritage. Barutçu Han, located in Şanlıurfa, was restored by giving it a new function and its sustainability was ensured. Thus, it has become the focal point of the city by offering different opportunities to tourists with its culturally unique values and welcomes many tourists. The aim of the study is to reveal the importance of the preservation and sustainability of the unique values of the culture in cultural tourism. For this purpose, in the first stage, literature search were made to learn the original architectural features and historical background of the building, and on-site observation and photography were made to determine the current use of the building. As a result of the study, it has been understood that when cultural heritage is given a new function in accordance

with today's conditions, it both protects cultural heritage and contributes to cultural tourism.

**To Cite:** Gögebakan AY., Yıldırım M. Kültürel Mirasın Turizm Açısından Değerlendirilmesi: Şanlıurfa Barutçu Hanı Örneği. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(3): 1878-1889.

## 1. Giriş

Turistlerin zamanla değişen ilgileri, turizmde çeşitliliği sağlayarak daha önce turistik olarak değerlendirilmeyen kaynakların kullanımını artırmış, doğallığı ya da orijinalliyi korumuş yer ve yapıları göz önüne çıkarmıştır. Kültür turizminin tarihi çok eskilere dayansa da kültürel mirası yerinde inceleyerek önceki kültürleri öğrenme merakı ile yapılan kültürel turizm 1970'lerden sonra başlamıştır (Tighe, 1986; Kızılırmak ve Kurtuldu, 2005; McKercher ve Cross, 2010). Eğitim ve sanat amacıyla gerçekleştirilen etkinliklere katılma, eski uygarlıklara ait anıt ve sitaleri ziyaret etme, peyzaj, gelenek-göreneklere inceleme, dini ziyaret yapmak için gezip görmeyi Dünya Turizm Örgütü kültürel turizm olarak tanımlamaktadır (WTO,1986). Kültürel turizmin amacı turistlere önceki kültürlerle ait tarihi yapı ve alanların görülmesine, yerel mutfakları ve alt kültürlerin yerinde deneyimlenmesine, dini ritüellerinin yerine getirilmesine ve kültürel özel etkinliklerin yapılmasına olanak sağlamaktır.

Daha önce yaşamış olan insanlar tarafından inşa edilmiş ve evrensel değerlere sahip eserlere ya da gelenek göreneklere kültürel miras veya kültür mirası denilmektedir. Kapsamı geniş olan kültürel mirasın yapısal olanları somut kültürel miras, gelenek ve görenekle şekillenmiş olanı da somut olmayan kültürel mirastır. Toplumların geçmişlerinden kalan, sürekliliği için korunması gerekli tarihi ve kültürü yansıtan bu miraslara sahip çıkılması gerekir (Açııcı ve ark., 2017).

Kültürel turizm, hem somut olan mirasın yani mekân ve anıtların ziyareti, hem de somut olmayan kültürel mirasın başka bir deyişle ziyaret edilen alandaki yaşam kültürünün deneyimlenerek bilgi sahibi olunmasını da kapsamaktadır (Richards, 2001). Bu turizm çeşidinde yerellik ve özgünlük önemli olduğundan yerel kimlik öne çıkarılarak kültürel çeşitliliğin ve özgünlüğün korunması da sağlanmaktadır. Çünkü bir yörenin kendine özgü olan kültürel öğeleri turizm açısından o yeri daha çekici hale getirmektedir (Tok, 2005; Uslu ve Kiper, 2006). Günümüz ihtiyaçlarını karşılarken var olan kaynakları koruyup gelecek nesillere miras bırakmak için yapılan faaliyetler şeklinde tanımlanan sürdürülebilirlik; turizm alanında ise yerel halkın katılımını teşvik eden, kültürel ve çevresel etkilere duyarlı bir turizm çeşidi olarak tanımlanmaktadır (McColl ve Moisey, 2008). O yüzden kültürel turizmde sürdürülebilirlik için sadece turizm yönetimi değil kültürel miras yönetimi de önemle ele alınması gereken bir konudur (McKercher ve Cross, 2010; Yıldırım, 2017). Mirasın sürekliliğinin sağlanması amacıyla koruyarak kullanma ve sonraki nesillere bırakarak bir dönemin yaşam felsefesinin anlaşılmasını sağlamak, kültürel turizminin temel felsefesi olmuştur (Özgüç, 2003). Kültürel turizm açısından çok fazla kaynağa sahip, birçok medeniyete ev sahipliği yapmış olan ülkemizde turizm amaçlı ya da kullanıcı kaynaklı bilinçsiz uygulamalarla kültürel mirasta bozulmaların yaşandığı ve mirasın sürekliliğinin zarara uğradığı uygulamalar olduğu görülmektedir

(Gürer, 2003; Ekici, 2004; Kolaç, 2009). Turizmin olumsuz etkileri sadece somut olan kültürel mirasta değil, somut olmayan kültürel mirasta da görülmektedir (Öcal ve ark., 2005; Kozak ve ark., 2006).

Ülkelerin sahip olduğu kültürel miraslarını insanlara tanıtmak, koruyarak gelecek nesillere miras bırakmak için kültürel turizmin yönetilmesi önemlidir (Emekli, 2006). Kültürel turizmin sürdürülebilir olması, kültürel mirasın bozulmadan ya da miras üzerinde ortaya çıkabilecek olumsuz etkileri en aza indirecek şekilde kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Bu açıdan bakıldığında kültür mirası ile turizm arasındaki ilişki birbirini etkiler niteliktedir.

Geçmiş Paleolitik döneme dayanan ve birçok medeniyete ev sahipliği yaparak günümüze gelen Şanlıurfa, kültürel turizm için önemli duraklardan biridir (Ekinci ve Paydaş, 2008). Kente gelen turistler daha çok tarihi bölge olan Halil-ü Rahman Gölü ve çevresindeki ticaret-konaklama hizmeti veren hanları ziyaret etmektedir. Bu çalışmanın amacı, sürdürülebilir turizmi, kültürel miras üzerinden tartışarak Şanlıurfa'da tarihi bölgede yer alan Barutçu Hanı özelinde detaylandırmaktır. Kültürel mirası koruma yaklaşımlarından olan yeniden kullanımı kültürel turizm açısından ele alan bu çalışmada yapının özgün mimari özellikleri ve tarihi geçmişini öğrenmek amaçlı arşiv ve literatür taraması, yapının bugünkü kullanımının tespiti için de yerinde gözlem ve fotoğraflama yapılmıştır.

### **1. 1. Kültürel Turizm-Koruma ve Şanlıurfa Hanları**

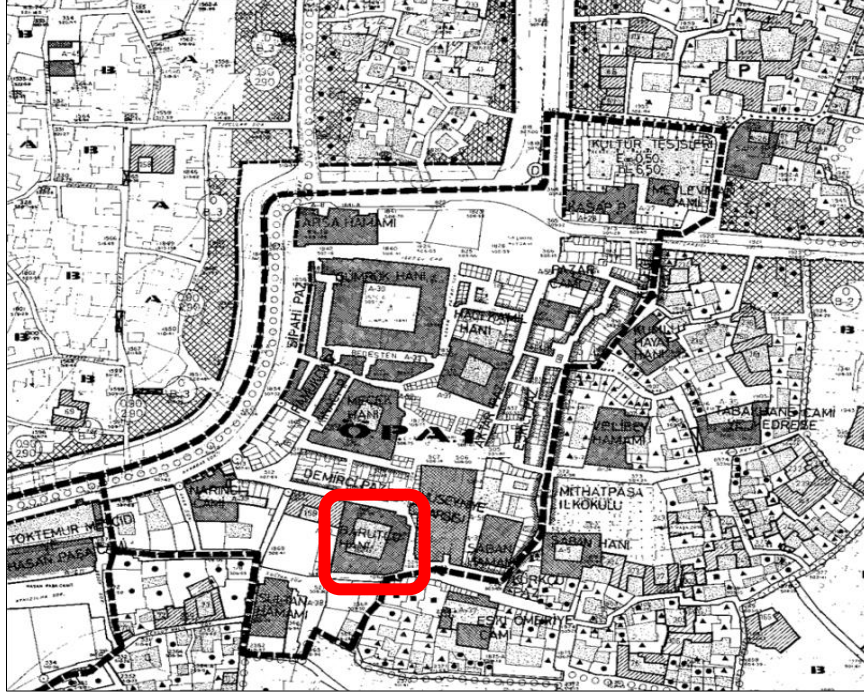
Koruyarak sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla kültürel mirasın yönetimini gerekli kılan kültürel turizmin, kültürel mirasa olumlu ve olumsuz etkiler yaptığı görülmektedir. Kültürel miras olan varlığın bilinçsiz kullanılarak sömürü haline getirilmesi, alana ya da yapıya zarar veren turist davranışları vb. ile varlıkların bozulması olumsuz etki olarak sayılırken, yapılan reklam ve pazarlama ile varlığın cazip hale getirilmesi, yerel ekonominin canlanarak yapıların korunmasına maddi kaynak sağlaması da olumlu etki olarak sayılabilir (McKercher ve Cross, 2010). Kültürel turizmin sürekliliğinin sağlanması için kültürel mirası koruma yönetiminde mirasın belgelenip değerlendirilerek dış etkenlere karşı zayıf ve güçlü yönlerinin ortaya çıkarılması koruma için yapılacak öneriler olmalıdır (Yıldırım, 2017).

Kültürel mirasın korunmasında olduğu gibi koruma ya da sınırlı müdahale ile koruma yaklaşımları benimsenmektedir. Olduğu gibi korumada arkeolojik alanlar vb. yapılara müdahale edilmeyerek yaşamlarını sürdürmeleri sağlanır. Sınırlı müdahale ile koruma yaklaşımlarında ise çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Revitalizasyon/ Canlandırma ile yapısal değişikliklerle mekânın kalitesi artırılıp canlanması hedeflenir, Rehabilitasyon (Sağlıklaştırma) ile özgün değerini kaybetmiş bir alanın eski koşullarının geri getirilmesi sağlanır, Re Use (Yeniden Kullanım) ile yeni bir işlev kazandırılan mekânlar yeni ihtiyaçlara göre düzenlenir, Rekonstrüksiyon (Yeniden Yapma) ile yapı özgün özelliklerine bağlı kalınarak yeniden yapılır (Ahunbay, 1996; Dinçer ve Ertuğrul, 2000). Kültürel turizmde bu koruma yaklaşımlarından en çok başvurulan yöntem yenileme, canlandırma ve yeni işlev verilerek kullanımdır.

Kültürel mirasa en uygun işlevin verilerek kullanılması korumanın en doğru yaklaşımlarından birisidir (Tapan, 2007). Yeni işlev vermek; zaman içinde özgün işlevini yerine getiremeyen yapıların farklı bir



Osmanlı Dönemi yapısı olan Barutçu Hanı, Balıklı Göl ve Haşimiye Meydanı arasındaki parselde, Balıklı Göl'e çok yakın mesafede, Demirci Pazarı civarında yer alır. Barutçu Hanı'nın kuzeyinde Demirci Pazarı Sokak, batı cephesinde bitişik dükkânlar, güney ve doğu yönlerinde ise küçük sokaklar bulunur. Yapının kuzeyindeki sokak ile ana caddenin birleştiği noktada ise Narıncı Camisi bulunmaktadır. Kentsel sit alanı içinde, yaklaşık 1178,66 metrekare alan üzerine inşa edilmiş yapının ana girişi kuzey cepheden, Demirci Pazarı Sokak üzerindedir. Taşınmaz kültür varlığı olarak tescilli olan yapı, 22 adet parsel üzerine oturmaktadır (Şekil 2).

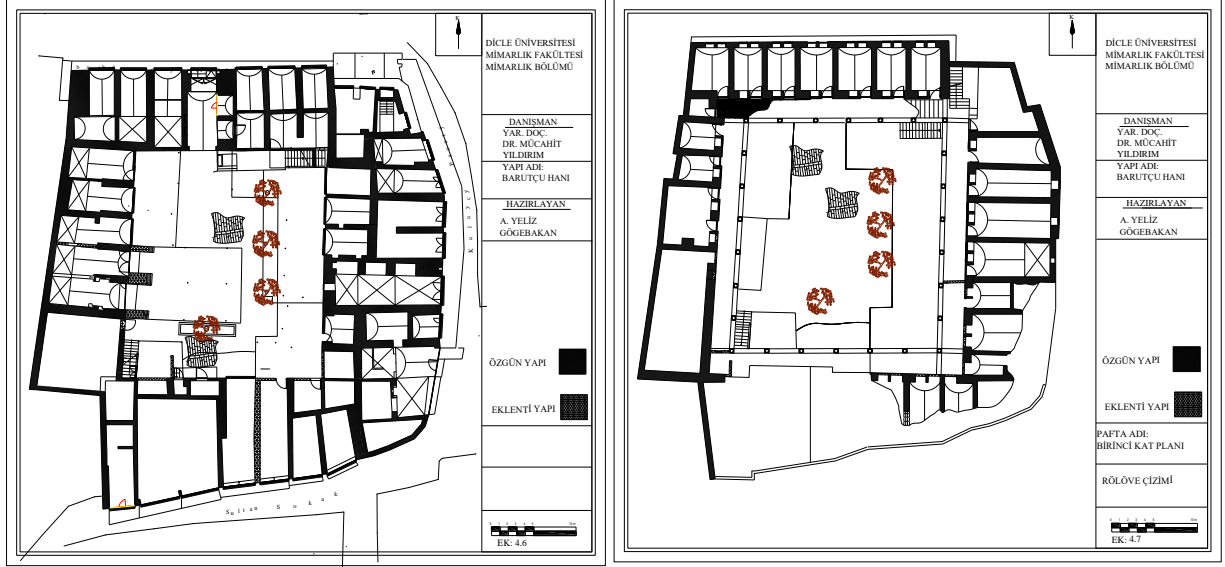


Şekil 2. Barutçu Hanı'nın tarihi bölgedeki konumu (Gögebakan, 2012)

Osmanlı Han yapılarında sıkça görülen kenar uzunlukları birbirine yakın dikdörtgen plan tipinde, ortasında avlulu olarak inşa edilen yapıda dört adet kanat bulunmaktadır (Şekil 3). Kuzey ve batı kanadı üç katlı, doğu ve güney kanadı ise iki katlı olan yapının zemin ve birinci katı revaklı plan tipindedir. Zemin katta revak hizasında, birinci katta ise revağın gerisinde sıralanan eş büyüklükteki odalar birinci katta revaka birer kapı ve pencere ile açılırken ikinci kattaki büyüklükleri farklı odalar önde bir koridora açılmaktadırlar. Yapıdaki üç adet merdivenden ikisi avlu kanadında diğeri kuzey cephenin doğu ucundadır. Yapının özgün halinde revaklarla avluya açılan ahır/develik kısmı yapının batı kanadında yer alan yapıdaki izlerden anlaşılmaktadır. Tuvalet olarak kullanılan güney kanattaki kapısı segment kemerli olan mekân, restorasyon sonrasında da ıslak hacim olarak kullanılmaktadır (Gögebakan, 2012). Duvar, sütun, ayak, destek kemerleri ve konsoldan oluşan yapının taşıyıcı sistemindeki taşıyıcı duvarlar; araları moloz taş dolgulu düzgün küfeki kesme taştır. Duvarlarda kullanılan harç malzemesi 'kül kireç' yani küfeki taşı tozu, kireç ve su karışımıdır. Birinci kat revaklarında sütunlar, revak kemerlerini desteklemek için kullanılmıştır. Bu sütunlar eş yükseklikte,



aynı çatı ve monoblok yapıda, kesik koni şeklinde alt bölüm ve köşeleri yuvarlatılmış kare prizma başlıklıdır. Birinci kat revaklarda ve zemin kat dükkân girişlerinde sivri kemer kullanılırken, tuvalet kapısında, kuzey cephe pencerelerinde, birinci kattaki dükkân kapı ve pencerelerinde, giriş holünün doğu duvarında bulunan nişlerde segment kemer kullanılmıştır. Yapının örtü sisteminde ise tonoz, ahşap oturtma çatı ve sal taşı kullanılmıştır. Dükkânlarda genelde sivri beşik ve çapraz tonoz, birinci kat revakta sal taşı, ikinci katta ise ahşap çatı görülmektedir (Özme, 2005).



Şekil 3. Barutçu Hanı'nın zemin kat ve birinci kat rölöveleri (Gögebakan, 2012)

Yapının güney kanadı ve doğu cephesinin güney ucu 1970'li yıllarda yıkılmış ve restorasyon aşamasında tamamlanmıştır (Şekil 4). Üç katlı olan hanın kuzey cephesinde ana giriş kapısı, güney cephesinde ise restorasyon öncesinde dükkân olarak kullanılan ikinci bir giriş kapısı bulunmaktadır. Han'ın ana giriş kapısı, dışta sivri kemerli bir kuşatma kemeri ile içte segment kemerlidir (Şekil 4). Kuşatma kemeri ince kare başlıklı sütüncelere oturmaktadır. Alınlıkta bugün okunamayan bir kitabe bulunmaktadır. Özgün olan giriş kapısı kabaralı ve ahşaptır. Avluya geçişi sağlayan holün batı duvarında bugün kapatılmış olan segment kemerli iki niş yer almaktadır. Holün batı duvarında ise sivri beşik tonozlu iki dükkân vardır. Bu dükkânlardan avluya yakın olanda arkadaki dükkâna geçiş için kapı bulunmaktadır. Giriş açıklığının yanında sivri beşik tonozlu üçer adet dükkân yer almaktadır. Kuzey cephenin doğu ucu içeriye doğru 1-1,5 m girinti yapmaktadır. Bu bölümde beşik tonozlu iki dükkân vardır. Doğru ucunda ise yukarıya çıkışı sağlayan tek kollu merdiven yer almaktadır. Kuzey cephesinde kat aralarında profilli bir silme vardır. Üst katta cephede ikili gruplar halinde düzenlenmiş, segment kemerli on dört adet pencere yer almaktadır. Üçüncü katta da yine segment kemerli on bir adet pencere bulunmaktadır.

Giriş kapısından geçildikten sonra girilen avlunun kuzey kanadında, girişin batısında bir dükkân, doğusunda ise beşik tonozlu, dikdörtgen planlı üç mekân yer almaktadır. Bu kanadın doğu kanat ile birleştiği yerde üst kata çıkan tek kollu bir merdiven vardır. Batı kanat ise dikdörtgen formudur. Yapının özgün halinde ahır olarak tasarlanmış bu kanatta günümüzde yan yana dizilmiş dükkânlar bulunur. Bu mekânların örtüsü önde sivri beşik tonoz arkada ise çapraz tonozdur. Bu dükkânlar kapı ve pencere ile avluya bağlanmıştır. Batı kanadının güney köşesinde üst kata çıkmayı sağlayan tek kollu diğer bir merdiven bulunmaktadır.



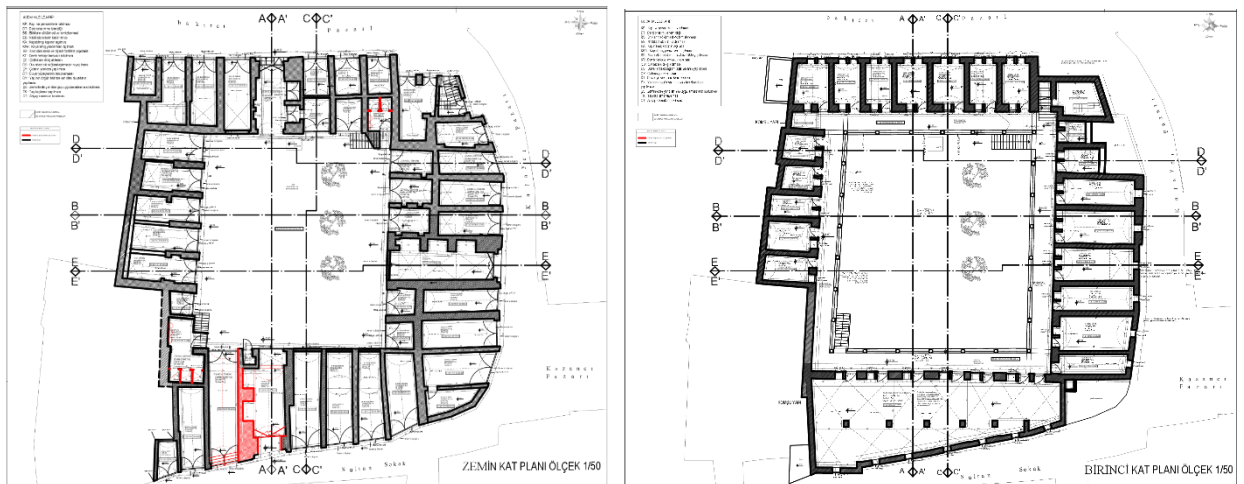
Şekil 4. Barutçu Hanı'nın restorasyon öncesindeki görünümü (Gögebakan, 2012)

Yapının üst katının avluya bakan kısımlarında, monolit sütunlarla taşınan sivri kemerli revaklar görülmektedir. Üst kat batı kanattaki dikdörtgen planlı, sivri beşik tonozlu altı oda revağa açılmaktadır. Bu odaların revak cephelerinde segment kemerli birer kapı ve pencere bulunmaktadır. Üst kat kuzey kanatta ise sivri beşik tonozlu yedi adet oda bulunmaktadır. Dışarıdan ikişer adet segment kemerli pencereleri bulunan bu odalar kapı ve pencereler ile revağa açılır. Yapının üçüncü

katının ilk yapıldığında olmadığı, daha sonra eklendiği yapıdaki taş izlerinden ve plan şemasından anlaşılmaktadır. Bu katta, yedi tanesi kuzey, altı tanesi batı kanatta olmak üzere toplam on üç adet oda bulunmaktadır. Bu odaların hepsi düz ahşap tavanlı olup, öndeki koridora birer kapı ve pencere ile açılmaktadır.

İki girişi olan yapının restore edildiği tarihe kadar sadece kuzey cephesindeki girişi kullanılabilmiştir. Yapının avlusu şapla yükseltilmiş, zemin katta revak sütunlarının arası kapatılmış, dükkânlara dâhil edilmiştir. Han'ın zemin ve birinci kat odalarının çoğu 2018 yılına kadar boştur. Ayrıca Han'ın konaklama amacıyla kullanılan ikinci katı da doğa şartlarında çürümeye bırakılmıştır. Revakların, pencerelerin ve nişlerin çoğu kapatılmıştır.

Yaklaşık 56 yıldır küçük ve yerel işletmelerin bulunduğu ve oldukça kötü bir durumda olan Barutçu Han'ın ticaret işlevi ile restorasyonu 29.08.2014 tarihinde ihale ile başlatılmıştır. Bu yeni işlev ile Şanlıurfa'nın turizm değerlerinin ön plana çıkarılması ve kültürel turizmin kentte belli bir standarda ulaştırılması hedeflenmiştir. Yapının restorasyonu 2018'de tamamlanmış ve yapı koruma altına alınmıştır. Bu süreçte Barutçu Han'ın zemin katı restoran, kafe ve dükkânlar; birinci katı kafe, yöresel ürünlerin üretildiği atölyeler ve sergi salonu, ikinci katı ise kütüphane, teşbihçi, terzi gibi yöresel ürün üreten ve satan dükkânlara dönüştürülmüştür (Şekil 5). Bu restorasyon ile yapıda kapatılan revak, pencere ve nişler, güney kanadındaki giriş açılarak yapı orijinal hale getirilmiş ve strüktürü sağlamlaştırılmıştır. Yapının özgün halinde beşik tonozlu küçük odaların bulunduğu, restorasyon öncesi yıkık olan güney kanadına verilen sergi ve toplantı işlevi gereği, geniş mekan elde etmek amacıyla beşik tonoz yerine bu mekan çapraz tonozlarla ile yeniden oluşturulmuştur. Ayrıca yeni işlev sonrası ihtiyaç duyulan ıslak hacim mekânları yapının bütünlüğünü bozmayacak şekilde doğu ve batı kanada eklenmiştir.



Şekil 5. Barutçu Hanı'nın zemin kat ve birinci kat restorasyon projeleri (Gögebakan, 2012)



Barutçu Han'a yeni işlev verilerek yapılan restorasyon kente gelen turistlerin ziyaret ettiği Halil-ü Rahman Gölü'ne ve geleneksel çarşılarla yakın konumda olmasından dolayı turistlerin ihtiyacına yönelik gerçekleşmiştir. Böylece orijinal haline getirilen yapı turizme katkı sağlayarak kentin ihtiyacını karşılarken sürdürülebilir korunmasına da olanak vermiştir.



Şekil 6. Barutçu Hanı restorasyon sonrasındaki görüntümü (Gögebakan, 2022)

Barutçu Hanı yoğun anıtsal yapı grubu içinde merkezi bir konumdadır. Günümüzde yapıya yakın konumda bulunan Halil-ü Rahman Gölü ve Gümrük Hanı gibi yapıların restorasyonlarının tamamlanması ile ayağa kalkan tarihi bölge yerli ve yabancı turistlerin uğrak noktası olmuştur. Barutçu Hanı'nın yeni kullanımının yakın çevresine etkilerine bakıldığında otopark sorunu ve servis alımında sıkıntıları olduğu gözlenmiştir. Yapının ticaret ile işlevlendirilmesi yapının bütünlüğünü bozmamış, özgün mekânsal organizasyonuna uygun olmuştur (Şekil 6). Turistler ve yerli halk tarafından yoğun kullanımı nedeniyle kente katkı sağladığı görülmüştür.

Tarihi yapıların kentsel ve mimari ölçekteki özgün işlevlerinin verilen yeni işlevleri karşılar nitelikte olması beklenmektedir. Yapıldığı dönemde konaklama amacı güden han yapılarının çoğu günümüzde ticaret ya da ticaret-konaklama yapıları olarak kullanılmaktadır. Kıbrıs'ta bulunan Büyük Han Orta Çağ'da inşa edilmiş daha sonra Osmanlı Dönemi'nde konaklama amacıyla kullanılmış günümüzde ise geleneksel el sanatları ürünlerinin ve yerli sanatçıların sanat eserlerinin satıldığı ticaret yapısı ve kültür merkezi olarak yeniden işlevlendirilmiştir (Altan ve Özsoy, 2017). Vakıflar Bölge Müdürlüğü tarafından 2005'te restore ettirilen Diyarbakır Hasan Paşa Hanı'na da ticaret merkezi işlevi verilerek Suriçi'nde kültürel turizme katkı sağlanmıştır (Yıldırım, 2017). İlk yapıldığı yıllarda pamuk ticareti ve yolcu hanı olarak kullanılan, adını pamuk kozası anlamına gelen "Hışva"dan alan Hışva Hanı konaklama ve ticaret işlevi ile Gaziantep'te yerli ve yabancı turistlerin kent kültürüne tanıklık etmesi sağlanmıştır (Külekcı ve Özen, 2022). Tokat'ta bulunan, 2007 yılında restore edilmeye başlanan Deveci Hanı ise konservatuar olarak işlevlendirilse de yapının mekânsal ve fiziksel özelliklerinin bu yeni işleve uygun olmaması nedeniyle 2019 yılında tekrar boşaltılmıştır (Akın ve İzgi, 2021).

Görüldüğü üzere konaklama amacıyla inşa edilmiş olan han yapılarına yeni işlev verilirken; yapının içinde bulunduğu çevreyle uyumlu, fiziksel ve mekânsal özelliklerine uygun kullanımı hem yapının korunarak sürdürülebilirliği hem de kültürel turizmin sürekliliği için önemlidir. Bu bağlamda çalışmada ele alınan Barutçu Hanı'na verilen ticaret işlevinin yapının özgün fiziksel ve mekânsal özellikleri ile uyumlu olduğu, kentteki kültürel turizme katkı sağladığı görülmektedir.

#### 4. Sonuç

Yöreye özgü kültürel değerlerin korunmasında önemli rol oynayan kültürel miras, kültür turizmi açısından potansiyel bir kaynaktır. Daha önce birçok medeniyete ev sahipliği yapmış olan ülkemizin sahip olduğu zengin kültürel mirasın sürekliliğinin sağlanıp sonraki kuşaklara aktarılması için, tarihi çevrenin ve/veya yapının korunmasına gerekli önemin verilmesi gerekir. Bilinçli yapılan kültürel turizmin mirasın korunmasında olumlu etkilerinin olduğu görülmektedir. Kültür turizminde sürdürülebilir politikaların benimsenmesi yerel ve kültürel değerlerin korunmasına katkı sağlamaktadır.

Kültürel mirasın korunmasında süreklilik, var olan değerlerin uygun planlama ile yönetilmesine bağlı olarak gerçekleştirilebilir. Bu kapsamda Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi tarafından 2018'de restore ettirilen Şanlıurfa Barutçu Hanı'na ticaret merkezi işlevi verilmiştir. Bu işlev ile Han, Balıklı göl ve çevresinde kültürel turizmin ilgi odağı olarak kente gelen turistlerin ziyaret ettikleri bir mekâna dönüşmüştür. Yapıda, kültürel mirası koruma yaklaşımlarından olan yeniden kullanım yapılmasına karar verilmiştir. Özgün halinde konaklama ve ticaret amacıyla kullanılan hana yapılan restorasyon sonrasında sadece ticaret işlevi verilmiş, yapının bulunduğu konumun araç ve yaya trafiği açısından uygun olmamasından dolayı konaklama tercih edilmemiştir. Zemin katın sokağa bakan dükkânlarında yöresel ürünlerinin satıldığı dükkânlar, avluda ise kafe ve restoran yer almaktadır. Birinci katta kafeler, ikinci kattaki daha küçük dükkânlarda ise tespih vb. satılmaktadır. Restorasyon sonrasında yeni işlev verilen han, sürdürülebilir kültürel turizm ve kültür mirasın korunmasına aracı olarak kente gelen turistler için önemli bir durak olmuştur.

Tarihi çevre ve yapılar, uygun reklam ve pazarlama teknikleri ile kültürel turizmin dikkatini çekebilmektedir. Bu alanlarda turizmin getirdiği ekonomik kazanç; halkın bu yapıları daha fazla önemseyip korumasına katkı sunmaktadır. Kültür mirası olan bu yapıların korunmasında en çok tercih edilen yaklaşımların başında yeniden kullanım gelmektedir. Yapıyı görmeye gelen turistler, somut ve somut olmayan kültürel mirası yeniden işlevlendirilmiş bu yapılarda gözlemleyerek ekonomiye gelir kazandırmaktadır. Yeni işlev verilen bu yapıların bakım ve onarımında turistlerin beğenilerinin değerlendirilerek bütüncül koruma ilkelerine göre gerçekleştirilmesi önemsenmelidir. Dünya kültür mirası kapsamında birçok kültür varlığına sahip olmanın getirdiği sorumluluk bilinciyle, bu yapıları korumak ve belgeleyerek sonraki kuşaklara teslim etmek, mirasın sürekliliğini sağlanmasında en önemli görevlerimizdendir.

## **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

## **Kaynakça**

- AÇICI FK., Ertuş Ş., Sönmez E. Sürdürülebilir turizm: kültür turizmi ve kültürel miras. *Akademia Disiplinlerarası Bilimsel Araştırmalar Dergisi* 2017; 3(1): 52-66.
- Ahunbay Z. Tarihi çevre koruma ve restorasyon. İstanbul: YEM Yayınları; 1996.
- Akın ES., İzgi BD. Tarihi hanlarda yeni işlev: Deveci Han ve Taşhan, Tokat. *Vakıflar Dergisi*, 2021; 56: 143-162.
- Altan H., Özsoy ŞK. Tarihsel süreçten günümüze büyük han ve yeniden kullanıma adaptasyonda sosyokültürel sürdürülebilirlik bağlamında mekan işlevlendirilmesi. *Turkish Online Journal of Design Art and Communication* 2017; 7(4): 634-654.
- Ekici M. Bir sempozyumun ardından: somut olmayan kültürel mirasın müzelenmesi. *Millî Folklor* 2004; 61: 5-13.
- Ekinci A., Paydaş K. Taş devrinden Osmanlı'ya Urfa tarihi. Şanlıurfa: Şanlıurfa Valiliği; 2008.
- Emekli G. Coğrafya, kültür ve turizm: kültürel turizm. *Ege Coğrafya Dergisi* 2006; 15: 51-59.
- Dinçer Fİ., Ertuğrul SM. Kültürel mirasın korunması ve İstanbul ilindeki tarihi yapıların turizm amaçlı kullanımı üzerine bir deneme. *Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi* 2000; 11(2): 69-78.
- Gögebakan AY. Şanlıurfa Barutçu Hanı koruma ve restorasyon önerisi. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- Gürer N. Kırsal geleneksel konut dokusunun turizm bağlamında değerlendirilmesi: Cumalıkızık örneği. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 2003.
- Kızılırmak İ., Kurtuldu H. Kültürel turizmin önemi ve tüketici tercihlerinin belirlenmesine yönelik bir çalışma. *Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi Dergisi* 2005; 1: 100-120.
- Kolaç E. Somut olmayan kültürel mirası koruma, bilinç ve duyarlılık oluşturmada Türkçe eğitiminin önemi. *Millî Folklor* 2009; 82: 19-31.
- Kozak, N., Kozak, AM., Kozak M. Genel turizm (ilkeler, kavramlar). Ankara: Detay Yayıncılık; 2006.
- Küleki ÇK., Özen ES. Anadolu'da yolcu hanından konaklama yapısına Hışvahan: kültürel mirasın korunmasına yönelik bir yaklaşım. *İdealkent* 2022; 13(38): 2763-2792.
- McCool SF., Moisey RN. Introduction: path ways and pit falls in the search for sustainable tourism. *Tourism, Recreation and Sustainability* 2008; 1-16.
- McKercher B., Cross H. Cultural tourism, the partner ship between tourism and cultural heritage management. NewYork: Routledge Taylor&Francis Group Press; 2010.

- Öcal O., Özay Y., Tacar P. Unesco (17 Ekim 2003) somut olmayan kültürel mirasın korunması sözleşmesi; (çev. M. Öcal Oğuz, Yeliz Özay ve Pulat Tacar). Milli Folklor 2005; 65: 163-171.
- Özgüç N. Turizm coğrafyası özellikler ve bölgeler İstanbul: Çantay Kitabevi; 2003.
- Özme A. Urfa Barutçu (Yahudi) Hanı. Sanat Tarihi Dergisi 2005; 14(1): 241-259.
- Richards G. The development of cultural tourism in europe. Cultural attractions and european tourism. İngiltere: CAB International Publishing; Wallingford Oxon; 2001.
- Tapan M. Soru ve cevaplarla koruma: İstanbul: Türkiye Mimarlar ve Mühendisler Odası Birliği; 2007.
- Tighe AJ. Thearts/tourism partnership. Journal of Travel Research 1986; 24(3): 2-5.
- Tok C. Kültür turizm. Standard Ekonomik ve Teknik Dergisi 2005; 44(6): 42-43.
- Uslu A. Kiper T. Turizmin kültürel miras üzerine etkileri: Beypazarı/Ankara örneğinde yerel halkın farkındalığı. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi 2006; 3(3): 305-314.
- Yıldırım M. Kültürel turizm ve kültürel mirası koruma: Diyarbakır Hasan Paşa Hanı örneği. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 2017; 8(2): 335-344.
- WTO. The states' role in protecting and promoting culture as a factor in tourism development and properuse and exploitation of national cultural heritage of sites and monuments or tourists. World tourism organization,1986: Madrid.

## Türkiye'nin İthalat ve İhracatının Veri Madenciliği Yöntemleriyle Tahmini

İlker İbrahim AVŞAR<sup>1\*</sup>, Orhan ECEMİŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Bahçe MYO, Lojistik Bölümü, 80500, Osmaniye

<sup>2</sup>Gaziantep Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, 27310, Gaziantep

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-2991-380X>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-8270-0857>

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

### Araştırma Makalesi

### ÖZ

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 18.12.2022

Kabul tarihi: 14.03.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

İthalat

İhracat

Veri madenciliği

Weka

Ekonomik süreçlerin hızla değiştiği günümüz dünyasında dış ticaret her geçen gün daha da önemli hale gelmekte olup ülkeler ekonomik kalkınma açısından ihracatı önemli bir araç olarak görmektedirler. İhracata yönelik çabalar ülkelerin politika yapıcılarını açısından dikkatle izlenmektedir. Yine ülkelerin vaz geçemediği eylemlerden bir tanesi de ithalattır. Ülkeler açısından hem ithalat hem de ihracat verilerinin tahmin edilebilmesi yöneticilere avantaj sağlayacaktır. Çalışmada Türkiye'nin ithalat ve ihracat verileri tahmin edilmiştir. Tahmin için Türkiye'nin 1969-2022 yılları arasındaki verileri kullanılmıştır. Tahmin çalışmasında; Lineer Regresyon, MLPRegressor, Gaus Süreç Regresyon, RBF Regressor ve Destek Vektör Regresyon yöntemleri kullanılmıştır. İhracat tahmininde test verilerine göre %8,6987 MAPE değeriyle SmoReg algoritması en iyi sonucu vermiştir. İthalat tahmininde %7,6685 MAPE değeriyle yine SmoReg algoritması en düşük sonucu vermiştir. Çalışma MAPE kriterine göre Türkiye'nin ithalat verilerinin ihracat verilerine göre daha düşük hata oranıyla tahmin edilebildiğini göstermektedir.

## Forecast of Turkey's Import and Export by Data Mining Methods

### Research Article

### ABSTRACT

#### Article History:

Received: 18.12.2022

Accepted: 14.03.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Imports

Export

Data mining

Weka

In today's world, where economic processes are changing rapidly, foreign trade is gaining importance day by day. Countries consider exports as an important tool for economic development. Export efforts are carefully monitored by the countries' policy makers. One of the measures that countries cannot do without is imports. Estimating import and export data for countries is useful for managers. In this study, Turkey's import and export data were estimated. Data for the years 1969-2022 in Turkey were used for the estimation. Linear regression, MLPRegressor, Gaussian Process Regression, RBF Regressor and Support Vector Regression methods were used for estimation. The SmoReg algorithm provided the lowest result with a MAPE value of 8.6987% for the export estimate. The MLPRegressor algorithm provided the lowest result with a MAPE value of 7.6685 for the imports estimate. The study shows that according to the MAPE criterion, Turkey's import data can be estimated with a lower error rate than export data.

**To Cite:** Avşar İ., Ecemiş O. Türkiye'nin İthalat ve İhracatının Veri Madenciliği Yöntemleriyle Tahmini. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 1890-1907.

## 1. Giriş

Küreselleşmeyle birlikte ülkeler kendisini ticari anlamda dünya pazarının içerisinde bulmuştur (Bayat, 2013). Bu bağlamda Türkiye özellikle 1980 yılı sonrasında uygulanan politikalarla birlikte dünya ekonomisiyle bütünleşmeye yönelik çalışmalar yürütmektedir. Türkiye, Avrupa Birliği (AB) ve Ortadoğu gibi farklı pazarlara yönelik ticari ilişkiler içerisinde. Ülke son yıllarda ihracatını artırma ve ithalatını düşürme noktasında çaba içerisinde (Aslan ve Terzi, 2007;Tütünsatar, 2022). Kısacası genel çerçeveye göz attığımızda Türkiye’de 1980 yılından bu yana döviz gelirlerini yükseltme ve dış ticaret açığını kapamaya yönelik politikalar devam etmektedir (Subaşı Ertekin, 2001).

Dış ticaret bir ülkenin ekonomik süreçlerinin önemli parçasıdır. Gelişmekte olan ülkelerin ithalat ve ihracat süreçlerinde verimliliği arttırmaları gerekmektedir. Bu iki olgu birbiriyle ilişkilidir ve ithalatla ilgili yapısal sorunların aşılmasında ülkeler ihracata bel bağlamaktadır. İhracat aynı zamanda bir ülkenin yerli üretiminin gelişmesinde, teknolojik gelişimin sağlanmasında, üretimde kalitesinin yükselmesinde ve ekonomide dengenin sağlanmasında hayati öneme sahiptir. Bu açıdan bakıldığında ihracat rakamlarını doğru tahmin etmek, ülkenin makroekonomik planlarının geliştirilmesinde ve özellikle dış ticaret politikalarının belirlenmesinde çok önemlidir (Zhang ve ark., 2009).

Büyük oranda uluslararası ticaret teşvik edildiği günümüz dünyasında hem ithalat hem de ihracat önem taşımaktadır. Planlama bağlamında ülkeler açısından ele alındığında dış ticarete yönelik verileri doğru tahmin edebilmek büyük avantajlar sağlayacaktır (Dave ve ark., 2021). İthalat ve ihracat değerlerinde değişimin önceden tahmin edilmesi uluslararası ticarete yönelik planların doğru şekilde yapılarak konuyla ilgili doğru politika üretilmesi açısından önemlidir. Dış ticarete doğru tahminler yapılarak ülke ekonomisini akılcı yönetmek mümkün olacaktır (Yuan, 2017).

Veri madenciliğine yönelik uygulamalar her geçen gün akademik camianın daha fazla ilgisini çekmektedir (Durmuşoğlu, 2017). Konuya ilişkin literatür incelendiğinde; Weka programı kullanılarak yapılan akademik çalışmalara karbon emisyon hacminin tahmini, hastalık tedavi başarımlarının tahmini, müşteri kayıp tahmini, talep tahmini, gelir tahmini, ülkelerin gelişmişlik tahmini gibi farklı örnekler bulunmaktadır (Kılıç ve ark., 2018; Demirci ve Karaatlı, 2019;Uzun ve ark., 2019; Aydemir ve ark., 2020;Abuzir ve Abuzir, 2021;Uyar Erdem ve ark., 2021).

Dış ticaret verilerinin öneminden hareketle çalışmada Türkiye’nin ithalat ve ihracat değerlerine yönelik tahmin yapılmıştır. Tahminde Lineer Regresyon, MLPRegressor, Gaus Süreç Regresyon, RBF Regressor ve Destek Vektöre Regresyon algoritmaları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan veriler 1969-2022 yılları arasında kapsamaktadır. Çalışma, Türkiye’nin ithalat ve ihracat verilerinin tahmin edilebilirlik seviyesini göstermesi açısından önem taşımaktadır.

Çalışmada hata değerlendirme kriteri olarak Atsalakis ve ark. (2015), Boonyakunakorn ve ark. (2018) ve Dave ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmalarla uyumlu olarak MAPE, RMSE, MSE ve MAE kullanılmıştır.

## 2.Literatür Araştırması

### 2.1. Veri Madenciliği

Veri madenciliği; güncel durumda verinin işlenerek bilgiye dönüştürülmesi konusunun öneminden aldığı güçle veriden öğrenme ve veriyle tahminde bulunma odaklı gerçek dünya uygulamalarda kendine yer bulmaktadır (Albayrak ve Yılmaz, 2009; Alaeddinoğlu ve ark., 2014). Veri madenciliği güncel çalışmalarda genellikle vektör uygulamaları şeklinde olmasına karşın zaman içerisinde çok daha karmaşık veri türleri üzerinde çalışılıyor olması olasıdır (Kriegel ve ark., 2007). Sürekli gelişim içerisinde olan veri madenciliği, teknoloji odaklı dünyada büyük verileri hızlı şekilde anlamlandırmaktadır. Bir konu hakkındaki eğilimlerin ortaya konması ve gelecekte yapılacak çalışmalara yol göstermesi gibi önemli misyona sahiptir (Akgün ve Bulut Özek, 2020).

Veri madenciliği istatistiksel modellere dayanan ve büyük veri kümelerinde analiz yapmaya olanak bir alandır (Emre ve Selçukcan Erol, 2017). Veri madenciliği; bankacılık, tıp, ekonomi, iletişim teknolojileri, yazılım ve eğitim gibi farklı alanlarda uygulanabilmektedir (Özbay, 2015; Gürsoy ve Bilgin, 2016; Akgün, 2106; Özdemir ve ark., 2018; Artsın, 2019). Eğitim alanında öğrenci başarısının değerlendirilmesi, tıp alanında hastalık belirtileri odaklı şablonlar oluşturulması, ekonomiye yönelik uygulamalarda müşteri ve pazar analizine yönelik uygulamalara rastlanmaktadır. Bankacılık ve borsa odaklı çalışmalar daha çok tahmin ağırlıklı olarak ortaya çıkmaktadır (Savaş ve ark., 2012).

Veri madenciliği giderek kullanımı artan alan olmanın yanı sıra kritik bir teknoloji olmasıyla da öne çıkmaktadır. Büyük miktarlarda verinin üretildiği sektörlerde veri madenciliği stratejik öneme sahiptir (İrmak ve ark., 2012). Veri madenciliğine yönelik çok farklı alanda uygulamalar bulunmaktadır. Tablo 1’de bu uygulamalara örnekler verilmektedir.

**Tablo 1.** Veri Madenciliğine Yönelik Diğer Literatür.

<b>Yazar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>Raza ve ark. (2009)</b>	Pakistan’ın ihracatına yönelik veri madenciliği uygulamasını 2004-2007 yılları arasındaki verileri kullanarak yapmışlardır.
<b>Özel ve Topsakal (2014)</b>	9 farklı algoritma kullanarak beton basınç dayanımını belirlemişlerdir. Kullandıkları algoritmalar: “Gaussian Processes”, “Linear Regression”, “Multilayer Perceptron”, “SMOreg”, “IBK”, “KStar”, “Additive Regression”, “Bagging” ve “M5Rules” şeklindedir. Değerlendirme kriteri olarak Korelasyon Katsayısı, Ortalama Mutlak Hata (MAE), Karekök Ortalama Hata (RMSE) ve Nisbi Mutlak Hata (RAE) kriterlerini kullanmışlardır. En iyi sonucu Kstar algoritmasından elde etmişlerdir.
<b>Sebik ve Bülbül (2018)</b>	Akciğer kanseri teşhisinin daha doğru yapılabilmesi için veri madenciliği modellerini kullanılmıştır. Çalışmadan “Naive Bayes “, “Bayes Net”, “Lojistik reg.”, “Multilayerpercep.”, “KStar”, “Bagging”, “OneR”, “ZeroR”, “J48” ve “Random Tree” algoritmaları kullanılmıştır. En iyi sonucu “Naive Bayes” algoritmasıyla elde etmişlerdir.
<b>Garcia Rodriguez ve ark. (2021)</b>	Kamu ihalelerinde fiyatı tahmin eden uygulamalarında doğrusal regresyon ve rastgele orman gibi geleneksel regresyon yöntemlerinin yanı sıra izotonik regresyon ve popüler yapay sinir ağı modelleri yani göreceli olarak daha yeni yöntemleri de kullanmışlardır.
<b>Ayanoğlu ve Kurt (2019)</b>	Yapay sinir ağı algoritması kullanarak metal sektörüne yönelik kaza tahmin modeli oluşturmuşlardır. Modelde 165 işletmeye ait çok değişkenli veri kümesi kullanılmıştır. Model %90 doğruluk oranını yakalamıştır.

<b>Aydemir (2019)</b>	Yabancı dil 2 dersini alan öğrencilerin 2017-2018 eğitim yılındaki verilerini kullanarak ders geçme notunu tahmin etmiştir. Çalışmada öğrencilerin başarı durumunu önceden öngörmek amaçlanmaktadır. Uygula Weka programında farklı 19 algoritma kullanılarak gerçekleştirilmiştir. En iyi tahmin sonucu Bagging (M5P) algoritmasıyla elde edilmiştir.
<b>Acı ve Ayyıldız Doğansoy (2022)</b>	Yerel bir dükkânın 2019-2020 ürün satış verileri üzerinde tahmin modelleri oluşturmuşlardır.
<b>Kitessa ve ark. (2021),</b>	Sürdürülebilir bir kentsel planlama için uzun vadeli su ve enerji tahminini Weka yazılımı kullanarak yapmışlardır. Çalışmada doğrusal regresyon modeli kullanılmıştır.
<b>Özarı ve Demirkale (2022)</b>	2008-2021 yılları arası BIST100, BIST50, BIST30, Avro/TL ve Dolar/TL kapanış fiyatlarını kullanarak tahmin çalışması yapmışlardır. Çalışmada elde edilen tahmin sonuçları bir sonraki gün için al-sat-bekle kararını vermede kullanılmıştır. Uygulamada k-NN algoritması tercih edilmiştir.

## 2.2. Benzer Çalışmalar

Lehmann (2020), Eurostat verilerini kullanarak 1996-2016 yıllarını ve 18 ülkeyi kapsayan Avrupa ülkeleri ihracat tahmini yapmıştır. Çalışmada, standart otoregresif dağıtılmış gecikme (ADL) modeli kullanılmıştır.

Zhang ve ark. (2009), Çin'in Hubei eyaletinin ihracat rakamlarını tahmin etmek için gri sistem teorisinden GM (1,1) modelini kullanmışlardır. Bu model elde bulunan veriye dayanarak tahmin modeli geliştirilmesini sağlamaktadır. Çalışma araştırmaya konu olan eyaletin ihracatının 2009 yılında artacağını göstermektedir.

Narayan ve ark. (2008) Fiji'nin ithalatını ve ihracatını tahmin etmişlerdir. Çalışmada otoregresif hareketli ortalama (ARMAX) modeli kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ilgili dönemde ithalatın ihracattan daha yüksek artacağı ve bu durumun dış ticaret açığını yükselteceği ortaya konmuştur. Çalışmada model hata değerlendirme kriteri olarak MAPE kullanılmıştır.

Wong ve ark. (2010), Tayvan ihracatının tahmininde klasik zaman serisinin uygulamasına yönelik ARIMA modelini ve Vektör ARMA modelini kullanmıştır. Ayrıca Bulanık Zaman Serisi Yöntemine yönelik olarak İki faktörlü model, Sezgisel model ve Markov modeli tercih edilmiştir. Sonuç kısa zaman serilerinde bulanık modelin daha iyi olduğunu göstermektedir.

Yuan (2017), PSO (Particle Swarm Optimization Algorithm) ve GMDH (Particle swarm Method of Data Handling) modelini kullanarak Shenzhen bölgesinin ithalatının ve ihracatının tahminini yapmıştır. Tahmin önce tek başına GMDH ağıyla yapılmıştır. İkinci tahmindeyse PSO ve GMDH birlikte kullanılmıştır. Sonuçlar ikinci modelin daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir.

Boonyakunakorn ve ark. (2018), Tayland'ın ASEAN ülkelerine ihracatını tahmin etmişlerdir. Çalışmada SETAR, LSTAR, MSAR ve Kink AR modeli olmak üzere dört doğrusal olmayan model kullanılmıştır. Bu dört modelle karşılaştırmak için AR analizi de yapılmıştır. Değerlendirme kriteri



olarak RMSE ve MAE tercih edilmiştir. Sonuçlar SETAR modelinin diğerlerinden daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir.

Urrutia ve ark. (2019), Filipinler'in ithalat ve ihracat tahminlerinde Otoregresif Bütünleşik Hareketli Ortalama (ARIMA) ve Bayesian Yapay Sinir Ağı (BANN) kullanılmışlardır. Çalışmanın amacı bu iki modelin karşılaştırılmasıdır. Veriler 1993-2017 yılları arasını kapsamaktadır ve bu döneme ait 100 gözlem bulunmaktadır. Model hata değerlendirme kriteri olarak MSE, NMSE, MAE, RMSE ve MAPE kullanılmıştır. Çalışma BANN modelinin daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir. Çalışma ithalata ve ihracata yönelik tahminde Filipin ekonomisine katkıda bulunma gibi bir amaca sahiptir.

Eckert ve ark. (2021), büyük bir zaman serisi veri kümesiyle desteklenen İsviçre dış ticaretine yönelik tahmin çalışmasında Bayes modelini temel almıştır. Yöntemin elde ettiği sonuç umut verici olarak değerlendirilmektedir.

Sohrabpour ve ark. (2021), yapay zekâ tekniklerinden olan genetik algoritma kullanarak bir firmanın ihracat tahmin modellemesini yapmışlardır. Tahmin 6 haftalık süreci kapsamaktadır. Elde edilen tahmin sonuçları gerçek değerlerle karşılaştırılmaktadır.

Ghauri ve ark. (2020), 2002-2019 yıllarını kapsayan ithalat ve ihracat verilerini kullanarak Pakistan dış ticaretine yönelik tahmin çalışması yapmışlardır. Box Jenkins, AR ve ARIMA kullanılan modellerdendir. Modelde hata değerlendirme kriteri olarak RMSE ve MAE kullanılmıştır.

Liu (2021), dış ticaret verilerinde tahmin odaklı çalışmasında sinir ağı ve bulanık teoriyi birleştirilerek oluşturduğu karma modeli kullanmıştır.

Dave ve ark. (2021), Endonezya'nın ihracat tahminine yönelik modelde makine öğrenmesi tekniklerini kullanmışlardır. Çalışma Endonezya hükümetlerine doğru ihracat tahmin modeli önermektedir. Analiz 1998 sonrası aylık verileri kapsamaktadır. Çalışmada LSTM ve ARIMA modelleri karma çerçevede kullanılmıştır. LSTM, verilerin doğrusal olmayan bileşenlerinde ve ARIMA verilerin doğrusal bileşenlerinde kullanılmıştır. Karma model %7.38 MAPE ve RMSE  $1.66 \times 10^{13}$  değerinde sonuç üretirek bağımsız modellerden daha iyi sonuç elde etmiştir.

Wang (2022) ithalat ve ihracat hacmi tahmininde denetimli öğrenme modeli olan RVM kullanmıştır. Ardından RVM ve PSO modellerini karma olarak kullanmıştır.

Han ve ark. (2022) zaman serisi olarak elde edilen Çin'in ihracat hacmini Destek Vektör Sinir Ağı (SVNN) algoritması kullanarak tahmin etmiştir. Modelin hata değerlendirme oranı %10 seviyesinin altında sonuç vererek çok iyi performans göstermiştir.

### **3. Materyal ve Metot**

Türkiye İhracat ve İthalat değerleri; WEKA programında yer alan algoritmalarından SMOReg, MLPRegressor, Gaus Süreç Regresyon, RBF Regressor ve Doğrusal Regresyon yöntemleriyle 1969-2022 yılları arasındaki veriler kullanılarak tahmin edilmiştir. Veri seti %80-%20 oranında eğitim ve test verileri olmak üzere 2 ye ayrılmıştır. Çünkü bahsi geçen yıllar arasındaki veri seti kullanılarak

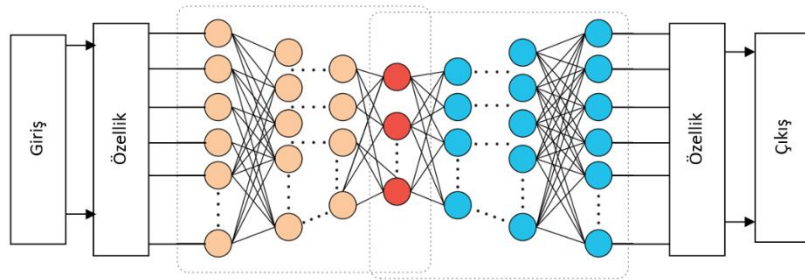
Türkiye'nin ithalat ve ihracat değerleri üzerinde tahmin çalışması yapılacaktır. Yapılan tahmin sonucunda ithalat ve ihracat verilerinin farklı algoritmalara göre performansı karşılaştırılacaktır.

### 3.1.Tahmin Modeli

Türkiye'nin ithalat ve ihracat değerlerinin veri madenciliği yöntemleriyle (SMOreg, MLPRegressor, Gaus Süreç Regresyon, RBF Regressor ve Doğrusal Regresyon) tahmin edilmesi ve tahmin sonuçlarının karşılaştırılması çalışmanın modelini oluşturmaktadır. Çalışmada veri madenciliği aracı olarak seçilen Weka yazılımı farklı algoritmaların kullanıma olanak tanımaktadır (Eibe ve ark., 2016; Purlu ve Türkay, 2021). Çalışma kapsamında oluşturulan tahmin modelleri karşılaştırılmıştır.

#### 3.1.1 Radial Basis Functions (RBF Regressor)

Şekil 1'de yer alan RBF ağı, üç katmanlı bir ileri beslemeli yapay sinir ağ modeli olarak düşünülebilir. RBF sinir ağı modelinde, giriş özellikleri  $X_k = (x_1, x_2 \dots x_n)$ ,  $k=1,2,\dots,m$  şeklinde ifade edilmektedir. Burada m-n ve m-n sırasıyla toplam örnek sayısını ve bir örneğin toplam özellik sayısını ifade etmektedir. Genel olarak giriş katmanındaki nöron sayısı toplam öznelik sayısı birbirine eşittir. Girdi katmanındaki nöron sayısı, örnek öznelikler filtrelendikten sonra genellikle özneliklerin toplam sayısından daha azdır (Yu, 2022).



Şekil 1. Yu (2022) kaynağına göre RBF modeli

Yu (2022) tarafından verilen modelde k örneğinin çıktısı  $Y_k = (y_1, y_2 \dots y_n)$  ve n çıktı katmanındaki nöron sayısıdır. İlk olarak, girdi örnekleri, birinci gizli katmanın değerlerini verecek şekilde ağırlıklandırma katsayılarıyla ayarlanır (Eşitlik 1).

$$S_{1j} = \sum_{i=1}^n W_{1ij}X_i - \theta_{1j}, j = 1, 2, \dots, p. \quad (1)$$

Eşitlik 2'de olduğu gibi oluşturulan katmanın değerlerinin dönüştürülmesi gerekir.

$$b_{1j} = \exp\left(\frac{\left\|\sum_{i=1}^n W_{1ij}X_i - \theta_{1j} - c_j\right\|^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

Burada  $\sigma$ , 0'dan büyük gerçekte sayıdır,  $c_j$  ise j gizli katman merkezidir. RBF sinir ağı için seçilen özellik dönüştürme fonksiyonu Gauss fonksiyonudur. Birinci gizli katman girdi olarak kullanılır ve ağırlık katsayıları ayarlandıktan sonra ikinci gizli katmana ait değerler elde edilir (Eşitlik 3).

$$S_{2j} = \left( \sum_{i=n+1}^{2n} W_{2ij} X_j + \theta_{1j} \right) + \sum_{i=n+1}^{2n} \sum_{j=1}^p W'_{ij} b_{1j} - \theta_{2j} \quad (3)$$

Eşitlik 4'te gösterildiği gibi dönüştürme işlevi daha sonra çözüm işlemini gerçekleştirmek için kullanılır.

$$b_{2j} = \exp \left( \frac{\left\| \sum_{i=n+1}^{2n} W_{2ij} X_j + \theta_{1j} + \sum_{i=n+1}^{2n} \sum_{j=1}^p W'_{ij} b_{1j} - \theta_{2j} - c_j \right\|^2}{2\sigma^2} \right) \quad (4)$$

Oluşturulan tüm katmanlardan sonra çıktı, ek ağırlıklar  $V_{ij}$  gerektirir (Eşitlik 5).

$$L_t = \sum_{j=1}^p V_{jt} b_{2j} \quad (5)$$

Tüm modelin çıktısını elde etmek için Eşitlik 6'da olduğu gibi Gauss fonksiyonu çözülür.

$$C_t = \exp \left( - \frac{\left\| \sum_{i=1}^n V_{jt} b_{2j} - c_j \right\|^2}{2\sigma^2} \right) \quad (6)$$

k-inci örnek için hata sonuçları aşağıdaki gibi gösterilir (Eşitlik 7):

$$E_k = \frac{\sum_{t=1}^q (y_t^k - C_t^k)}{2} \quad (7)$$

Tüm örnekler için hatalar Eşitlik 8'de gösterilmiştir:

$$E = \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^q \frac{(y_t^k - C_t^k)}{2}, \Delta v_{jt} = \frac{-\partial E_K}{\partial v_{jt}} \quad (8)$$

Örtülü ve çıktı katmanları arasındaki ağırlıklar:  $\Delta W_{jt} = \alpha d_t^k b_{j,t}$ ,  $j = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m$ , şeklindedir. Burada,  $\alpha$  öğrenme hızıdır ve  $d = (y_j^k - C_j^k)t(1 - C_j^k)$  olarak gösterilir.

### 3.1.2. SMOreg

Destek Vektör Makineleri (DVM) Cortes ve Vapnik (1995), istatistiksel öğrenme teorisi üzerine yapmış oldukları çalışmalarda sınıflandırma problemlerinin çözümü için öne sürülmüştür. Destek Vektör Regresyon yöntemi ise Smola ve Scholkopf (2004) ve Shevade ve ark. (2000) tarafından DVM'lerin regresyon problemlerine çözümü için öne sürülmüştür (Witten ve Frank, 2005). Sıralı En Düşük Optimizasyon (Sequential Minimal Optimization Regression) algoritması DVM yönteminin regresyon problemlerine uyarlanmasıdır.

Regresyon analizi; tahmin probleminde değişkenler arasındaki ilişkiyi ele alan bir modeldir. SMOreg, sıradan SMO'da bulunan tek eşliğin neden olduğu kaotik ve verimsiz problemin üstesinden gelir ve ikili problemle ilgili optimizasyon yönergelerinden ipuçları alır. İki eşik parametresi kullanır ve orijinal SMO'dan daha verimlidir. SMOreg, model olarak yapısal risk minimizasyonu kısıtlamalarını kullanır. Regresyon tahmini ve doğrusal olmayan, küçük örnek verileri işleme konusunda iyidir. Bu nedenle SMOreg, zaman serisi verilerini doğru şekilde tahmin edebilir (Wang ve ark., 2012).

DVM regresyon analizinin birincil amacı, her giriş vektörü ( $v_i$ ) için en uygun hedef değerleri ( $t_i$ ) gösteren hiperdüzlem (Denklemler (9) ve (10)) için bir  $f(v)$  fonksiyonu bulmaktır. Bu, veri noktalarını içeren setin ( $v_i, t_i$ ) eğitilmesiyle yapılır (Platt, 1998):

$$f(v) = h \cdot j(v) + b \quad (9)$$

$$m = \frac{1}{\|\eta\|_2} \quad (10)$$

Eğitim için  $v_i = i$ th vektörlerinin girişi;  $t_i = i$ th hedef vektörleri,  $i$ 'inci giriş vektörlerine karşılık gelir;  $b =$ yanlılık;  $\eta =$  hiperdüzlemin normal vektörü;  $m =$ marj. Marj,  $m$ , eşitlik 11 aracılığıyla optimizasyon analiziyle maksimize edilir.

Marj, Denklem (11) aracılığıyla optimizasyon analizi yöntemiyle maksimize edilir:

$$\min_{n, b} \frac{1}{2} \|\eta\|^2 \text{ subject to } t_i (\eta \cdot v_i) \geq 1, \forall i \quad (11)$$

Optimizasyon problemini ikili forma dönüştürmek için Lagrange çarpanları kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanan amaç fonksiyonları Denklem (12) ve (13) ile verilmektedir.

$$\min_{\vec{\beta}} \delta(\vec{\beta}) = \min_{\vec{\beta}} \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N t_i t_j (\vec{v}_i \cdot \vec{v}_j) \beta_i \cdot \beta_j - \sum_{i=1}^N \beta_i \quad (12)$$

$$\beta_i \geq 0, \forall i \text{ ve } \sum_{i=1}^N t_i \beta_i = 0 \quad (13)$$

$N$ , eğitim örneklerinin sayısıdır. Cortes ve Vapnik (1995), Denklemlerde (14–16) verildiği gibi, hatanın öncelik değerinden küçük olduğu durumlarda hata düzeltmeleri yapmak için duyarsız kayıp fonksiyonunu kullanmışlardır.

$$\min \frac{1}{2} \|\eta\|^2 + C \sum_i X_j + X'_i \quad (14)$$

$$t_i - \eta \cdot v_i - b \leq \varepsilon + X_i \quad (15)$$

$$X_j \cdot X'_i \geq 0 \quad (16)$$

Burada  $X$  değişkenlerin kenar boşluklarını geçemez,  $C$  bir parametredir ve  $\varepsilon$  priori'dir. Primal problem olarak bilinen optimizasyon problemi, yukarıda verilen DVM formülasyonu kullanılarak çözülmüştür. Kısıtları değiştirmek için optimizasyon problemi değişkenleri içermeyen ikili forma dönüştürülür. Ardından, çıktıyı elde etmek için doğrusal olmayan SVM, Eşitlik 17'de gösterildiği gibi Lagrange çarpanları kullanılarak çözülür. Platt, 1998 tarafından verilen modelde girdi vektörü ile saklanan eğitim vektörü arasındaki mesafeyi belirlemek için  $K$  adlı kernel fonksiyonu kullanılır.

$$f = \sum_{j=1}^N t_j \beta_j K(\vec{v}_j, \vec{v}) - b \quad (17)$$

### 3.1.3. Gauss Süreci

Gauss süreci; sonlu sayıdaki değişkenlerle ilgilidir. Gauss süreci ortalama fonksiyonu  $m(x)$  ve kovaryans fonksiyonu  $k(x, x')$  tarafından belirlenir. Bu vektör veya matrisin ortalama ve kovaryansa göre Gauss dağılımının genel sıralamasını ifade etmektedir. Sürece ilişkin adımlar aşağıda verilmektedir (David, 1998; Rasmussen, 2004):

Gauss süreciyle ilgili fonksiyon Eşitlik 9'da verilmektedir.

$$f \sim GP(m, k) \quad (9)$$

Gauss sürecinde değişkenler vektördeki konumuna göre indekslenir. Dizin kümesi  $x$  ile ifade edilir. Her  $x$  girişi için rastgele  $f(x)$  değeri vardır. Eşitlik 10'da uygulanabilir bir Gauss süreci verilmektedir.

$$m(x) = \frac{1}{4}x^2, \text{ ve } k(x, x') = \exp\left(-\frac{1}{2}(x, x')^2\right) \quad (10)$$

Eşitlik 11 düzenli Gauss sürecini vermektedir. Süreç ve dağılımı ifade edebilmek için  $m$  ve  $k$  kullanılırken ilki için  $\mu$  ve ikincisi için  $\Sigma$  kullanılmaktadır. Bu noktada  $x$ 'e karşılık gelen  $f(x)$  rasgele vektör oluşturulabilecektir.

$$\mu_i = m(x_i) = \frac{1}{4}x_i^2, i = 1, \dots, n \text{ ve } \Sigma_{ij} = k(x_i, x_j) = \exp\left(-\frac{1}{2}(x_i, x_j)^2\right), i, j = 1, \dots, n \quad (11)$$

Bu süreçlerden sonra verilerin eğitim aşamasına geçilmektedir. Veriler eğitim ve test olarak ikiye ayrılır. Kovaryans vektörü hesaplanır ve tahmin bu altyapı üzerinde yapılır.  $f$  eğitimin bilinen fonksiyonu olduğunda ve  $f^*$  test verisi olduğunda eşitlik 12 oluşacaktır

$$\begin{bmatrix} f \\ f^* \end{bmatrix} \sim N\left(\begin{bmatrix} \mu \\ \mu^* \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \Sigma & \Sigma^* \\ \Sigma^{*T} & \Sigma^{**} \end{bmatrix}\right) \quad (12)$$

Sonrasında test verileri bilindiği için tahminle bilinen test verisi arasındaki ilişkiye yoğunlaşmaktadır.

### 3.1.4. MLP regresyon

MLPRegressor algoritması ileri beslemeli yapay sinir ağlarının regresyon problemlerine uyarlanmasıdır (Pereira ve Aires, 2018). Weka MLP regresyon (MLPRegressor) optimizasyon sınıfı kullanılarak verilen kayıp fonksiyonu ve Newton-benzeri yöntemlerden BFGS, (BroydenFletcher-Goldfarb-Shanno) yöntemiyle ikinci dereceden cezayı optimize ederek tek bir gizli katmana sahip algılayıcıyı eğitmektedir. Ridge parametresi ağırlıkların boyutu üzerindeki cezayı belirler. Çıkış katmanında sınıflandırma için sigmoid fonksiyonu kullanılır. Giriş katmanı için yaklaşık sigmoid değeri belirlenmişse çıkış katmanı için de kullanılabilir (George-Nektarios, 2013):

- Gizli birim sayısı; varsayılan değer 2'dir.
- Sırt (Ridge) parametresi: ağırlıkların büyüklüğündeki cezayı belirlemek için kullanılır.
- Aktivasyon fonksiyonları;
  - Yaklaşık sigmoid:  $f(x) = 1/(1 + e^{(-x)})$

- Sigmodi:  $f(x) = 1/(1 + e^{-x})$
- Softplus:  $f(x) = \ln(1 + e^x)$
- Kayıp fonksiyonu;
  - Yaklaşık Mutlak Hata:  $loss(a, b) = \sqrt{(a - b)^2 + \epsilon}$
  - Karesel Hata:  $loss(a, b) = (a - b)^2$
- Delta değerleri için tolerans parametresi
- Eğitim ivmesi için eşlenik gradyan girişi

### 3.1.5. Doğrusal regresyon

İçerisinde birden fazla fonksiyon barındıran doğrusal regresyon birçok bilim dalında kullanılan ve tahmin uygulamaları yapılabilen önemli bir modeldir (Weisberg, 2005; Kılıç, 2013; Nagy, 2018).

Doğrusal regresyon, tüm nitelikler sayısal olduğunda üzerinde durulması gereken klasik bir tekniktir. Doğrusal regresyon sayısal tahmin için mükemmel modeldir. Sınıfı önceden belirlenmiş ağırlıklarla niteliklerin doğrusal kombinasyonunu ifade etmektedir. X'in sınıfı, a özellik ve w ağırlık değeri olduğu durumda Eşitlik 13 ve sonraki adımlar oluşmaktadır. Aşağıda doğrusal regresyon modelinin ana hatları verilmektedir (Witten ve ark., 2017):

$$x = w_0 + w_1 a_1 + w_2 a_2 + \dots + w_k a_k \quad (13)$$

Ağırlıklar eğitim verilerinden hesaplanır. İlk örneğin sınıfı için tahmin edilen değer Eşitlik 14'de verilmektedir.

$$w_0 a_0^1 + w_1 a_1^1 + w_2 a_2^1 + \dots + w_k a_k^1 = \sum_{j=0}^k w_j a_j^1 \quad (14)$$

Sınıfın tahmin edilen değerlerine ulaşıldıktan sonra önemli olan tahmin edilen değerle gerçek değer arasındaki farktır. En küçük kareler doğrusal yöntemi tüm eğitim örnekleri üzerinde bu farkların karelerinin toplamını en aza indirmek için  $w_j$  katsayılarını seçmektir. O zaman farkların kareler toplamı Eşitlik 15 gibi olmaktadır.

$$\sum_{i=1}^n \left( x^{(i)} - \sum_{j=0}^k w_j a_j^{(i)} \right)^2 \quad (15)$$

### 3.2. Model Değerlendirme Kriterleri

Zaman serilerinde tahmin sonuçları birçok kriterle değerlendirilebilmektedir. En sık kullanılan değerlendirme araçları RMSE ve MSE/MAPE olarak görülmektedir (Yurduseven ve Müngen, 2022). MAPE tahminin doğru şekilde ölçülmesini sağlar (Smith ve Sincich, 1988). Benzer işi yapan RMSE, model hatasının standart sapmasıdır. RMSE hesaplanırken tahmin değeriyle gerçek değer arasındaki fark hesaplanır. Sonrasında ortalama değer kökü hesaplanmadan önce fark değerinin karesi alınır. MAE, tahmin edilen ve gerçek değer arasındaki mutlak farkların ortalamasıdır (Kitesa ve ark., 2021). Eşitlik 16 Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error, MAE), eşitlik 17 Karekök Ortalama Hata (Root Mean Square Error, RMSE), eşitlik 18 Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (Mean Absolute

Percentage Error, MAPE), eşitlik 19 Ortalama Kare Hata (Mean Square Error, MSE) değerlendirme ölçütlerinin genel çerçevesini vermektedir (Emeksiz ve ark., 2016; Namlı ve ark. 2019; Garcia Rodriguez ve ark., 2021).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y - y'| \quad (16)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (17)$$

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{e_i}{y_t} \right| \quad (18)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - X_i) \quad (19)$$

MAE, performans ölçütünün belirli bir olayın olasılığı olduğu durumlarda sistemin simülasyonu ve analizinde kullanılabilir (Mendo, 2009). Alt limiti MAE'ye sabitlenen RMSE, hata büyüklüklerinin dağılımı daha değişken hale geldikçe MAE değerine göre daha büyük olma eğilimindedir (Willmott ve Matsuura, 2005). Myttenaere ve ark. (2016), MAPE'yi göreceli hata açısından sezgisel yorumu nedeniyle pratikte sıklıkla kullanılan model olarak görmektedir. MAPE, bu özelliğiyle göreceli değerlerin ölçüldüğü finansla ilgili modellemelerde kullanılabilir. MAPE, gerçek dünya olaylarında tahmin edilen değerlerin sıfırın üzerinde olduğu durumlarda kullanılabilir uygun seçenek olarak görülmektedir.

Lewis (1982), MAPE değerinin %10 altında olması durumunda bunu yüksek doğrulukta tahmin olarak değerlendirmektedir. Sonrasında %10-%20 arası tahmin iyi, %20-%50 arası tahmin makul, %50 üzeri tahmin ise yanlış tahmin olarak görülmektedir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Finansal tahmin problemlerinde farklı algoritmalar kullanılabilir (Basak, 2007). Ulaşılabilen literatürde Weka kullanılarak Türkiye'nin ticaret verilerine yönelik yeterli tahmin çalışması bulunmamaktadır. Dış ticaret verilerinin öneminden hareketle çalışmada Türkiye'nin ithalat ve ihracat değerlerine yönelik tahmin yapılmıştır. Tahminde Lineer Regresyon, MLPRegressor, Gauss Süreç Regresyon, RBF Regressor ve Destek Vektöre Regresyon algoritmaları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan veriler 1969-2022 yılları arasını kapsamaktadır. Çalışma bu noktadaki literatürü desteklemesi açısından önem taşımaktadır.

Vaka çalışması Türkiye'nin ithalat ve ihracat verilerini kapsamaktadır. 1969 yılından başlayarak 2022 yılının ilk 7 ayını kapsayan TÜİK ithalat ve ihracat verileri çalışmanın veri setini oluşturmaktadır. Veri seti 703 adet aylık değeri kapsamaktadır. Namlı ve ark., (2019) tarafından belirtildiği gibi makine öğrenme modellerinden en iyi verimi elde edebilmek için veriler normalize edilmiştir.

Aksu ve Doğan (2019), Urfaloğlu ve Şahin (2022) tarafından yapılan çalışmada dile getirildiği gibi Weka programı veri madenciliğine yönelik akademik çalışmalarda kullanılabilir ve buradan hareketle analizlerde Weka programı tercih edilmiştir. Weka programının açık kaynak kodlu olması diğer bir tercih sebebidir.

Acı ve Ayyıldız Doğan (2022) tarafından ifade edildiği gibi makine öğrenmesi modellerinde veriler eğitim ve test verisi olarak ikiye ayrılabilir. Örneğin %80 eğitim ve %20 test verisi olarak ikiye ayrılmış veri setinde model performans ölçütü olarak test verisinde elde edilen sonuç değerlendirilmelidir (Namlı ve ark., 2019).

Türkiye ihracat tahmininde Tablo 2’de yöntemlerin eğitim aşaması kriter değerleri yer almaktadır. Eğitim aşaması kriter değerlerinin sonuçlarına göre; MAPE oranları %12,6080 değeriyle MLPRegressor algoritması en düşük değere sahiptir. %18,6803 değeriyle SmoReg algoritmasına en yüksek değere sahiptir.

**Tablo 2.** İhracat tahmini eğitim aşaması

	MAE	MAPE	RMSE	MSE
<b>Lineer Regresyon</b>	274113929,1	13,5595	548001058,1	300.305.159.672.289.000
<b>MLPRegressor</b>	244596383,2	12,6080	511000479,4	261.121.489.896.288.000
<b>Gaussian</b>	267608275,5	13,5019	540941733,8	292.617.959.339.646.000,00
<b>RBF Regressor</b>	264382881,3	14,5418	543485494,3	295.376.482.524.545.000,00
<b>SmoReg</b>	257.733.116	18,6803	551728517,9	304.404.357.495.654.000,00

Türkiye ihracat tahmininde Tablo 3’de yöntemlerin test aşaması kriter değerleri yer almaktadır. MAPE oranları %8,6987 değeriyle SmoReg algoritması en düşük değere sahiptir. %9,4072 değeriyle Lineer Regresyon en yüksek değere sahiptir.

**Tablo 3.** İhracat tahmini test aşaması

Yöntem	MAE	MAPE	RMSE	MSE
<b>Lineer Regresyon</b>	1266350696	9,4072	1622163722	2,63142E+18
<b>MLP Regressor</b>	1248316085,74	8,8731	1672998136,124	2,79892E+18
<b>Gaussian</b>	1225844318	9,0728	1571714342	2,47029E+18
<b>RBF Regressor</b>	1254911796	8,8761	1701939639	2,8966E+18
<b>SmoReg</b>	1.154.607.471	8,6987	1502685070	2,25806E+18

Türkiye ithalat tahmininde Tablo 4’te yöntemlerin eğitim aşaması kriter değerleri yer almaktadır. MAPE oranı %13,198 değeriyle MLPRegressor algoritması en düşük değere sahiptir. %13,951 değeriyle RBF Regressor algoritması en yüksek değere sahiptir.

**Tablo 4.** İthalat tahmini eğitim aşaması

	MAE	MAPE	RMSE	MSE
<b>Lineer Regresyon</b>	414989636	13,5658	886491446,9	785.867.085.406.080.000
<b>MLP Regressor</b>	380071284,2	13,198	835103580	697.397.989.316.070.000
<b>Gaussian</b>	419084027,2	13,593	893623019,2	798.562.100.525.132.000,00
<b>RBF Regressor</b>	419.660.201	13,951	925045737,8	855.709.617.113.834.000,00
<b>SmoReg</b>	400.774.093	13,6118	876086715,1	767.527.932.379.369.000,00



Türkiye ithalat tahmininde Tablo 5’te yöntemlerin test aşaması kriter değerleri yer almaktadır. MAPE oranları %7,6685 değeriyle SmoReg algoritması en düşük değere sahiptir. %7,967 değeriyle MLPRegressor en büyük değere sahiptir.

**Tablo 5.** İthalat tahmini test aşaması

	MAE	MAPE	RMSE	MSE
<b>Lineer Regresyon</b>	1.448.912.271	7,7223	1854909197	3.440.688.128.858.990.000
<b>MLPRegressor</b>	1512176271	7,967	1914187887	3.664.115.267.570.530.000
<b>Gaussian</b>	1458121534	7,7533	1862446599	3.468.707.332.918.260.000,00
<b>RBF Regressor</b>	1.473.043.170	7,799	1.898.970.415	3.606.088.638.339.180.000,00
<b>SmoReg</b>	1.421.497.791	7,6685	1835814987	3.370.216.666.640.010.000,00

#### 4. Sonuç

Türkiye ihracat tahmininde test aşaması kriter değeri MAPE oranları %8,6987 değeriyle SmoReg algoritması en düşük değeri vermiştir. Aynı şekilde Türkiye ithalat tahmininde test aşaması kriter değeri MAPE oranları %7,6685 değeriyle SmoReg algoritması vermiştir.

Çalışma MAPE kriterine göre Türkiye’nin ithalat verilerinin ihracat verilerine göre daha düşük hata oranıyla tahmin edilebildiğini göstermektedir.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

#### Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

#### Kaynakça

- Abuzir S., Abuzir Y. Data mining for CO2 emissions prediction In Italy. Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi 2021; 3(1): 59-68.
- Acı M., Ayyıldız Doğanşoy G. Makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri kullanılarak e-perakende sektörüne yönelik talep tahmini. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 2022; 37(3): 1325-1340.
- Akgün K., Bulut Özek M. Eğitsel veri madenciliği yöntemi ile ilgili yapılmış çalışmaların incelenmesi: İçerik analizi. Uluslararası Eğitim Bilim ve Teknoloji Dergisi 2020; 6(3):197-213.
- Akgün Z. Veri madenciliği ile yazılım hata tespiti. El-Cezeri 2016; 3(2). DOI: 10.31202/ecjse.264197
- Aksu G., Doğan N. Veri madenciliğinde kullanılan güncel bir analiz programı: WEKA. Journal of Measurement and Evaluation in Education and Psychology 2019; 10(1): 80-95.
- Alaeddinoğlu M., Aydın T., Dal D. Birliktelik kuralları ile mekânsal-zamansal veri madenciliği. Erzincan University Journal of Science and Technology 2014; 5(2): 191-212.

- Albayrak YS., Yılmaz ÖK. Veri madenciliği: Karar ağacı algoritmaları ve İMKB verileri üzerine bir uygulama. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 2009; 14(1): 31-52.
- Artsın M. Veri madenciliği ve bilgi keşfi (Kitap özeti). Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi 2019; 5(3): 174-180
- Aslan N., Terzi N. Gelişmiş ve gelişen ülkelerde uluslararası ticaret- ücret ilişkisi ve Türkiye uygulaması. Öneri Dergisi 2007; 7(27): 217-233.
- Atsalakis G., Frantzis D., Zopounidis C. Energy's exports forecasting by a neuro-fuzzy controller. Energy Syst 2015; 6: 249–267.
- Ayanoğlu CC., Kurt M. Metal Sektöründe veri madenciliği yöntemleri ile bir iş kazası tahmin modeli önerisi. Ergonomi 2019; 2(2): 78-87.
- Aydemir E. Ders geçme notlarının veri madenciliği yöntemleriyle tahmin edilmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 2019; 15: 70-76.
- Aydemir E., Kaysi F., Yavuz M. İlaç satış verileri kullanılarak ağaç algoritmaları ile elde edilen gelirin tahmin edilmesi. Computer Science 2020; 5(1): 14-21.
- Basak D., Pal S., Patranabis D. Support vector regression, neural information processing – Letters and Reviews 2007; 11(10): 203-224.
- Bayat M. Uluslararası ticarete rekabet gücü elde etmede küçük ve orta boy işletmelerin rolü ve önemi/ Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 2013; 8(16): 567-575.
- Boonyakunakorn P., Pastpipatkul P., Sriboonchitta S. Forecasting Thailand's Exports to ASEAN with non-linear models. In: Kreinovich, V., Sriboonchitta, S., Chakpitak, N. (eds) Predictive Econometrics and Big Data. TES 2018. Studies in Computational Intelligence 2018;753. doi.org/10.1007/978-3-319-70942-0\_24.
- Cortes C., Vapnik V. Support vector networks. Machine Learning 1995; 20(3): 273–297.
- Dave E., Leonardo A., Jeanice M. Forecasting Indonesia exports using a hybrid model ARIMA-LSTM. 5th International Conference on Computer Science and Computational Intelligence (ICCSCI), 2021;179: 480-487.
- David JCM. Introduction to gaussian processes. Dept. Of Physics, Cambridge University 1998. www.inference.org.uk/mackay/gpB.pdf.
- Demirci E., Karaatlı M. Ülkelerin gelişmişlik seviyelerinin tahmininde kullanılan sınıflandırma algoritmalarının karşılaştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 2019; 24(3): 703-714.
- Durmuşoğlu A. Veri madenciliği çalışmaları üzerine bir analiz: Türkiye adresli yayınlar. Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi 2017; 16(62): 1034-1047.
- Eckert F., Hyndman RJ., Panagiotelis A. Forecasting swiss exports using bayesian forecast reconciliation. European Journal of Operational Research 2021; 291(2): 693-710. 10.1016/j.ejor.2020.09.046.

- Eibe Frank Mark AH., Ian HW. The WEKA workbench. Online Appendix for "Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques". Morgan Kaufmann, 2016.
- Emeksiz C., Doğan Z., Gökrem L., Yavuz AH. Tokat Bölgesi rüzgâr karakteristiğinin istatistiksel yöntemler ile incelenmesi. *Politeknik Dergisi* 2016; 19(4): 481-489.
- Emre İE., Selçukcan Erol Ç. Veri analizinde istatistik mi veri madenciliği mi? *Bilişim Teknolojileri Dergisi* 2017; 10(2): 161-167.
- Garcia Rodriguez MJ., Rodriguez Montequin V., Aranguren Ubierna A., Santana Hermida R., Sierra Araujo B., Zelaia Jauregi A. Award price estimator for public procurement auctions using machine learning algorithms: Case study with tenders from Spain, *Studies in Informatics and Control* 2021; 30(4): 67-76.
- GaussianProcesses. GaussianProcesses weka.classifiers.functions fonksiyonu. (Erişim tarihi: <https://pentaho-community.atlassian.net/wiki/spaces/DATAMINING/pages/284461153/GaussianProcesses>), (Erişim tarihi: 30 Ağustos 2022).
- George-Nektarios T. Weka classifiers summary. Athens University of Economics and Business Intracom-Telecom, Athens. 2013.
- Ghauri SP., Ahmed RR., Streimikiene D., Streimikis, J. Forecasting exports and imports by using autoregressive (ar) with seasonal dummies and box-jenkins approaches: A case of Pakistan, *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics* 2020; 31(3): 291-301..
- Gürsoy UT., Bilgin Ş. Banka müşterilerinin internet bankacılığına ilişkin yaklaşımlarının veri madenciliği teknikleri ile incelenmesi. *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 2017; 7(14): 421-442.
- Han ZA., Zhu ZJ., Zhao SJY., Dai WH. Research on nonlinear forecast and influencing factors of foreign trade export based on support vector neural network, *Neural Computing & Applications*, 2022; 34(4): 2611-2622.
- Irmak S., Köksal CD., Asilkan Ö. Hastanelerin gelecekteki hasta yoğunluklarının veri madenciliği yöntemleri ile tahmin edilmesi. *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi* 2012; 4(1): 101-114.
- Kılıç F., Akkaya MR., Memili N. Yemekhane için yapay zekâ teknikleri kullanımı ile günlük talep tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2018; 13: 65-71.
- Kılıç S. Doğrusal regresyon analizi. *Journal of Mood Disorders* 2013; 3(2): 90-92.
- Kitessa BD., Ayalew SM., Gebrie GS., Teferi ST. Long-term water-energy demand prediction using a regression model: a case study of Addis Ababa city. *Journal of Water and Climate Change* 2021; 12(6): 2555-2578.
- Kriegel HP., Borgwardt KM., Kroger P., Pryakhin A., Schubert M., Zimek A. Future trends in data mining, *Data Mining and Knowledge Discovery* 2007; 15(1): 87-97.
- Lehmann R. Forecasting exports across Europe: What are the superior survey indicators?. *Empirical Economics* 2020; 60(5): 2428-2459.

- Lewis CD. Industrial and business forecasting methods. Butterworths Scientific. London;1982.
- Linear Regression. Linear Regression weka.classifiers.functions fonksiyonu. (Erişim tarihi: <https://pentaho-community.atlassian.net/wiki/spaces/DATAMINING/pages/284461164/LinearRegression>). (Erişim tarihi: 30 Ağustos 2022).
- Liu Y. Foreign trade export forecast based on fuzzy neural network. Complexity. 2021. 10.1155/2021/5523222.
- Mendo L. Estimation of a probability with guaranteed normalized mean absolute error. IEEE Communications Letters 2009; 13(11): 817-819.
- MLPRegressor. Weka sınıflandırma fonksiyonları (weka.classifiers.functions, Class MLPRegressor), <https://weka.sourceforge.io/doc/packages/multiLayerPerceptrons/weka/classifiers/functions/MLPRegressor.html>, (Erişim: 3.12.2022)
- Multilayer Perceptron. Multilayer Perceptron weka.classifiers.functions , <https://pentaho-community.atlassian.net/wiki/spaces/DATAMINING/pages/284461168/MultilayerPerceptron>, (Erişim: 30.08.2022).
- Myttenaere AD., Golden B., Grand BL., Rossi F., Mean absolute percentage error for regression models. Neurocomputing 2016; 92: 38-48.
- Nagy G. Sector based linear regression, a new robust method for the multiple linear regression. Acta Cybernetica 2018; 23(4): 1017-1038.
- Namlı E., Ünlü R., Gül E. Fiyat tahminlemede makine öğrenmesi teknikleri ve doğrusal regresyon yöntemlerinin kıyaslanması; Türkiye’de satılan ikinci el araç fiyatlarının tahminlenmesine yönelik bir vaka çalışması. Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi 2019; 7(4): 806-821.
- Narayan PK., Narayan S., Prasad BC. Forecasting Fiji's exports and imports, 2003-2020, International Journal of Social Economics 2008; 35(12): 1005.
- Özari Ç., Demirkale Ö. K-en yakın komşu algoritması ile dolar-TL ve Euro-TL kuru kullanarak borsa endeks tahmini. maliye ve finans yazıları 2022; 117: 41-62.
- Özbay Ö. Veri madenciliği kavramı ve eğitimde veri madenciliği uygulamaları. Uluslararası Eğitim Bilimleri Dergisi 2015; 5: 262-272.
- Özdemir A., Saylam R., Bilen BB. Eğitim sisteminde veri madenciliği uygulamaları ve farkındalık üzerine bir durum çalışması. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 2018; 2159-2172.
- Özel C., Topsakal A. Veri madenciliği kullanarak beton basınç dayanımının belirlenmesi. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi 2014; 35(1): 1-11.
- Pereira F., Aires-de-Sousa J. Machine learning for the prediction of molecular dipole moments obtained by density functional theory. Journal of cheminformatics, 2018; 10(1): 1-11.
- Platt JC. Fast training of support vector machines using sequential minimal optimization. In Advances in Kernel Methods: Support Vector Machines, ed. B. Scholkopf, C. Burges, and A. Smola, Cambridge, MA: MIT Press;1998.

- Purlu M., Turkyay BE. Estimating the distributed generation unit sizing and its effects on the distribution system by using machine learning methods. *Elektronika Ir Elektrotehnika* 2021; 27(4): 24-32.
- Rasmussen CE. Gaussian processes in machine learning. In: Bousquet, O., von Luxburg, U., Rätsch, G. (eds) *Advanced Lectures on Machine Learning. ML 2003. Lecture Notes in Computer Science* 2004;3176. doi.org/10.1007/978-3-540-28650-9\_4.
- Raza H., Manarvi I., Ahmed J., Khan K., Rehman K. A methodology of export sectors identification through data mining. *International Conference on Computers & Industrial Engineering* 2009: 1496-1499.
- Savaş S., Topaloğlu N., Yılmaz M. Veri madenciliği ve Türkiye'deki uygulama örnekleri. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2012; 11(21): 1-23.
- Sebik NB., Bülbül, Hİ. Veri madenciliği modellerinin akciğer kanseri veri seti üzerinde başarılarının incelenmesi. *TÜBAV Bilim Dergisi* 2018; 11(3): 1-7.
- Shevade SK., Keerthi SS., Bhattacharyya C., Murthy KKK. Improvements to the SMO Algorithm for SVM Regression. *IEEE Transactions on Neural Networks* 2000; 11(5): 1188-1193.
- Smith S., Sincich T. Stability over time in the distribution of population forecast errors. *Demography* 1988; 25: 461-474.
- Smola AJ., Scholkopf B. A tutorial on support vector regression, *Statistics and Computing* 2004; 14: 199-222.
- SMOreg. SMOreg weka.classifiers.functions fonksiyonu. (Erişim tarihi: <https://pentaho-community.atlassian.net/wiki/spaces/DATAMINING/pages/284461182/SMOreg>), (Erişim tarihi: 30 Ağustos 2022).
- Sohrabpour V., Oghazi P., Toorajipour R. Nazarpour A. Export sales forecasting using artificial intelligence. *Technological Forecasting and Social Change* 2021; 163. 10.1016/j.techfore.2020.120480.
- Subaşı Ertekin M. Türkiye'de 1980 sonrasında döviz kuru politikaları ve dış ticaret. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 2001; 3(1): 183-198.
- TUİK, Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=dis-ticaret-104>, (Erişim: 29.08.2022).
- Tütünsatar A. Zengezur koridorunun uluslararası ticaret politikası ve lojistik açıdan önemi. *Türkiye Mesleki ve Sosyal Bilimler Dergisi* 2022; 8: 66-74.
- Urfaloğlu M., Şahin S. Veri madenciliği ile özel öğrenme güçlüğü tahmini. *Türkiye Bilimsel Araştırmalar Dergisi* 2022; 7(1): 115-122.
- Urrutia JD., Abdul AM., Atienza JBE. Forecasting Philippines imports and exports using bayesian artificial neural network and autoregressive integrated moving average. 8th SEAMS-UGM International Conference on Mathematics and Its Applications, AIP Conference Proceedings, 2019;2192.

- Uyar Erdem Z., Çalış B., Fırat SÜ. Customer Churn prediction analysis in a telecommunication company with machine learning algorithms. *Endüstri Mühendisliği* 2021; 32(3): 496-512.
- Uzun R., İşler Y., Toksan M. WEKA yazılım paketinin siğil tedavi yöntemlerinin başarısının tahmininde kullanımı. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2019; 7(1): 699-708.
- Wang L., Tan L., Yu C., Wu Z. Study and application of non-linear time series prediction in ground source heat pump system. *2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet)* 2012:3522-3525. 10.1109/CECNet.2012.6201751.
- Wang Y. Import and export trade forecasting algorithm based on blockchain security and PSO optimized hybrid RVM model, *Security and Privacy* 2022.
- Weisberg S. *Applied linear regression*, Wiley. New Jersey;2005.
- Willmott CJ., Matsuura K. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance, *Climate Research* 2005; 30(1): 79-82.
- Witten IH., Frank E. *Data mining practical machine learning tools and techniques*. Morgan Kaufmann; 2005.
- Witten IH., Frank E., Hall MA. Pal CJ. *Data mining practical machine learning tools and techniques* Morgan Kaufmann; 2017. ISBN: 978-0-12-804291-5.
- Wong HL., Tu YH., Wang CC. Application of fuzzy time series models for forecasting the amount of Taiwan export, *Expert Systems with Applications* 2010; 37(2): 1465-1470.
- Yu Y. GDP Economic forecasting model based on improved RBF neural network. *Mathematical Problems in Engineering* 2022. doi.org/10.1155/2022/7630268.
- Yuan YL. Forecasting method for import and export trade on the basis of GMDH network model, *Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography* 2017; 20(4): 755-766. 10.1080/09720529.2017.1358859.
- Yurduseven N., Müngen AA. Finansal zaman serilerini tahminlemede kullanılan yöntemlere genel bir bakış. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2022; 9(1): 653-671.
- Zhang DB., Zhu H., Zhang JG. Forecasting of customs export based on gray theory. *2nd International Conference on Business Intelligence and Financial Engineering* Jul 24-26 Beijing China. 2009:630-633. 10.1109/BIFE.2009.148.

## Çok Oturumlu Sınavlarda Kitapçık Optimizasyonu

Zehra KAMIŞLI ÖZTÜRK<sup>1\*</sup>, Emine TUTSUN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir

<sup>2</sup>Anadolu Üniversitesi, Bilgisayar Araştırma ve Uygulama Merkezi, Eskişehir

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-3156-6464>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-0291-8635>

\*Sorumlu yazar: zkamisli@eskisehir.edu.tr

### Araştırma Makalesi

### ÖZ

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 13.10.2022

Kabul tarihi: 21.03.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Çok oturumlu sınav  
Kitapçık-oturma atama  
Optimizasyon

Bu çalışmada, her sınav döneminde dört oturumda yapılan Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi sınavlarında basılacak kitapçık türü sayısını en küçükmek için derslerin sınav oturum ve kitapçıklarına yerleştirilme sırasının oluşturulduğu bir 0-1 tam sayılı matematiksel model önerilmiştir. Açıköğretim Fakültesinin büyük bir öğrenci nüfusunun olması nedeniyle; çalışma sonunda elde edilecek küçük bir iyileşmenin dahi ekonomik olarak katkıda bulunacağı öngörülmektedir. Problemin karmaşıklığı nedeniyle; önerilen matematiksel modelin gerçek boyutlu problem için en iyi çözümü sağlayamamasından dolayı çözüm için bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Algoritmanın sonuçları mevcut sistemin sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve elde edilen iyileştirmeler ile uygulanabilirlikleri tartışılmıştır.

## Booklet Optimization in Multiple Session Exams

### Research Article

### ABSTRACT

#### Article History:

Received: 13.10.2022

Accepted: 21.03.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Multiple session exam  
Booklet-session assignment  
Optimization

In this study, in order to minimize the number of booklet types to be printed in Anadolu University Open Education Faculty exams held in four sessions during each exam period, a 0-1 integer mathematical model is proposed in which the order of placement of the courses in the exam sessions and booklets is established. Since the Faculty of Open Education has a large student population, it is predicted that even a small improvement at the end of the study will contribute economically. Because of the complexity of the problem, the proposed mathematical model could not provide the best solution for the real-sized problem, so a heuristic algorithm was developed for the solution. The results of the algorithm are compared with the results of the current system and the improvements obtained and their applicability are discussed.

**To Cite:** Kemişli Öztürk Z., Tutsun E. Çok Oturumlu Sınavlarda Kitapçık Optimizasyonu. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 1908-1926.

## 1.Giriş

Açık ve uzaktan eğitim sistemi; öğrenciyi, öğreticiyi ve öğrenme ortamını bir araya getiren bir sistemdir. Teknolojinin gelişmesi ve gelişen teknolojinin de uzaktan eğitim ortamına entegre edilmesi ile birlikte bu eğitim ortamlarına kayıtlı öğrenci sayısı büyük bir hızla artmaktadır. Açık ve uzaktan eğitim sistemlerinde her bir sınav döneminde birden fazla oturumda gerçekleştirilen sınav organizasyonu; belli adımlardan oluşan büyük ve özverili bir süreçtir. Öğrencilerin sınav binalarına

atanması, görevlilerin sınav bina ve salonlarına atanması, sınav kitapçıklarının ve sınav evraklarının hazırlanması, kontrolü ve basılması, sınav sonuçlarının değerlendirilmesi ve açıklaması gibi farklı birçok alt süreç bulunmaktadır. Bu süreçlerden biri olan *oturma düzeninin hazırlanması*; genel anlamıyla, belirli kısıtlar altında bir sınav kitapçığının içinde hangi derslerin yer alacağına ve o kitapçığın hangi oturumda olacağına karar veren çalışmalar bütünüdür.

Ders ve sınav çizelgeleme problemleri eğitimsel zaman çizelgeleme problemlerinin alt kümesi olan ve eğitim kurumlarında sıklıkla karşılaşılan eniyileme problemleridir. Bu tarz problemler sınıf kapasitelerinin aşılmaması, kullanılan tüm sınıflara gözetmen atamasının yapılması, ortak derslere sahip öğrencilerin farklı sınav oturumlarına atanması gibi kısıtlardan oluşurken, amaç fonksiyonları da ders ataması yapılan günlerin en küçüklenmesi ya da sınavlarda kullanılacak derslik sayısının en küçüklenmesi gibi kurumdan kuruma değişen amaçlardır.

Bu çalışmada; sınav çizelgeleme probleminden farklı olarak, ancak bir eğitim çizelgeleme probleminin altında ele alınan, her sınav döneminde birden çok oturumda gerçekleştirilen sınavlar için en az kitapçık türünün basılmasını amaçlayarak derslerin, sınav oturumlarına ve sınav kitapçıklarına yerleştirilme işlemi olan oturma düzeni oluşturulması problemi ele alınmıştır. Çalışmanın odak noktası olan Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi (AÖF) sınavları için hazırlanan sınav oturma düzenlerinde, öğrencilere atanan kitapçık türü sayısının eniyilenmesi amaçlanmıştır. Burada sadece mevcut sistemdeki sınavların kitapçık türlerinin sayısının iyileştirilmesi hedeflenmemiş, yeni uygulanabilecek sınavlar da göz önünde bulundurularak bir çalışma tasarlanmıştır. Çalışmada seçilen bir AÖF yurt dışı programına ait bir dönem sonu sınavı verileri örneklem veri olarak alınmıştır. Kitapçık türü sayısının en küçüklenmesi hedeflenerek, kitapçıkların oluşturulması ve derslerin sınav-kitapçık ve sınav oturumlarına en uygun şekilde yerleştirilmesi yapılmıştır. Bu problemin seçilme amacı, AÖF Türkiye ve yurt dışı programlarına kayıtlı öğrenci sayısının çok fazla olması ve buna bağlı olarak ufak bir iyileştirmenin sağlayacağı katkının çok büyük ve önemli olacağına düşünülmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde ilk olarak çok oturumlu sınavlarda kitapçık optimizasyonu problemi için geliştirilen matematiksel model tanıtılmıştır. Bununla birlikte, Gunawan ve ark. (2007) çalışmalarında belirttiği gibi, matematiksel programlama modelleri, özellikle büyük ölçekli çizelgeleme problemleri için bir en iyi çözümün varlığını bulmak için etkili bir yol olmayabilir. Geliştirilen model küçük boyutlu bir örneklem için doğrulandıktan sonra, gerçek boyutlu AÖF probleminin çözümü için bir sezgisel algoritma önerilmiş ve üçüncü bölümde elde edilen sayısal sonuçlar analiz edilmiştir. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve gelecek çalışmalar için öneriler belirtilmiştir.



## 2. Materyal ve Metot

Anadolu Üniversitesi AÖF, günümüzde iki milyona yakın öğrenci sayısı ile dünyanın önde gelen uzaktan eğitim sistemlerinden bir tanesi haline gelmiştir. Ülke genelinde büyük hizmetler veren AÖF, son yıllarda uluslararası alanlara da genişleyerek dünyanın birçok yerine eğitim hizmeti sunmaya başlamıştır. Her sene, ilgili eğitim-öğretim dönemi (güz ve bahar) içerisinde bir ara ve bir dönem sonu sınavı olmak üzere iki sınav Türkiye ve yurt dışı programları için gerçekleştirilmektedir. Ayrıca yaz döneminde de öğrenciler yaz okulu sınavına katılabilmektedir. Böylelikle, her AÖF programı için, bir eğitim öğretim yılında toplamda beş sınav gerçekleştirilmektedir. Bu bölümde, bahsi geçen sınavlarda oturum düzenini oluşturmak için önce bir matematiksel model önerilmiş, ardından gerçek büyük boyutlu problemlerin çözümü için bir sezgisel algoritma sunulmuştur.

### 2.1. Çok Oturumlu Sınavlarda Kitapçık Optimizasyonu için Önerilen Matematiksel Model

Çok oturumlu sınavlarda ders-kitapçık ve kitapçık-oturum atama sonucunu veren oturum düzeni oluşturma problemi için bir 0-1 tam sayılı matematiksel model geliştirilmiştir. Model parametreleri, karar değişkenleri, kısıtlar ve amaç fonksiyonu izleyen sırada verilmiştir.

Küme ve indisler:

Ders indisleri kümesi	$I = \{i \mid i=1, \dots, m\}$
Öğrenci indisleri kümesi	$S = \{s \mid s=1, \dots, n\}$
Oturum indisleri kümesi	$O = \{o \mid o=1, \dots, 4\}$
Kitapçık indisleri kümesi	$K = \{k \mid k=1, \dots, l\}$

Parametreler:

M: çok büyük pozitif bir sayı

$NC_s$ : s. öğrencinin kayıtlı olduğu ders sayısı

$P_{si}$ : 0-1 öğrenci-ders matrisi

s. öğrenci i. derse kayıtlı ise,  $P_{si}$  matrisinin karşı gelen değeri 1'dir.

Karar değişkenleri:

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, & i. ders, k. kitapçık türüne atanırsa \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

$$z_{io} = \begin{cases} 1, & i. ders, o. oturuma atanırsa \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

$$y_{ko} = \begin{cases} 1, & k. kitapçık türü, o. oturuma atanırsa \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

$$q_k = \begin{cases} 1, & k. \text{ kitapçık türü kullanıldıysa} \\ 0, & d. d. \end{cases}$$

Yukarıda verilen tanımlar doğrultusunda, çok oturumlu sınavlarda kitapçık optimizasyonu problemine ait önerilen matematiksel model izleyen şekildedir:

$$1 \leq \sum_i x_{ik} \leq 10 \quad \forall k \quad (1)$$

$$\sum_o z_{io} = 1 \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_o y_{ko} = 1 \quad \forall k \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^l x_{ik} \geq 1 \quad \forall i \quad (4)$$

$$\sum_i P_{si} * z_{io} \leq 5 \quad \forall (s, o) \quad (5)$$

$$q_k \leq \sum_o y_{ko} \leq M * q_k \quad \forall k \quad (6)$$

$$q_k \leq \sum_i x_{ik} \leq M * q_k \quad \forall k \quad (7)$$

$$\sum_i \sum_o P_{si} * z_{io} = NC_s \quad \forall s \quad (8)$$

$$-(1 - x_{ik}) \leq z_{io} - y_{ko} \leq (1 - x_{ik}) \quad \forall (i, o, k) \quad (9)$$

$$x_{ik} \in \{0,1\} \quad \forall (i, k) \quad (10)$$

$$z_{io} \in \{0,1\} \quad \forall (i, o) \quad (11)$$

$$y_{ko} \in \{0,1\} \quad \forall (k, o) \quad (12)$$

$$q_k \in \{0,1\} \quad \forall k \quad (13)$$

*kısıtları altında*

$$enk \ a = \sum_k q_k \quad (14)$$

Kısıt kümesi (1) ile bir ders bir kitapçık türüne atandığında, her kitapçık türü için içinde yer alacak derslerin toplam sayısının 10'u geçmesi engellenmekte ve o kitapçık türünde en az bir ders olması sağlanmaktadır. AÖF sınavlarında kullanılan cevap kâğıdı şablonuna göre, bir oturumda bir öğrenci en fazla beş ders alabilir, daha az olması ise muhtemel ve modelde de izin verilen bir durumdur. (1) numaralı kısıt kümesindeki alt ve üst sınırlar, bir öğrencinin bir oturumda aldığı ders sayısı beşi

geçmediği sürece değiştirilebilir. Sınav soruları aynı olacağından, bir ders farklı kitapçıklarda yer alsa bile, bir dersin sadece bir oturumda yer alması zorunludur. Kısıt kümesi (2) ile bir dersin sadece bir oturuma atanması ve aynı zamanda tüm derslerin mutlaka bir oturuma atanması sağlanmaktadır.

Bir kitapçık türü de sadece bir oturuma atanabilir. Bu koşul da (3) numaralı kısıt kümesi ile sağlanmaktadır. Tüm derslerin mutlaka bir kitapçık türüne yerleştirilmesi zorunludur. Bu durum, (4) numaralı kısıt kümesi ile sağlanmaktadır. Cevap kâğıdı şablonu dolayısıyla bir öğrencinin bir oturumda sınavını gireceği ders sayısı da en fazla beştir. Kısıt kümesi (5) ile bir öğrencinin bir oturumda beşten fazla dersin sınavına girmesi engellenmektedir. Herhangi bir  $k$ . kitapçık türü, oturum  $o$ 'ya atanırsa, kısıt kümesi (6)'daki eşitsizliğin sağ tarafı  $q_k$ 'nın 1 değerini almasını zorlar.  $k$ . kitapçık türünün,  $o$ . oturuma atanmaması durumunda ise yine kısıt kümesi (6)'daki eşitsizliğin sol tarafı sıfır değerini alır. Böylece bu kısıt kümesi,  $q_k$ 'nın 0 değerini almasını zorlamaktadır. Herhangi bir  $i$  dersi,  $k$ . kitapçık türüne atanırsa, kısıt kümesi (7)'deki eşitsizliğin sağ tarafı  $q_k$ 'nın 1 değerini almasını zorlar.  $i$ . dersin,  $k$ . kitapçık türüne atanmaması durumunda ise yine kısıt kümesi (7)'deki eşitsizliğin sol tarafları sıfır değerini alır. Böylece kısıt kümesi (7),  $q_k$ 'nın 0 değerini almasını zorlamaktadır.

Kısıt kümesi (8) ile bir  $i$  dersi  $o$  oturumuna atanırsa, her öğrenci için, öğrenci ders matrisi olan  $P_{si}$  oturum ve dersler üzerinden toplanarak, bulunan değerlerin her öğrencinin ders sayısını veren  $NC_s$  parametresine eşit olup olmadığının kontrolü yapılır. Kısıt kümesi (9) çift yönlü çalışan bir kısıt kümesidir. Bir  $i$  dersi  $k$ . kitapçık türüne atandığında, yani  $x_{ik}$  değişkeni 1 değerini aldığı anda, bir  $i$  dersinin  $o$ . oturuma atanması karar değişkeni  $z_{io}$  ve bir  $k$  kitapçık türünün  $o$ . oturuma atanması karar değişkeni olan  $y_{ko}$  karar değişkenlerinin de 1 değerini almasını zorlar. Böylelikle bir  $i$  dersi  $k$ . kitapçık türüne atandığında,  $i$ . dersin ve  $k$ . kitapçık türünün oturumu aynı olmaya zorlanır. (14) numaralı denklem ise kullanılan toplam kitapçık türünün en küçüklendiği amaç fonksiyonudur.

## 2.2. Önerilen Matematiksel Model ile Elde Edilen Sonuçlar

Çalışma kapsamında AÖF Kuzey Amerika programlarına ait bir eğitim- öğretim yılı güz dönemi dönem sonu sınavı örneklem sınav olarak seçilmiştir. Bu sınav için, GAMS optimizasyon yazılımının 23.3.3 versiyonu CPLEX çözücüsü kullanılarak önerilen matematiksel model ile en iyi çözüm araştırılmıştır. Bu sınava ait örneklemde 149 öğrenci ve 185 adet ders bulunmaktadır. Örneklem boyutunun büyüklüğü sebebiyle bir en iyi çözüme ulaşamamıştır. 30 öğrenci ve bu öğrencilere ait 88 ders alınarak daha küçük boyutlu yeni bir örneklem oluşturulmuştur. Bu yeni verilere göre model çözdürülmüş ve tüm kısıtların sağlandığı en iyi çözüm elde edilmiştir. Buna göre elde edilen oturum düzeni örnek olarak 1. ve 3. oturum için Tablo 1'de verilmiştir. Elde edilen oturum düzeninde, 88 dersin her birinin ve her bir kitapçık türünün sadece bir oturumda yer aldığı, kitapçık türü ile derslerin atandıkları oturumların aynı olduğu görülmüştür.

**Tablo 1.** Matematiksel model ile elde edilen örnek oturum düzeni

1. oturum kitapçık ve dersleri			3. oturum kitapçık ve dersleri			
Kitapçık 6	Kitapçık 9	Kitapçık 11	Kitapçık 1	Kitapçık 5	Kitapçık 8	Kitapçık 12
EDB403U	BIL101U	EDB401U	ING201U	CEK101U	EDB103U	IKT203U
FOT103U	ISL105U	ILH2005	IST203U	EDB105U	MUH103U	ILH1004
ILH1005	ISL107U	ILT107U	ISL301U	FOT105U	SOS101U	ILH2001
ILH2002	ISL293U	ISL201U	MUH301U	ILH2003	SOS205U	ILH2004
MUH201U	SOS203U	MAT103U	SOS315U	SOS103U	SOS313U	ING301U
SOS113U	TAR113U	TDE403U	SOS317U	TAR201U	TDE401U	MAT105U
SOS321U	TUR201U	ULI201U	ULI305U	TDE101U		SOS319U

### 2.3. Önerilen Matematiksel Modele Ait Boyut Analizi

$i$  öğrenci,  $s$  ders,  $o$  oturum ve  $k$  kitapçık türü olmak üzere, önerilen matematiksel modelde  $(2i + 4k + s + s * o + i * o * k)$  tane kısıt ve  $(k + i * k + i * o + k * o + 1)$  tane de değişken vardır. Açıköğretim sistemi sınavları içinde en az bir milyon aktif öğrenci içerisinde oldukça az öğrenciye sahip olan bir programın, sadece küçük bir parçası alındığında bile modelin kısıt ve değişken sayıları çok büyük değerlerdir. Boyut analizinde bulunan değerlere göre, 30 öğrenci ve 88 ders için bir örneklem için modelde 4598 kısıt ve 1469 değişken bulunmaktadır. 30 öğrencili en küçük örneklem için bile, problem büyüklüğü oldukça fazladır. Matematiksel modelin oldukça küçük boyutlu bir örneklem için çözüm vermesi ve hem Açıköğretim sistemi sınavlarının öğrenci sayısının fazlalığı hem de sistemin kendi başına oldukça karmaşık bir yapısının olması sebebiyle aynı kısıtlar ve amaç fonksiyonu kullanılarak, bir sezgisel çözüm algoritmasının geliştirilmesine karar verilmiştir.

Bu çalışmada da olduğu gibi, küçük boyutlu optimizasyon problemleri kesin çözüm algoritmaları ile çözülebilirken, gerçek hayat problemlerinin çoğu büyük boyutlu problemlerdir. Dolayısıyla, makul zamanda uygun çözümleri elde etmek için sezgisel ve metasezgisel yöntemlere ihtiyaç vardır. Özellikle ders ve sınav çizelgeleme problemlerinin çözümünde en çok kullanılan metasezgisel yöntemler, yasaklı arama (Bellio ve ark., 2016), tavlama benzetimi (Goh ve ark., 2018), genetik ve evrimsel algoritmalar (Matias ve ark., 2018; Susan ve Bhutani, 2018; Kamışlı Öztürk ve Sağır, 2019), parçacık sürü optimizasyonu (Imran Hossain ve ark., 2019), yapay bağışıklık algoritması (Yazdani ve ark., 2017) olarak verilebilir. Bu metasezgisel algoritmaların yanı sıra, probleme özgü geliştirilen sezgisel algoritmalar da kullanılmaktadır. İzleyen bölümlerde, ilgili problemin çözümü için önerilen sezgisel algoritma ve elde edilen sonuçlar sırasıyla verilmiştir.

### 2.4. Çok Oturumlu Sınavlarda Kitapçık Optimizasyonu Algoritması

Mevcut sistemde, Açıköğretim sistemi sınavları için hazırlanan oturum düzenleri bölüm bilgisini de göz önünde bulundurarak hazırlanmaktadır. Her bölümün kendi içinde kitapçık-oturum, ders-oturum, ders-kitapçık yerleştirmesi yapılmaktadır. Matematiksel model geliştirilirken bölüm bilgisi dikkate alınmadan; girdi olarak sadece öğrenciler ve üzerlerindeki dersler alınmış ve bölüm bilgisi dışarıda bırakılmıştır. Sezgisel algoritma geliştirilirken de yine aynı şekilde bölüm bilgisi göz ardı edilip sadece

öğrenciler ve üzerlerindeki dersler dikkate alınarak bir sezgisel algoritma geliştirilmiştir. Problem verisi olarak da matematiksel modellemede de kullanılan yurt dışı programı Kuzey Amerika Programına ait bir eğitim- öğretim yılı güz dönemi dönem sonu sınavına ait verilerin tamamı kullanılmıştır.

Geliştirilen sezgisel çözüm algoritması, ilk önce öğrencilerin sorumlu oldukları derslerin oturlara atanmasını, sonrasında ise oturlara atanan derslerin sırasıyla her oturma için kitapçıklara atanmasını gerçekleştirmektedir. Bu işlemler derslerin oturlara ve derslerin kitaplara atanması şeklinde iki ardışık süreç olarak tasarlanmıştır.

Önerilen algoritmanın başlangıç noktası öğrencilerin aldıkları ders sayısına bakılarak belirlenmektedir. Sınavlarda öğrenciler farklı sayılarda dersten sorumlu olabilirler. Algoritma her bir öğrencinin sorumlu olduğu ders sayısını bulmakta, bulduğu değerlere göre büyükten küçüğe doğru gruplama yapmaktadır. Devamında ise en büyük ders sayısına sahip gruptan başlayarak ilerlemektedir. Ders sayısı parametresi ile birlikte diğer önemli bir parametre dersin ağırlığı parametresidir. Dersin ağırlığı her bir dersin kaç öğrenci tarafından alındığı ile hesaplanmaktadır. Örneğin BİL101 dersini 59 öğrenci alıyorsa bu dersin ağırlığı 59'dur. Algoritmada her bir dersin ağırlığı bulunduğundan sonra, öğrencilerin sorumlu oldukları derslerin ağırlıkları da toplanarak öğrencilerin ders ağırlıkları hesaplanmaktadır. Algoritma en fazla ders alan öğrenci grubu ile başlarken, aynı sayıda ders sayısına sahip öğrenciler ile karşılaştığında ise öğrenci ders ağırlık parametresini kontrol ederek ilerlemektedir. Örneğin ilgili dönemde üç ders alan bir öğrencinin dersleri, BİL101U, HUK101U ve İKT 103U olsun. Bu derslerin ağırlıkları sırasıyla 59, 37 ve 33 ise bu öğrenci için öğrenci-ders ağırlığı değeri 129 olmaktadır. Algoritma üç ders alan öğrencilerin derslerini oturlara yerleştirirken, tüm öğrenci ders ağırlıklarını kontrol etmekte en büyük ağırlık değerine sahip öğrenciyi seçerek sürece devam etmektedir. Algoritmanın ilk adımı en küçük ders sayısına sahip en son öğrencinin dersleri oturlara yerleştirilene kadar devam etmektedir. İkinci adım ise oturlara atanan tüm derslerin kısıtlar dahilinde bir kitaba yerleştirilmesi ile son bulmaktadır. Algoritmanın tüm parametreleri ve adımları izleyen alt bölümlerde detaylı olarak verilmiştir.

#### **2.4.1. Algoritmanın Parametreleri**

**Üst sınır kitapçık- ders sayısı:** Bu parametre; bir kitapçıkta yer almasına izin verilen en fazla ders sayısını gösteren parametredir. Algoritma, dersleri yerleştireceği uygun kitapçığı ararken her bir kitapçık için bu değeri kontrol eder. Parametrenin değeri 10 olarak belirlenmiştir.

**Dersin oturumu:** Bu parametre; dersin hangi oturumda yer aldığını gösteren parametredir. Oturma düzeninde bir ders sadece bir oturumda yer alabilir. Bir ders bir oturuma atandığı zaman, o dersin oturma bilgisi bir listeye kaydedilir ve bu liste ders gösterim kodu ve oturma bilgisi sütunlarından oluşur. Algoritma bir dersi bir oturuma atadıktan sonra tekrar bu ders ile karşılaşır, bu ders için tekrar oturma ataması gerçekleştirmez. Bu dersle ilk karşılaşması olmadığı için oturumu olan bu dersi

atlar ve sıradaki derse geçer. Ders oturumu parametresi listesi için bir örnek gösterim Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Örnek dersin oturumu listesi

Ders no	Ders gösterim kodu	Oturum no
1	BİL101U	2
2	MAT105U	4
3	İKT101U	3
-	-	-
185	YBS309U	1

**Üst sınır öğrenci- oturum- ders sayısı:** Bu parametre; oturum bazında her bir öğrencinin aldığı ders sayısını göstermektedir. Bir öğrenci bir oturumda en fazla beş ders alabilir. Farklı çözümler denenmek istendiğinde parametre değeri en fazla beş olacak şekilde değiştirilebilir.

**Üst sınır öğrenci – oturum- kitapçık sayısı:** Bu parametre; oturum bazında öğrencinin aldığı kitapçık sayısını göstermektedir. Bir öğrenci bir oturumda sadece bir kitapçık alabilir. Öğrenci, dört oturumluk bir sınavda sorumlu olduğu ders sayısına bağlı olarak 1 ila 4 oturum arasında sınava katılabilir. Öğrencinin bir oturumda ders veya dersleri varsa, hepsinin sadece bir kitapçıkta yer alması gerekmektedir. Algoritma için bu parametrenin değeri 1’dir.

**Kitapçıkta dersi sayısı:** Bu parametre; bir  $t$  anında her bir kitapçıkta toplam kaç ders olduğunu gösteren parametredir. İlgili oturuma atanmış derslerin kitapçıklara yerleştirilmeleri yapılırken, bu parametreye bakılarak ders yerleştirme işlemi gerçekleştirilir. Kitapçıklara her ders yerleştirilmesi yapıldığında bu parametre değeri güncellenir.

**Öğrenci dersi katsayısı:** Bu parametre; öğrencinin oturum bazında aldığı ders sayısını gösteren parametredir. Bu parametre algoritmanın ikinci adımı olan derslerin kitapçıklara yerleştirilmesi adımında kontrol edilir. İlgili oturumda dersleri olan öğrenciler, katsayısı en büyük öğrenciden en küçük öğrenciye ilerleyecek şekilde sıralanır ve katsayısı en büyük öğrencinin derslerinden başlayarak derslerin kitapçıklara yerleştirilme işlemi yapılır.

#### 2.4.2. Algoritmanın Adımları

Algoritma; birbirini izleyen iki ardışık süreç olarak tasarlanmıştır. İlk süreç öğrencilerin sorumlu oldukları derslerin oturumlara yerleştirilmesi işlemidir. İkinci süreç ise, oturumlara atanmış olan derslerin, yine o oturumlarda oluşturulacak kitapçıklara yerleştirilmesi sürecidir.

Derslerin oturumlara yerleştirilmesi için algoritmanın adımları izleyen şekilde verilebilir:

**Adım 1: Öğrencilerin ders sayılarının bulunması;** Her bir öğrencinin kaç ders aldığı hesaplanır.

**Adım 2: Ders ağırlıklarının bulunması;** Her bir dersin kaç öğrenci tarafından alındığı bulunur. Bu değer dersin ağırlığı olarak belirlenmiştir.

**Adım 3: Öğrencilerin ders ağırlıklarının bulunması;** Her bir öğrenci için, aldığı ders ya da derslerin Adım 2’de bulunan ağırlık değerleri toplanarak öğrenci-ders ağırlığı değeri elde edilir. Örnek bir gösterim Tablo 3’te verilmiştir.

**Tablo 3.** Örnek öğrenci-ders ağırlığı listesi

Öğrenci	Öğrencinin sorumlu olduğu dersler	Derslerin ağırlığı	Öğrenci ders ağırlığı
Tc1	BİL101U	59	
Tc1	HUK101U	37	
Tc1	İKT103U	33	186
Tc1	TÜR201U	30	
Tc1	SOS113U	27	
Tc2	ULİ305U	18	
Tc2	İŞL401U	15	33

**Adım 4: Öğrenci derslerinin oturumlara yerleştirilmesi;** En fazla alınan ders sayısı grubundan ve bu grup içinde de en yüksek öğrenci ders ağırlığına sahip öğrenci seçilerek dersler yerleştirilmeye başlanır. Dersler, en az ders sayısına sahip ve en küçük numaralı oturumdan başlayacak şekilde, her bir öğrencinin dersi bitene kadar oturumlara birer birer yerleştirilir. Oturumlarının ders sayılarının eşit olması durumunda yerleştirmeye en küçük numaraları oturumdan başlanır.

**Adım 5: Dersin oturumunun olup olmadığının kontrolü;** Öğrencinin dersleri oturumlara yerleştirilirken, ilk önce dersin oturumu parametresine bakılır. Eğer dersin oturumu varsa o ders için oturum ataması yapılmaz, öğrencinin oturum ataması yapılmayan diğer dersine geçilir. Öğrencinin tüm derslerinin oturumu var ise, sıradaki öğrenciye geçilir.

**Adım 6: Öğrencilerin oturum bazında ders sayısı kontrolü;** Bir öğrencinin bir dersi bir oturuma atandığında, tüm öğrencilerin dersleri kontrol edilerek o oturumda, üst sınır öğrenci- oturum- ders sayısı parametre değeri olan 5’i geçip geçmediği kontrol edilir. Eğer 5 dersi geçen öğrenci tespit edilirse, o ders sıradaki oturuma atanır. Adım 6, yeni oturum için de tüm öğrenciler üzerinden tekrarlanır. Parametre değerini aşan bir öğrenci söz konusu değilse, öğrencinin sıradaki dersine, öğrencinin tüm dersleri yerleştirildiyse sıradaki öğrenciye geçilir. Parametre değerini aşan bir durum söz konusu ise ders sorunsuz bir şekilde yerleştirilene kadar Adım 6 tekrarlanır.

**Adım 7: Dersin Oturumu Listesinin Güncellenmesi;** Adım 6’da bir öğrencinin bir dersinin oturum ataması yapıldıktan sonra, o ders ve oturumu bilgileri, algoritma parametresi olan dersin oturumu

listesine eklenir. Böylelikle algoritma bu ders ile tekrar karşılaştığında, ders bu listede hali hazırda yer aldığı için algoritma bu ders için tekrardan bir işlem uygulamaz.

**Adım 8: Öğrencinin bütün derslerinin atandığının kontrolü;** Öğrencinin sorumlu olduğu tüm derslerin oturlara atanıp atanmadığı kontrol edilir. Eğer henüz bir oturuma atanmamış dersi varsa, bu öğrenci için Adım 4 tekrarlanır, öğrencinin tüm dersleri bir oturuma yerleştirildiyse Adım 9'a geçilir.

**Adım 9: Bütün öğrencilerin derslerinin atandığının kontrolü;** Sınavda yer alan tüm öğrencilerin derslerinin oturlara atanıp atanmadığının kontrolü yapılır. Eğer sistemde oturum ataması yapılmamış dersi olan öğrenci varsa Adım 4 tekrarlanır. Eğer sistemde oturum ataması yapılmamış dersi olan öğrenci kalmadıysa, derslerin oturlara yerleştirilme süreci için algoritma sonlanır. Derslerin oturlara yerleştirilmesi sürecine ait süreç akış şeması EK-1'de gösterilmiştir.

Oturlara atanmış derslerin kitapçıklara yerleştirildiği ikinci aşamanın adımları da izleyen şekilde verilmiştir:

**Adım 10: Oturumun belirlenmesi;** Anadolu Üniversitesi tarafından gerçekleştirilen sınavlar 1, 2, 3 ve 4 gibi farklı sayıda oturlarda gerçekleştirilebilir. Algoritma, oturum atamaları gerçekleştirilen dersleri kitapçıklara atamak için bir oturumu seçmelidir. Bunun için de en küçük oturum numarasından başlar ve o oturumdaki tüm dersleri kitapçıklara yerleştirmeyi tamamladığında küçükten büyüğe olacak şekilde bir sonraki oturuma geçer.

**Adım 11: Oturumdaki dersleri alan öğrencilerin bulunması;** İşlem yapılan oturumdaki dersleri alan öğrenciler bulunur.

**Adım 12: Öğrenci ders katsayılarının hesaplanması;** Oturumdaki dersleri alan öğrenciler bulunduktan sonra, her bir öğrencinin o oturumda ne kadar ders aldığı bulunur. Bu değer öğrencinin ders katsayısı olarak belirlenmiştir. Örneğin 1.oturumda 5 dersi olan bir öğrencinin öğrenci ders katsayısı 5 olacaktır.

**Adım 13: Öğrenciye ait derslerin kitapçıklara yerleştirilmesi;** Bir öğrencinin oturumdaki dersleri kitapçıklara yerleştirilirken, öğrenci seçimi Adım 12'de hesaplanan öğrenci ders katsayısına göre yapılır. Oturum içinde öğrenci ders katsayısı en fazla olan öğrenci seçilir ve en fazladan en aza doğru ilerlenir. Öğrenci ders katsayılarında eşitlik olması durumunda ise öğrenci ders katsayı ağırlıkları listesi devreye girer. Her bir öğrencinin, her oturumda aldığı ders ağırlıkları toplanarak öğrenci ders katsayı ağırlığı bulunur. Aynı katsayıya sahip öğrencilerde öğrenci ders katsayısı ağırlığı en yüksek öğrenciden başlanarak en düşük öğrenciye ilerleyecek şekilde dersler kitapçıklara atanır. İlgili katsayı grubundaki öğrencilerin ders yerleştirmeleri tamamlandığında, bir sonraki katsayı grubuna geçilir.



Oturumdaki tüm öğrencilerin dersleri kitapçıklara atandıktan sonra sıradaki oturuma geçilir. Öğrenci ders katsayısı 5 olan iki öğrenciye ait örnek bir gösterim Tablo 4’te verilmiştir. Algoritma burada ders katsayıları eşit olduğu için, öğrenci ders katsayı ağırlığı yüksek olan öğrenciyi seçecektir.

**Adım 14: Sistemde kitapçık var mı kontrolü ve yeni kitapçık üretimi;** Öğrenci seçiminden sonra, algoritma daha önce sistemde üretilmiş kitapçık türünün bulunup bulunmadığını kontrol eder. Eğer işleme alınan ilk öğrenciyse ve sistemde hiç kitapçık bulunmuyorsa, yeni bir kitapçık üretilir ve öğrencinin tüm dersleri o kitapçığa eklenir.

Tüm öğrencilerin dersleri yerleştirildiğinde, süreç bir sonraki oturuma geçer. Sistemde hala dersleri kitapçıklara yerleştirilmeyen öğrenciler varsa Adım 13 tekrarlanır.

**Tablo 4.** Örnek öğrenci ders katsayı ağırlığı listesi

Öğrenci	Ders gösterim kodu	Ders ağırlığı	Öğrenci	Ders gösterim kodu	Ders ağırlığı
Tc1	İKT103U	33	Tc2	PSİ103U	24
Tc1	TÜR201U	30	Tc2	İLT107U	23
Tc1	SOS113U	27	Tc2	MUH103U	21
Tc1	TAR201U	26	Tc2	MAT103U	19
Tc1	PSİ103U	24	Tc2	SOS101U	19
Öğrenci ders katsayı ağırlığı		<b>140</b>	Öğrenci ders katsayı ağırlığı		<b>106</b>

**Adım 15: Birebir eşleşen kitapçık kontrolü;** Sistemde daha önceden üretilen kitapçıklar olduğunda, üretilen kitapçıkların işlem yapılan öğrencinin o oturumdaki tüm derslerini içerip içermediği kontrol edilir. Öğrencinin tüm derslerini içeren bir kitapçık sistemde mevcutsa, algoritmanın o öğrencinin derslerini yeni bir kitapçığa koymasına gerek yoktur, çünkü öğrencinin derslerinin olduğu bir kitap hâlihazırda mevcuttur. Tüm öğrencilerin dersleri yerleştirildiğinde, süreç bir sonraki oturuma geçer. Sistemde hala dersleri kitapçıklara yerleştirilmeyen öğrenciler varsa Adım 13 tekrarlanır.

**Adım 16: En az bir ders kesişimi içeren kitapçık kontrolü;** Adım 15’teki kontrolde eğer öğrencinin tüm dersleri, sistemde var olan kitapçıklardan birinde birlikte yer almıyorsa, en az bir dersi kesişen kitapçık var mı? kontrolü yapılır. Kesişim sayısı sadece bir olabileceği gibi birden fazla da olabilir, önemli olan algoritmanın bir kesişim yakalayabilmesidir. Kesişim içeren kitapçık bulunursa Adım 17’ye, kitapçık bulunmazsa Adım 18’e geçilir.

**Adım 17: Kesişim ders içeren kitapçık listesinin bulunması;** Sistemde öğrencinin dersleriyle en az bir dersin kesiştiği kitapçıklar bulunur. Burada bir ya da birden fazla kitapçık söz konusu olabilir, bulunan kitapçıklar listelenir.

**Adım 18: Sistemde uygun kitapçık var mı kontrolü;** Adım 16’da eğer en az bir dersin kesiştiği bir kitapçık bulunmazsa, sistemde var olan kitapların üst sınır kitapçık ders sayısı parametresine göre uygunlukları kontrol edilir. Uygun bulunan kitapçık listeleri arasından, en az ders sayısına sahip olan

kitaba dersler yerleştirilir. Tüm öğrencilerin dersleri yerleştirildiyse, süreç bir sonraki oturuma geçer. Sistemde hala dersleri kitapçıklara yerleştirilmeyen öğrenciler varsa Adım 13 tekrarlanır.

Eğer bu kontrolde uygun kitapçık bulunmazsa Adım 14 uygulanarak yeni kitapçık yaratılarak tüm dersler o kitaba eklenir. Tüm öğrencilerin dersleri yerleştirildiyse, süreç bir sonraki oturuma geçer. Sistemde hala dersleri kitapçıklara yerleştirilmeyen öğrenciler varsa Adım 13 tekrarlanır.

**Adım 19: Kesişen derslerin kitapçığına öğrencinin diğer derslerinin yerleştirilmesi;** Adım 17’de listelenen kesişim içeren kitaplar arasından, en fazla ders kesişimine sahip ilk kitaba öğrencinin kesişim dışında kalan dersleri yerleştirilir.

**Adım 20: Kitapçık üst sınırı aştı mı kontrolü;** Adım 19’da en fazla ders kesişiminin bulunduğu kitaba öğrencinin kalan dersleri yerleştirildikten sonra, kitabın uygunluğu üst sınır kitapçık ders sayısı parametresine göre kontrol edilir. Eğer kitaptaki ders sayısı bu parametreyi geçiyorsa Adım 19 tekrarlanır ve dersler bir sonraki uygun kitaba yerleştirilir. Eğer derslerin atandığı kitapçık üst sınır kitapçık ders parametresine göre uygunsa, sistem tüm öğrencilerin derslerinin kitapçıklara atanıp atanmadığını kontrol eder. Sistemde dersleri kitapçıklara yerleştirilmeyen öğrenciler varsa adım 13 tekrarlanır. Eğer tüm öğrenciler için derslerin kitapçıklara yerleştirilme süreci tamamlandıysa, algoritma bir sonraki oturuma geçer. Tüm bu algoritma adımları sırayla sistemdeki tüm oturumlar için tekrarlanır. Sistemdeki en son sıradaki oturum için de tüm adımlar tamamlandığında derslerin kitapçıklara yerleştirilme süreci algoritması sonlanır. Böylelikle çok oturumlu sınavlarda kitapçık optimizasyonu problemi için algoritma adımları tamamlanmış olur. Derslerin kitaplara yerleştirilmesi sürecine ait süreç akış şeması EK-2’de gösterilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Java programlama dili ile kodlanan Çok Oturumlu Sınavlarda Kitapçık Optimizasyonu Algoritması, Anadolu Üniversitesi Kuzey Amerika Programlarına ait bir eğitim-öğretim yılı güz dönemi dönem sonu sınav verileri için çalıştırılmıştır. Örnek problem 3 oturum olacak şekilde düzenlenmiştir. Tablo 5’te, önerilen algoritma ile elde edilen oturum düzeninin sistemin tüm kısıtlarına uygunluğu hazırlanan testler ile kontrol edilmiştir.

**Tablo 5.** Önerilen algoritma ile elde edilen oturum düzeni

1. oturum kitap ve dersleri									
10001	10002	10003	10004	10005	10006	10007	10008	10009	10010
MAT103U	MAT103U	FEL207U	İŞL205U	FEL207U	TİC205U	MLY201U	MAİ201U	MLY201U	İKT303U
BİL101U	ARA2001	MLY201U	İKT311U	BİL101U	BİL101U	İKT311U	İŞL205U	TİC205U	İŞL203U
İNG101U	BİL101U	ÇEK403U	ULİ407U	SOS103U	İNG101U	EDB203U	EDB305U	KOİ409U	İNÖ407U
FOT15U	SOS113U	SOS101U	YBS203U	SOS101U	SOS113U	ULİ405U	EDB201U	İKT311U	SYT203U
SOS113	SOS101U	İŞL405U	SOS305U	EDB101U	SOS101U	EDB201U	İLT203U	EDB401U	LBV209U
SOS101U	İLH1002	SOS205U	İNG301U	SOS205U	LOJ101U	ULİ407U	MEİ303U	ÇEK403U	SOS315U
İNG301U	MUH101U	İNG301U	SOS313U	SOS305U	MUH201U	İNG301U	YBS203U	MLY403U	SOS313U
HUK209U	İLH2004	HUK301U	MAT105U	SOS203U	HUK209U	İKT307U	YBS303U	KOİ401U	İNG201U
SOS207U	İLH1004	FIN201U	ULİ401U	İNG301U	İKT307U	İKT403U	TDE305U	EDB407U	LBV203U
EST101U	MAT105U	PZL103U	SOS307U	MAT105U	PZL103U	ULİ401U			

#### 2. oturum kitap ve dersleri

20001	20002	20003	20004	20005	20006	20007	20008	20009
TAR119U	İŞL105U	ULİ305U	İKT201U	İLT213U	PZL193U	EDB205U	EDB403U	LBV205U
ULİ305U	LOJ207U	PSI201U	SOS301U	HUK101U	İKT401U	LOJ207U	ULİ305U	MUH303U
HUK101U	İŞL301U	MLY203U	MLY203U	HİT201U	İŞL205U	EDB105U	İŞL209U	İNÖ307U
MLY203U	İŞL401U	İLH2002	TÜR201U	SOS111U	ÇEK401U	EDB301U	YBS307U	KOİ405U
MUH103U	HUK101U	SİY201U	SOS319U	İLT107U	PZL207U	EDB103U	FOT101U	LBV211U
SİY301U	İLT107U	İLH1003	İST201U	MUH103U	HUK101U	MUH103U	İLT107U	EMY205U
SİY201U	MUH103U	İLH2005	KYT401U	İLT207U	HUK401U	FIN401U	PSİ103U	
FRA301U	TÜR201U	TÜR201U	SOS309U	MEİ101U	TÜR201U	TDE203U	YBS205U	
TÜR201U	İŞL201U	SOS319U	SOS317U	PZL303U	SOS319U	TDE301U	TDE401U	
ULİ301U	TRZ205U	ARA1001	İKT305U	TÜR201U	ÇMH201U			
3. oturum kitap ve dersleri								
30001	30002	30003	30004	30005	30006	30007	30008	30009
İST205U	EDB107U	İKT203U	İKT103U	İKT103U	İŞL403U	EDB107U	KYT201U	LBV207U
İKT103U	İŞL303U	PZL305U	İKT101U	TİC203U	İKT203U	TDE101U	ULİ403U	KOİ407U
TİC203U	YBS309U	İKT103U	TR201U	TAR201U	MLY301U	EDB303U	İKT103U	İNÖ405U
İLH1005	KYT201U	İKT101U	HUK221U	MEİ105U	İŞL305U	SOS201U	HUK211U	FOT103U
SOS201U	TAR201U	HİT203U	MEİ105U	İŞL107U	İŞL293U	SOS311U	ÇEK405U	SOS321U
TAR201U	TDE205U	TAR201U	TAR113U	MEİ103U	MUH301U	SOS303U	HUK403U	TDE403U
İLH1001	TDE103U	İLT301U	İŞL107U	İLT303U	İKT309U	TDE303U	SOS105U	EDB405U
İLH2003	İST203U	İŞL107U	İLH2003	FIN205U	İKT405U	İST203U	İŞL293U	LBV201U
SOS105U	TDE201U	ULİ201U	ULİ201U	SYT201U	ULİ303U	TDE103U	ÇEK101U	
İST203U	YBS201U	İLH2001	İLH2001	MUH301U	SİY303U	TDE201U	SİY303U	

Gerçekleşmiş olan bu sınavın ders atama verileriyle, algoritma ile elde edilen oturum düzeni kullanılarak yapılan ders atama verileri karşılaştırılmıştır. Bulunan sonuçlar Tablo 6’da verilmiştir.

**Tablo 6.** Gerçekleşen ve önerilen atama sonuçları

Sınav-ders ataması gerçekleşen değerler		Önerilen algoritma ile elde edilen sınav-ders ataması sonuçları	
Kullanılan kitapçık türü	52	Kullanılan kitapçık türü	29
Toplam basılan kitapçık sayısı	315	Toplam basılan kitapçık sayısı	424
Toplam basılan sayfa	5386	Toplam basılan sayfa	8240

Oluşturulan kitapçık sayısı önerilen algoritma sonucunda daha az değere ulaşmıştır. Bununla beraber, öğrencilerin derslerinin oturumlara dağıtılması işleminin dengeli bir şekilde gerçekleştirilmesi sonucunda, öğrenciler daha fazla oturumda sınava girmekte ve oturumlarda birbirine yakın değerlerde dersten sınava girmektedir. Öğrencilerin sınavda aldıkları ders sayısı çeşitliliği bu sınav için 1 ile 12 arasında değişmektedir. Oturumda en fazla 5 ders alınabilir kısıtı ile birlikte, bu ders sayısındaki çeşitlilik oranı derslerin oturumlara dengeli dağıtılması durumunu beraberinde getirmiştir.

Öğrencinin daha fazla sınava katılması, toplam basılan kitapçık sayısındaki artışı açıklamaktadır. Gerçek sınav ve algoritma verileriyle gerçekleştirilen ders atamaları farklı kriterler için de karşılaştırılmış ve edinilen sonuçlarla, geliştirilen algoritmanın avantaj ve dezavantajları araştırılmıştır. Tespit edilen avantajlar, dezavantajlar ve karşılaştırma yapılan veri grubu izleyen sırada verilmiştir.

Avantajlar:

1. Bölüm bilgisi kullanılmadığı için, oturum düzeni hazırlamaya olan yaklaşım daha kolay bir hale getirilmiştir. Bölüm bazında çalışma yapılmasına duyulan ihtiyaç ortadan kaldırılmış, sınavdaki öğrencilerin kimlik numaraları ve ders gösterim kodlarını içeren bir liste oturum düzeni oluşturmak için yeterli hale gelmiştir.

2. Mevcut sistemde oturum düzenleri manuel hazırlanmakta iken, geliştirilen algoritmanın Java programlama dilinde kodlanması sonucu, program çıktısı ile oturum düzeni elde edilebilir bir sistem geliştirilmiştir. Böylelikle oturum düzeni hazırlamak için harcanan süre oldukça kısalmıştır.

3. Sınavın oturumu kümesi parametre bazlı hale getirilmiştir. Böylelikle, algoritma çalıştırılarak sınav öğrenci-ders verilerinin 1, 2, 3 veya 4 oturum değerleri için uygunlukları denenip sınav oturumuna karar verilebilir. Öğrencilerin 1 oturumda alabildiği maksimum ders sayısı olan 5 engeline takılmadan, sınavların kaç oturumda gerçekleştirilebileceği kontrol edilebilir bir durum haline gelmiştir. Daha az oturumda gerçekleştirilen sınavlar görevli ve baskı maliyetleri açısından iyileştirme sağlayan bir durumdur.

Örnekleme sınav olan Kuzey Amerika Programı sınavı, öğrenci verisi az olduğu için diğer Açıköğretim sistemi sınavlarından farklı olarak üç oturumda gerçekleştirilmiştir. Algoritma oturum sayısı 3 seçilerek çalıştırılmıştır. Ancak algoritma 4 oturum seçilerek de çalıştırılmış, sınavın 3 ve 4 oturumda gerçekleşmesi durumunda atama sonucu Tablo 7'deki gibi bulunmuştur. Sınavın 4 oturum gerçekleştirilmesi durumunda basılan kitapçık ve sayfa sayısının arttığı görülmektedir.

**Tablo 7.** Farklı oturum sayıları için elde edilen sonuçlar

<b>Toplam 3 oturum için algoritma ile elde edilen sınav-ders ataması sonuçları</b>		<b>Toplam 4 oturum için algoritma ile elde edilen sınav-ders ataması sonuçları</b>	
Kitapçık türü	29	Kitapçık türü	26
Toplam basılan kitapçık	424	Toplam basılan kitapçık	545
Toplam basılan sayfa	8240	Toplam basılan sayfa	10672

4. Kitapçıkta en fazla yer alabilecek ders sayısı parametreye bağlanmıştır. Böylelikle öğrencilerin oturum bazında en fazla alabildikleri ders sayısı olan 5 engeline takılmadan, kitapçıkta yer alabilecek en fazla ders sayısı sınav bazında belirlenebilir bir durum haline getirilmiştir. Böylelikle kitapçıklarda aynı sayılarda ya da birbirine yakın değerlerde ders yer alabilecektir.

5. Dersler, kitapçıklar ve öğrenciler oturumlara dengeli dağılmaktadır. Böylelikle her oturumda birbirine yaklaşık değerlerde ders, kitapçık ve öğrenci bulunmaktadır. Bu durum, bazı sınavlar için bir oturumda fazla yığılma olurken, bir oturumda belki sadece birkaç kitapçık için sınav yapılma durumunu ortadan kaldırır hale gelmiştir. Bu kriter için gerçek sınav ve algoritma ders atama değerlerinin karşılaştırılması Tablo 8 ve 9'da verilmiştir.

**Tablo 8.** Oturum bazlı öğrenci ve kitapçık sayısı karşılaştırması

<b>Gerçek sınav oturum düzeni</b>		<b>Algoritma ile elde edilen oturum düzeni</b>	
Oturum bazlı öğrenci ve kitapçık sayısı		Oturum bazlı öğrenci ve kitapçık sayısı	
1	138	1	142
2	141	2	142
3	135	3	140
Toplam	314	Toplam	424

**Tablo 9.** Oturum bazlı ders sayısı karşılaştırması

<b>Gerçek sınav oturum düzeni</b>		<b>Algoritma ile elde edilen oturum düzeni</b>	
Oturum bazlı ders sayısı		Oturum bazlı ders sayısı	
1	90	1	62
2	64	2	62
3	31	3	61
Toplam	185	Toplam	185

Belirtilen avantajlarının yanında önerilen sistemin dezavantajlarından biri dört ve daha az dersi olan öğrencilerin derslerinin oturumlara bölünmesi istenmeyen bir durum olabilir. Toplamda üç veya iki dersi olan öğrencilerin sadece bir oturumda sınava girmeleri istenen bir durumdur. Örneğin üç ders alan bir öğrenci tüm derslerini tek bir oturumda vermek isteyebilir. Her bir ders için üç kere sınava gitmek öğrenci açısından zaman ve maliyet sınırı getirmektedir. Ancak, önerilen algoritma ile oturumda en fazla beş ders alınabilmesi ve derslerin oturumlara eşit sayıda bölünmesi böyle bir sonucu da beraberinde getirmektedir.

Geliştirilen algoritma ile daha az kitapçık türüne erişilirken, daha fazla basılan kitap ve sayfa sayısına erişilmiştir. Kurumlar için daha dengeli bir sınav oturumunun elde edilmesi olumlu bir gelişme iken, daha fazla kitap basılması istenmeyen bir durum olarak görülebilir. Ancak örneklem sayısının oldukça küçük olmasının bu durumu tetikleyebileceği düşünüldüğünden, bu bağlamda algoritmanın daha büyük örneklem grupları ile çalıştırılıp bu kıyaslanmanın tekrar yapılmasında fayda görülmektedir.

#### 4. Sonuç

Türkiye’de çok oturumlu sınavlar birçok kurum tarafından uygulanmaktadır. Yükseköğretime geçiş sınavları, kamu personelinin yerleştirilmesi için yapılan sınavlar, açık ve uzaktan eğitim veren kurumların gerçekleştirdiği sınavlar birden fazla oturumda gerçekleştirilen, çok oturumlu sınavlara örnek gösterilebilecek sınavlardır. Bu çalışma kapsamında, Anadolu Üniversitesi Açıköğretim sistemi sınavlarında, öğrencilerin derslerinin sınav kitapçıklarına ve oturumlarına yerleştirilme işlemi olan oturum düzeni hazırlama işlemi ele alınmıştır. Oluşturulacak kitapçık türünün en küçüklenmesi hedeflenerek, sistemin kısıtları altında oturum düzeni oluşturulması çalışılmıştır. Örneklem sınav olarak, gerçek sınav olan Açıköğretim sistemi yurt dışı programlarından Kuzey Amerika Programlarına ait bir eğitim-öğretim yılı güz dönemi dönem sonu sınavı seçilmiştir.

İlk çözüm yaklaşımı olarak; problemin kısıtları, karar değişkenleri ve amaç fonksiyonu belirlenerek, 0-1 tam sayılı doğrusal bir matematiksel model geliştirilmiştir. GAMS eniyileme yazılımı ile örneklem sınav verisi için en iyi çözüm araştırılmıştır. Ancak hem kısıt ve değişken sayılarının fazla olması hem de modelin karmaşıklığından dolayı matematiksel model ile en iyi çözüm sağlanamamış; problem örneklem 2 olarak adlandırdığımız daha küçük bir boyutlu probleme indirgenmiştir. Örneklem 2 için geliştirilmiş matematiksel model ile en iyi çözüm elde edilmiştir.

Geliştirilen matematiksel model ile büyük boyutlu çok oturumlu sınavlarda kitapçık optimizasyonu problemine en iyi çözüm elde edilemediğinden, yeni çözüm yaklaşımı olarak bir sezgisel algoritma önerilmiştir. Algoritma adımları iki ardışık süreçten oluşacak şekilde tasarlanmıştır. İlk süreç öğrenci derslerinin sistem kısıtları altında oturlara yerleştirilmesi, ikinci süreç ise, oturma atamaları yapılan derslerin yine sistem kısıtları altında kitapçıklara yerleştirilmesi şeklinde oluşturulmuştur. Algoritma sonucu oturma düzeni, gerçek sınavın oturma düzeni verileriyle karşılaştırılmış ve yeni sistemin oldukça fazla avantaja sahip olduğu görülmüştür.

Gelecek çalışmalarda, farklı sezgisel yöntemler denenerek sistemin performansı ölçülebilir. Derslerin sınav oturumlarına ve sınav kitapçıklarına yerleştirilme işlemi seçenekleri çok fazla kombinasyon kümesine sahip olduğu için farklı sezgisel yaklaşımların sonuçlarının sistemin performansını nasıl etkilediği araştırılabilir. Ayrıca örneklem büyüklüğünün bu çalışmanın sonuçlarını nasıl etkileyeceği de incelenebilir. Seçilen örneklem Açıköğretim sistemi için oldukça küçük boyutta bir örnektir. Daha fazla öğrencinin yer aldığı örneklem sınavlar seçilip algoritma sonuçları ile gerçekleşen sınavların verilerinin karşılaştırılması da merak edilmektedir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma Anadolu Üniversitesi BAP Komisyonunda kabul edilen 1706F390 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

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

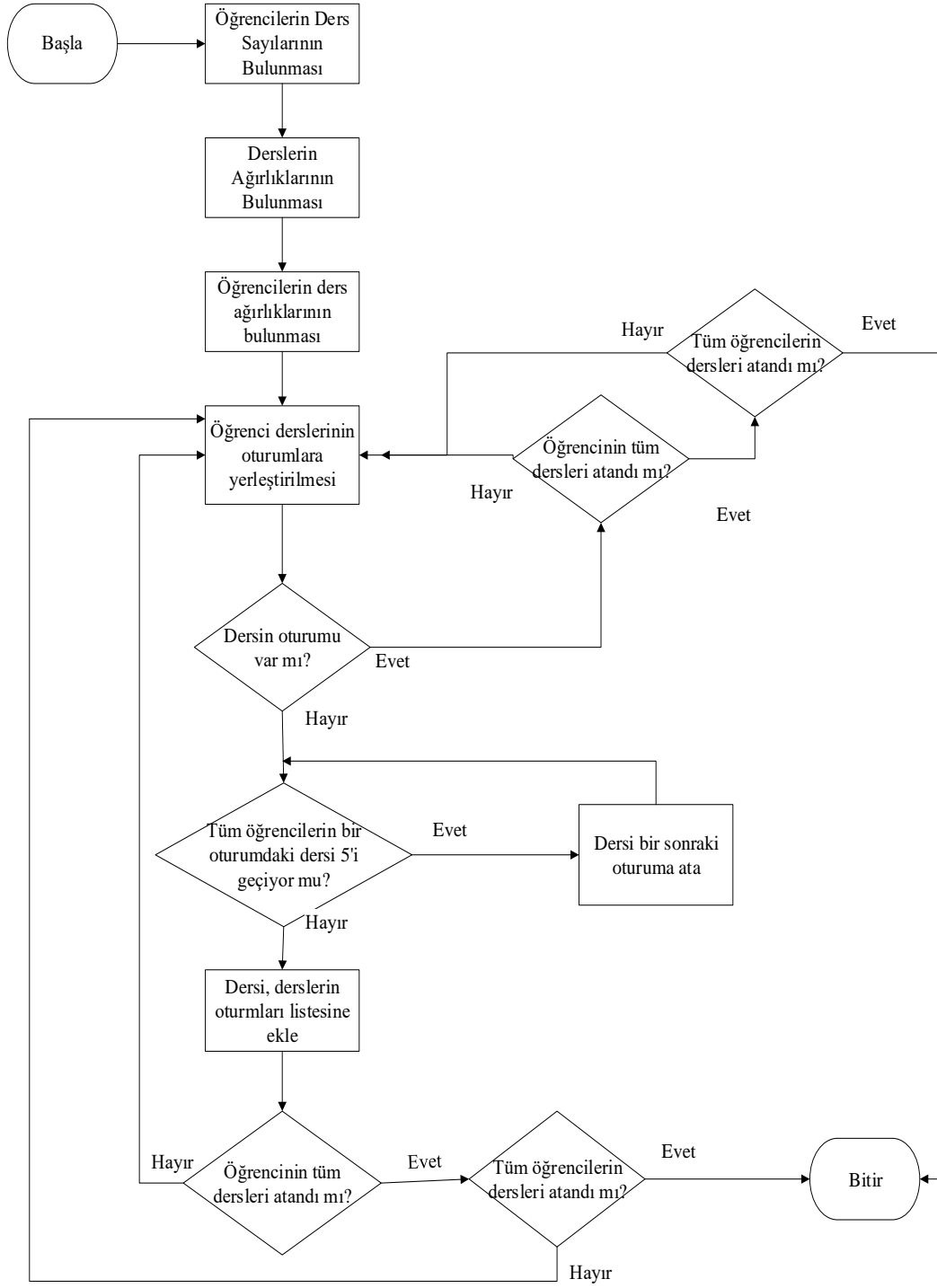
Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

### **Kaynakça**

- Bellio R., Ceschia S., Di Gaspero L. Schaerf, A., Urli T. Feature-based tuning of simulated annealing applied to the curriculum-based course timetabling problem. *Computers & Operations Research* 2016; 65: 83-92.
- Goh SL., Kendall, G., Sbar NR. Simulated annealing with improved reheating and learning for the post enrolment course timetabling problem. *Journal of the Operational Research Society* 2018; 70(6): 873-888.
- Gunawan A., Ng KM., Poh KL. Solving the teacher assignment-course scheduling problem by a hybrid algorithm. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering* 2007; 1(2): 136-141.

- Imran Hossain SK., Akhand MAH., Shuvo MIR., Siddique NH., Adeli H. Optimization of university course scheduling problem using particle swarm optimization with selective search. *Expert Systems with Applications* 2019; 127: 9-24.
- Kamışlı Öztürk, Z, Sağır, M. A new mathematical model and random key based metaheuristic solution approach for course-room-time assignment problem. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi* 2019; 27(2): 67-76.
- Matias, JB., Fajardo, A., Medina R. A hybrid genetic algorithm for course scheduling and teaching workload management. 2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM), IEEE; 2018, p. 1-6.
- Susan S., Bhutani A. Data mining with association rules for scheduling open elective courses using optimization algorithms. 2018 International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA), Springer; 2018, p. 770-778.
- Yazdani M., Naderi B., Zeinali E. Algorithms for university course scheduling problems. *Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette* 2017; 24: 241–247.

## Ek 1. Derslerin Oturlara Yerleştirilme Süreci Akış Şeması







## İklim Değişikliğine Bağlı Sıcaklık Artışının Tarım Sektöründe İş Kazalarına Etkisi

Zeyneb KAHRAMAN<sup>1\*</sup>, Keriman YÜRÜTEN ÖZDEMİR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, Türkiye

<sup>2</sup> Temel Bilimler Bölümü, Su Ürünleri Fakültesi, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, Türkiye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-6855-9386>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-5561-5702>

\*Sorumlu yazar: zeynebkahraman@icloud.com

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 07.09.2022

Kabul tarihi: 22.03.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

İklim değişikliği

İş kazası

Sıcaklık

Tarım sektörü

### ÖZ

İklimin ortalama durumunda ya da onun değişkenliğinde onlarca ya da daha uzun yıllar boyunca süren istatistiksel anlamlı değişimler olarak tanımlanan iklim değişikliği; sanayileşme, fosil yakıt tüketimi, arazi kullanımı değişiklikleri ve ormansızlaşma gibi çeşitli insan etkinlikleri sonucunda hız kazanmış olup, küresel çapta iklim dengesizliği yaşanmasına neden olmaktadır. Bu dengesizliğin sonucu olarak, dünyanın doğal dengesi alt üst olmakta; aşırı sıcaklıklar ve şiddetli hava olayları ile meydana gelen çevresel olumsuzluklar, insan sağlığını doğrudan veya dolaylı olarak tehdit etmektedir. Nitekim, iklim değişikliğine bağlı sıcaklık artışı, çalışan sağlığı açısından da riski artırmaktadır. Belirgin sıcaklık artışı göz önünde bulundurulduğunda, özellikle açık havada çalışan kişiler artan sıcaklardan dolayı yüksek risk altındadır. İklim değişikliği dünya genelinde önemli bir sorun iken, aynı zamanda yeterince önemsenmeyen ve göz ardı edilen hale getirmektedir. Çalışmamızda, tarım sektöründe yaşanan iş kazalarının kaza sıklık oranları ile belirlenerek, iklim değişikliğine bağlı sıcaklık artışının, iş kazaları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada, Sosyal Güvenlik Kurumu'nun (SGK) yayımlanmış olduğu 2014-2021 yılları arasında meydana gelmiş iş kazası verileri ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 2012-2021 yılları arasındaki sıcaklık verileri kullanılarak istatistiksel analizlerle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. İş kazalarının çok faktörlü etiyojisi dikkate alındığında, yaşanan kazaların doğrudan sıcaklığa bağlı olup olmadığı bilinmemekle birlikte, iş kazası sıklık oranlarından elde edilen sonuçlara göre, sıcaklığın en tepe noktası olan 2018 yılında iş kazalarının da geçmiş yıllara nazaran önemli oranda artış gösterdiği, ayrıca iş kazası sıklık hızının son yıllarda daha fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum iklim değişikliği sorununun, gün geçtikçe etkisini daha şiddetli göstereceğinin göstergesi olarak düşünülmektedir.

## The Effect of Temperature Increase Due to Climate Change on Occupational Accidents in the Agriculture Sector

### Research Article

#### Article History:

Received: 07.09.2022

Accepted: 22.03.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

### ABSTRACT

Climate change, defined as statistical meaningful changes in the average state of the climate or its variability over decades, has gained speed due to various human activities such as industrialization, fossil fuel consumption, land use changes deforestation, and climate instability is occurring globally. As a result of this imbalance, the natural balance of the world is upset; Environmental

negativities caused by extreme temperatures and severe weather events directly or indirectly threaten human health. Thus, the rise in temperature due to climate change also increases the risk for employee health. Given the apparent temperature rise, especially those working outdoors are at high risk due to increased temperatures. Climate change is a significant problem worldwide, but it's also not important enough and is ignored. This situation necessitates the search for alternative solutions. In our study, occupational accidents in the agricultural sector were determined by the accident frequency rates, and the effect of temperature increase due to climate change on occupational accidents was examined. In the study, the data of occupational accidents that occurred between the years 2014-2021 published by the Social Security Institution (SGK) and the temperature data of the General Directorate of Meteorology between the years 2012-2021 were compared with statistical analyzes. Considering the multifactorial etiology of occupational accidents, it is not known whether the accidents are directly related to the temperature, but according to the results obtained from the occupational accident frequency rates, in 2018, the highest temperature, the occupational accidents also increased significantly compared to the previous years, and also the occupational accident frequency rate decreased. It has been concluded that more in recent years. This situation is thought to be an indication that the climate change problem will show its effects more severely day by day.

**To Cite:** Kahraman Z., Özdemir KY. İklim Değişikliğine Bağlı Sıcaklık Artışının Tarım Sektöründe İş Kazalarına Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 1927-1942.

## 1.Giriş

İklim değişikliği, etkileri ve sonuçları itibarıyla önemli bir küresel sorun niteliğinde olup (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021), 2022 yılı Küresel Riskler Raporu'na göre en önemli küresel risklerin başında gelmektedir (The Global Risks Report, 2022). İklim değişikliği, halen devam eden sıcaklık veya yağış miktarı gibi iklim ölçümlerindeki önemli değişikliklere işaret etmektedir. Dünya tarihinin erken dönemlerinde iklim değişikliğine neden olan faktörler doğal kaynaklı iken, günümüzde gözlenmekte olan iklim değişikliğinin ana nedenini insan faaliyetleri oluşturmaktadır (U.S. Environmental Protection Agency, 2016). Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) 5. Değerlendirme Raporunda da, küresel ortalama sıcaklıklardaki artışın insan kaynaklı etmenler olduğu kanıtlanmıştır (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014). Bu kapsamda fosil yakıt tüketimi, sanayi ve ticari faaliyetler ve toprağın bilinçsiz ve hor kullanımıyla birlikte, teknolojik araçların çeşitlenmesi ve artışı gibi insan kaynaklı faaliyetler küresel ısınmayı tetikleyerek iklimin değişmesine zemin hazırlamıştır. Bu değişimin sonucu olarak; kuraklık, su baskınları ve fırtına gibi meteorolojik olaylar artmış, dünyanın ekolojik dengesi derinden etkilenmiştir (Şahin, 2021).

Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından, 2021 yılının kayıtlara geçen en sıcak yedi yıldan biri olduğu ve küresel ortalama sıcaklık artışı bağlamında yapılan değerlendirmede, sıcaklığın sanayi öncesindeki döneme kıyasla 1°C'yi aştığı belirtilmiştir. Nitekim sanayi öncesi döneme göre, küresel ortalama sıcaklık artışı 1,1°C'dir. Bu artış, iklim değişikliğine ilişkin olumsuz etkilerin, sera gazları nedeniyle görülmeye devam edeceğinin bir göstergesidir (WMO, 2022). Fosil yakıtların çıkarılması ve yakılmasından kaynaklanan sera gazı emisyonları, hem iklim değişikliğine hem de hava kirliliğine yol açmakta olup, özellikle atmosferdeki ısıyı tutan karbondioksit gibi gazların yarattığı sera etkisiyle beraber hava, kara ve denizdeki sıcaklıklar artmaktadır (Şahin, 2021).

Fosil yakıtların yoğun kullanımının yanı sıra, sürdürülebilirlik prensiplerine göre yapılmayan tarım ve diğer faaliyetlerden dolayı atmosferdeki sera gazı, insanlığın geleceği için tehlikeli bir düzeye ulaşmıştır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yayımlanan sera gazı envanteri sonuçlarına göre, 2020 yılı toplam sera gazı emisyonu bir önceki yıla göre %3,1 artarak 523,9 milyon ton (Mt) CO<sub>2</sub> eşdeğeri olarak hesaplanmıştır (TÜİK, 2022). Sera gazı emisyonunda görülen bu artışlar, iklim değişikliğini hızlandırmakta ve iklim değişikliği nedeniyle ortaya çıkan etkiler küresel çapta yaygınlık göstermektedir (Kahraman ve Şenol, 2018).

İklim değişikliği, temiz hava, güvenli içme suyu, gıda temini ve güvenli barınak gibi sağlığın temel bileşenlerini tehdit altında bırakmakta ve insan yaşamını ve sağlığını çeşitli şekillerde etkilemektedir. 2030 ve 2050 yılları arasında iklim değişikliğinin, yalnızca yetersiz beslenme, sıtma, ishal ve ısı stresi nedeniyle yılda yaklaşık 250.000 ek ölüme neden olması beklenmektedir (World Health Organization [WHO], 2022). İnsan sağlığı üzerinde doğrudan etkisi bulunan faktörlerden biri de sıcaklık artışıdır (Şahin, 2019). Acil Durum Olayları Veri Tabanı (EM-DAT) tarafından 2019 yılında hazırlanan son rapora göre, 2018 yılında aşırı sıcaklıklardan etkilenen kişi sayısının 396.798 olduğu, aşırı sıcaklar nedeniyle ölüm sayısının ise 536 olduğu belirtilmektedir (United Nations Office for Disaster Risk Reduction [UNDRR], 2019). Bu bağlamda, iklim değişikliğine bağlı sıcaklık artışının insan sağlığı ve yaşamı bakımından, gün geçtikçe daha şiddetli sonuçlar ortaya çıkaracağı ve gerekli önlemler alınmadığı takdirde tehdit edici boyutlara ulaşacağı görülmektedir.

İklim değişikliğinin çevresel etkileri ve halk sağlığı yönlerine ilişkin önemli araştırma ve planlamalar yapılmasına karşın, işçiler üzerindeki etkileri konusunda çok az sayıda çalışma bulunmaktadır. İşçiler, özellikle açık alanlarda çalışan tarım işçileri, iklim değişikliğinin etkilerine ilk maruz kalan kişiler olmakla birlikte, daha uzun süreler boyunca ve daha büyük yoğunluklarda etkilenmeler yaşamaktadır (Roelofs ve Wegman, 2014). İklim değişikliğine bağlı aşırı sıcakların yalnızca sıcak çarpması vakası anlamına gelmediği, aynı zamanda aşırı sıcaklar nedeniyle düşme, araç çarpması veya makinelerin yanlış kullanılmasından kaynaklanan yaralanmaların arttığı belirtilmektedir. Ayrıca, iklim değişikliği resmi kayıtlardan çok daha fazla işyerinde kazalara neden olmakta ve yapılan araştırmalar, iklim değişikliğinin etkilerinin yoksul işçiler arasında yoğunlaştığını göstermektedir. Yapılan bir araştırma verisi, sıcaklığın konsantre olmayı zorlaştırarak, işyerindeki kazaları arttırdığını ve yalnızca Kaliforniya'da her yıl ek 20.000 iş kazasına yol açtığını göstermektedir (Flavelle, 2021; Park ve ark., 2021).

Tüm bunlar göz önünde bulundurularak çalışma kapsamında, giderek etkisini arttıran ve tüm canlılar üzerinde potansiyel riske sahip olan küresel iklim değişikliği sorunu ele alınmış olup, iklim değişikliğine bağlı artış gösteren sıcaklıkların, tarım alanlarındaki iş kazalarına etkisi incelenmiştir. Çalışmada, iklim değişikliğine bağlı sıcaklık artışının çalışanlar üzerindeki potansiyel etkileri dikkate alınarak, konu ile ilgili daha önce yapılmış çalışma verilerine yer verilmiştir.

## 1.1. İklim Değişikliğine Bağlı Sıcaklık Artışının Etkileri

Küresel iklim değişikliğinin en doğrudan sonucu aşırı sıcaklık artışıdır (Şahin, 2019). Türkiye'nin de bulunduğu Akdeniz havzası, iklim değişikliğinden kaynaklanan yağışların ve toprak neminin azalması ve buna bağlı olarak yaşanan kuraklık ve aşırı sıcak dönemlerden dolayı, en sıcak noktalardan biri olarak kabul edilmektedir (Diffenbaugh ve ark., 2007; Collins ve ark., 2013). Nitekim, iklim değişikliği projeksiyonları incelendiğinde, küresel iklim değişikliğinden en çok ve olumsuz yönde etkilenecek ülkeler kategorisinde Türkiye de yer almaktadır (Kadıoğlu, 2007).

İklim değişikliğinin etkileri, ülkeleri etkisi altına almaya başlamışken, özellikle ülkemiz iklim değişikliğinin neden olduğu olumsuz etkileri sıklıkla yaşamaktadır (Akay, 2019). İlerleyen dönemlerde ülkemizde, kuraklığın geniş bölgelerde hissedileceği ve aşırı sıcak günlerin sayısının artacağı öngörülmekte, bu bakımdan iklim sorununun ulusal düzeyde ciddiyetle ele alınması gerekmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Sıcaklık değerlerinin artış göstermesiyle birlikte, temiz su rezervlerinin azalması ve tarım arazilerinin kullanılmasında yaşanan değişimler doğal kaynakları olumsuz bir şekilde etkilemekte ve biyoçeşitliliği tehlikeye atmaktadır (Kurnaz, 2019). Yapılan tahminler göz önünde bulundurulduğunda, kuraklık (sıcak hava dalgaları, orman yangını), ani sel taşkınları (şiddetli yağmurlar, fırtınalar) ve deniz seviyesinin artması (kıyı bölgelerinin sular altında kalması, erozyon) gibi üç hayati önem taşıyan sorunun etkilerinin artma eğiliminde olduğu görülmektedir (Kadıoğlu, 2007).

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, sıcaklık artışındaki farklılıkların belirgin olarak ortaya konması adına Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından yayımlanmış olan 2012-2021 yılları arasındaki Türkiye sıcaklık ortalamaları verileri kullanılmıştır.

Ayrıca çalışma kapsamında, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (ÇSGB) Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK, 2022) tarafından yayımlanan Türkiye'de 2014-2021 yıllarına ait bitkisel ve hayvansal üretim alanı ve ormancılık ve tomrukçuluk alanındaki iş göremezlik sürelerine (gün) göre iş kazası geçiren sigortalı sayıları ve ölümlü iş kazaları veri olarak kullanılmıştır. SGK tarafından yayımlanan son istatistik yıllığı 2021 yılına ait olduğu için bu yıla kadar olan veriler çalışmaya dahil edilmiştir (SGK, 2022).

Kazaların seyrinin daha net biçimde ortaya konması adına, iş kazası verileri kaza sıklık oranları ile analiz edilerek sektördeki kazalar, tablolar ve grafiklerle sunulup yorumlanmıştır. Kaza sıklık oranı hesaplaması yapılırken çalışan sayısı hesaba katıldığından iş kazalarının değerlendirilmesi noktasında daha güvenilir sonuçlara ulaşılabilmekte, kazaların çalışan sayısı artışına bağlı olup olmadığı konusundaki belirsizlikler ortadan kalkmaktadır. Bu doğrultuda kazaların bahsi geçen 8 yıllık süre içinde sıklık oranları baz alınarak, sıcaklık ile iş kazalarının istatistiksel seyri hakkında veriler SPSS 22 programında One-Way Anova ve parametrik ve non-parametrik olarak değerlendirilmiş olup, tarım sektörü ile tüm Türkiye geneli kaza durumu değerlendirmeleri yapılmıştır.

## 2.1. Kaza sıklık oranı (KSO) hesaplaması

Kaza sıklık oranı (hızı) hesaplaması, bir çalışma yılı içerisinde oluşan iş kazalarında ölümlü ve/veya ölüm gerçekleşmeyen yaralanmaların toplam sayısının, bu çalışma yılı içerisinde inceleme yapılan çalışanların çalışma saatlerinin toplamına bölünmesiyle elde edilen değer  $1.10^6$  katsayısıyla çarpılmasıyla hesaplanır (Balcı ve ark., 2013).

$$KSO = (\text{Toplam Kaza Sayısı} / \text{Toplam Çalışma Saat Sayısı}) \times 1.10^6$$

Çalışmada, tarım sektörü kapsamında yer alan faaliyetler yer aldığından ve tarım işlerinin çoğunlukla mevsimsel dönemlerde yapıldığından, daha güvenilir sonuçlara ulaşabilmek amacıyla 3 aylık yaz dönemi ve haftalık çalışma süresi (45 saat) dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

## 2.2. Ölümlü Kaza Sıklık Oranı

Bir yıl içerisinde 100.000 çalışan için meydana gelen ölümlü kaza sayısıdır (Ceylan, 2011).

$$\text{Ölümlü KSO} = (\text{Yıllık Ölümlü Kaza Sayısı} / \text{Toplam İşçi Sayısı}) \times 100.000$$

## 2.3. İstatistiksel Analizler

Tüm verilerin istatistiksel analizleri, SPSS 22 programında One-Way Anova ve parametrik ve non-parametrik olarak değerlendirilerek analizler gerçekleştirilmiştir.

## 3. Bulgular ve Tartışma

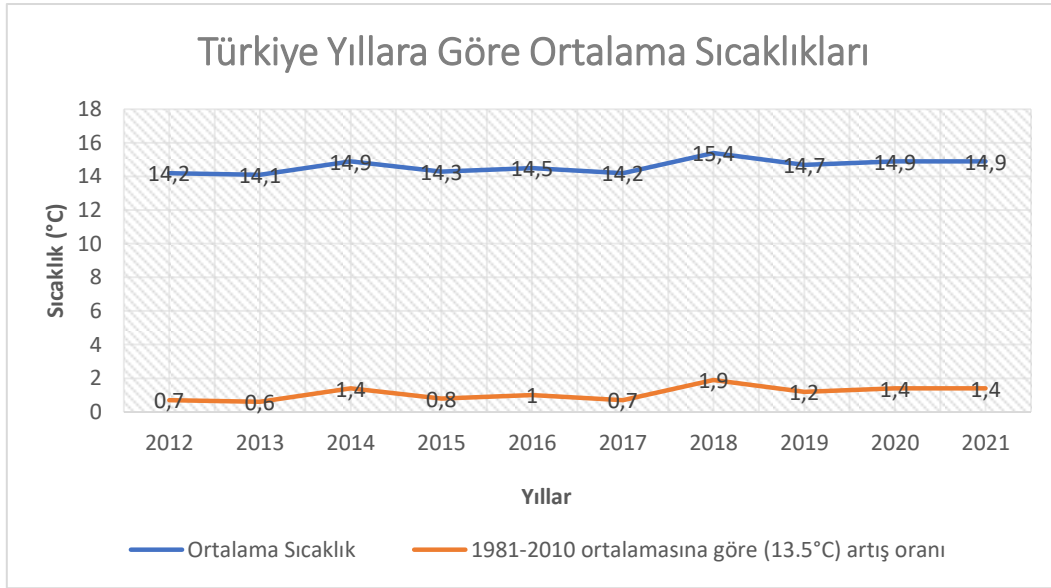
### 3.1. Türkiye'nin Ortalama Sıcaklık Değerleri

Yıllara göre ülkemizde meydana gelen sıcaklık değerleri ortalaması Tablo 3.1 ve Şekil 3.1'de verilmiştir. Veriler değerlendirildiğinde 10 yıldaki ve 1981-2010 ortalamasına göre (13,5°C) artış oranı incelendiğinde en yüksek değer 2018 yılında ve en düşük değer 2013 yılında olduğu görülmüştür.

**Tablo 3.1.** Türkiye'de yıllara göre ortalama sıcaklıkları (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2012; 2013; 2014; 2015; 2016; 2017; 2018; 2019; 2020; 2021).

YIL	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Ortalama Sıcaklık (°C)	14,2 <sup>e</sup>	14,1 <sup>e</sup>	14,9 <sup>b</sup>	14,3 <sup>de</sup>	14,5 <sup>cd</sup>	14,2 <sup>e</sup>	15,4 <sup>a</sup>	14,7 <sup>bc</sup>	14,9 <sup>b</sup>	14,9 <sup>b</sup>
1981-2010 ortalamasına göre (13,5°C) artış oranı	0,7	0,6	1,4	0,8	1	0,7	1,9	1,2	1,4	1,4

\*Değerler ortalama olarak sunulmuştur. Aynı satırda farklı üst harflerle gösterilen değerler arasındaki istatistiksel fark Tukey çoklu karşılaştırma testine göre % 95 doğruluk düzeyinde önemli bulunmuştur.



**Şekil 3.1.** Türkiye’de yıllara göre ortalama sıcaklıkları (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2012; 2013; 2014; 2015; 2016; 2017; 2018; 2019; 2020; 2021).

### 3.2. İklim Değişikliğinin Çalışanlar Üzerindeki Etkileri

İklim değişikliğinden ilk etkilenenler arasında, genellikle açık hava çalışanları yer almaktadır. Etkilenmesi beklenen işçi grupları tarım, balıkçılık, ormancılık ve inşaat gibi açık havada çalışan işçilerdir (Balbus ve ark., 2013; Online Public Health, 2017). Özellikle tarım işçileri, ısıyla ilgili koşullara karşı savunmasızdır (Kjellstrom ve Crowe, 2011; Gubernot ve ark., 2014). Tarım işçileri, artan ısı ve güneşe maruziyet, hava kalitesinin erozyonu, ısıya bağlı hastalık, vektör kaynaklı hastalıklarda (örn. Lyme hastalığı, Chikungunya) artış ve hava kirleticilerine maruz kalma gibi tehlikelerle karşı karşıyadır (Kiefer ve ark., 2017).

Sıcak bir çalışma ortamına aşırı maruziyet sonucunda, dehidrasyon, döküntü, sıcak krampları, sıcaklık bitkinliği, sıcaklık yorgunluğu, bayılma ve sıcak çarpması gibi belirtilerden koma ve ölüme kadar gidebilen sağlık sorunları ortaya çıkabilmektedir (Coşkun Beyan, 2017). Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Hastalık Kontrol ve Korunma Merkezleri raporuna göre, 1992-2006 yılları arasında ABD’de yıllık ortalama sıcaklığa bağlı ölüm oranı 100.000’de 0,02 iken, bu oran 100.000 işçi başına 0,39’a yükselmiştir. Ayrıca yapılan bir araştırmada, 15 yıllık süreçte 423 tarım işçisinin sıcaklığa bağlı nedenlerle öldüğü tespit edilmiştir (Centers for Disease Control and Prevention [CDC], 2008).

Diğer taraftan sıcak hava dalgaları, artan nemle birlikte hissedilen sıcaklığı yükselttiği için aşırı sıcaklar, iş kazalarında 4 ila 6 kat artışa neden olmaktadır. Çalışmalarda, sıcaklığın etkisiyle özellikle dikkatsizlik, halsizlik, yorgunluk ve kişisel koruyucu ekipmanların düzensiz kullanımı nedeniyle iş kazalarının arttığı, aşırı sıcaklarda çalışan kişilerin performansının düştüğü ve iş kalitesinin azaldığı belirtilmektedir (Çımrın, 2017). Yapılan araştırmalar, artan mesleki ısıya maruziyetin kaza, yaralanma ve ısıya bağlı hastalıklar üzerindeki etkisini desteklemektedir (Chang ve ark., 2017).

Park ve ark., (2021) tarafından yapılan çalışmanın sonuçlarına göre, sıcaklığın 85-90 Fahrenheit-°F (29,44 - 32,22°C) arasında olduğu günlerde yaralanma riski %5-7 oranında artış gösterirken, 100 °F'nin (37,78°C) üzerindeki bir günde yaralanma riskinde %10-15 oranında artışa neden olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, tarım ve inşaat gibi açık alanda çalışılan işlerde yaralanmaların önemli ölçüde artığı vurgulanmıştır (Park ve ark., 2021).

Toplam 222 kişi üzerinde yapılan başka bir çalışmada, katılımcıların %43'ü sıcak ve aşırı nemli havanın neden olduğu kazaların işyerinde sıklıkla meydana geldiğini bildirmişlerdir (Varghese ve ark., 2020).

İklim değişikliğine bağlı artan hava sıcaklıkları nedeniyle, sıcaklık stresinde ve sonuçlarında da artış görülmektedir (Schulte, 2009). Özellikle, uzun süre sıcak ortamda çalışan veya aşırı sığağa maruz kalan kişiler, sıcaklık stresi riski altındadır. Sıcaklık stresi; sıcak çarpması, ısı bitkinliği ve ısı krampları ile sonuçlanabilmektedir (National Institute for Occupational Safety & Health [NIOSH], 2022).

Tayland'da 58.495 kişilik bir çalışmada, işçi grubunun %18'i (N=10.784) işyerinde genellikle rahatsız edici derecede yüksek sıcaklıklar yaşadıklarını bildirmiştir. Bu işçilerde iş kazası erkeklerde 2,12 kat daha fazla (95%CI 1,87–2,42, kadınlar için OR 1,89, 95%CI 1,64–2,18) bulunmuştur. Ayrıca, işyerinde sıcaklık stresine sıklıkla maruz kalan erkeklerin %10'u, kadınların ise %7'si iş kazası yaşadıklarını belirtmiştir. Aynı çalışmanın tarımsal işyerlerinde uygulanması sonucunda, iş kazası yaşayan 228 erkeğin 88'i (%5,6), 84 kadının da 28'i (%2,5) sıklıkla sıcaklık stresi yaşadıklarını bildirmiştir (Tawatsupa ve ark., 2013).

### 3.3. Faaliyet Alanlarında Çalışan Toplam Sigortalı Sayıları

SGK istatistikleri incelendiğinde bitkisel ve hayvansal üretim alanındaki sigortalı sayısı en çok 2021 yılında iken, en az sigortalı çalışan sayısı 2018 yılındadır. Ormancılık ve tomrukçuluk alanında ise en fazla sigortalı sayısı 2015 yılında iken en az sigortalı sayısı 2019 yılındadır. İstatistiki olarak veriler değerlendirildiğinde 2020 ve 2021 yıllarında bitkisel hayvansal üretimde çalışan toplam sigortalı sayısının diğer yıllardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (P<0,05).

**Tablo 3.4.** Faaliyet alanlarında çalışan toplam sigortalı sayısı (SGK, 2022)

Yıl / Alan	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<b>Bitkisel ve Hayvansal Üretim</b>	106.329 <sup>c</sup>	113.138 <sup>b</sup>	104.537 <sup>d</sup>	106.852 <sup>c</sup>	103.608 <sup>d</sup>	104.869 <sup>d</sup>	<b>113.413<sup>a</sup></b>	<b>115.903<sup>a</sup></b>
<b>Ormancılık ve Tomrukçuluk</b>	37.646 <sup>b</sup>	<b>97.820<sup>a</sup></b>	34.666 <sup>c</sup>	39.705 <sup>b</sup>	34.620 <sup>c</sup>	27.025 <sup>d</sup>	34.579 <sup>c</sup>	38.305 <sup>b</sup>

\* Değerler ortalama olarak sunulmuştur. Aynı satırda farklı üst harflerle gösterilen değerler arasındaki istatistiki fark Tukey çoklu karşılaştırma testine göre % 95 doğruluk düzeyinde önemli bulunmuştur.



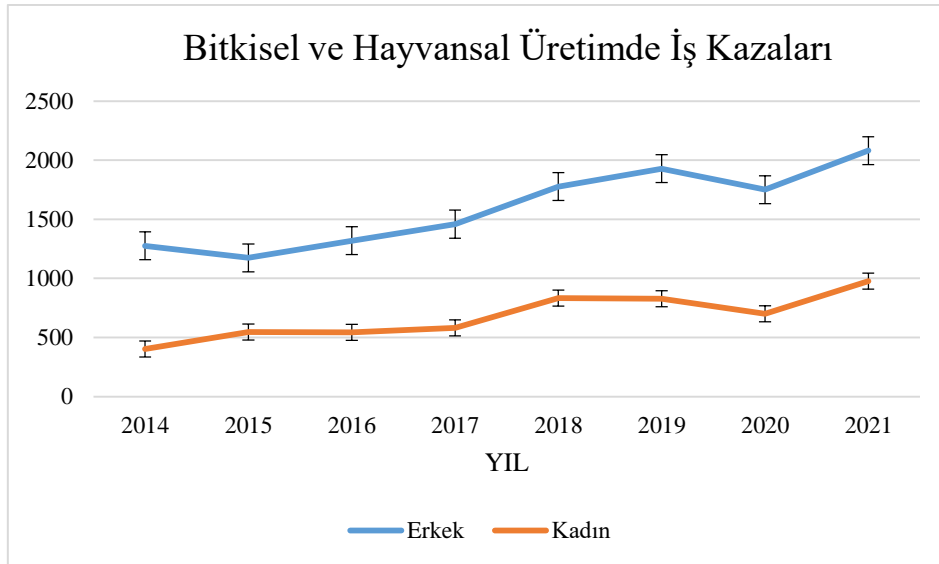
### 3.4. Faaliyet Alanlarına Göre İş Kazası Sayıları

#### 3.4.1. Bitkisel ve Hayvansal Üretimdeki İş Kazaları

ÇSGB'ye bağlı SGK (2022)'den alınan verilere göre, Türkiye'de 2014-2021 yılları arasında bitkisel ve hayvansal üretim alanında iş kazası yaşayan kadın ve erkek sayısının 2021 yılında en yüksek seviyeye ulaştığı görülmektedir. Toplam iş kazası sayıları incelendiğinde, Tablo 3.4.1 ve Şekil 3.4.1'te görüldüğü üzere bitkisel ve hayvansal üretim alanında toplam iş kazası sayısının en yüksek olduğu yıl 3059 iş kazası ile 2021 iken, en çok iş kazası yaşanan ikinci yıl ise 2758 iş kazası ile 2019 olmuştur. Kadınların ölüm oranlarının ise erkeklerden daha az olduğu ve 2019-2020 ve 2021 yıllarında hiç kadın çalışanın ölmediği tespit edilmiştir.

**Tablo 3.4.1** 5510 Sayılı Kanununun 4-1/a maddesi kapsamında faaliyete göre bitkisel ve hayvansal üretim alanında iş kazası geçiren sigortalı sayıları (SGK, 2022).

Bitkisel ve Hayvansal Üretim						
Sayı	İş kazası sayısı			Ölüm sayısı		
Yıl	Erkek	Kadın	Toplam	Erkek	Kadın	Toplam
2014	1276	402	1678	13	2	15
2015	1174	545	1719	12	1	13
2016	1319	544	1863	16	3	19
2017	1459	582	2041	20	1	21
2018	1777	832	2609	20	5	25
2019	1929	829	2758	18	0	18
2020	1751	701	2452	15	0	15
2021	2082	977	3059	19	0	19



**Şekil 3.4.1.** Bitkisel ve hayvansal üretim iş kolunda kadın ve erkek bireylerin iş kazaları durumu

#### 3.4.2. Ormancılık ve Tomrukçuluk Alanındaki İş Kazaları

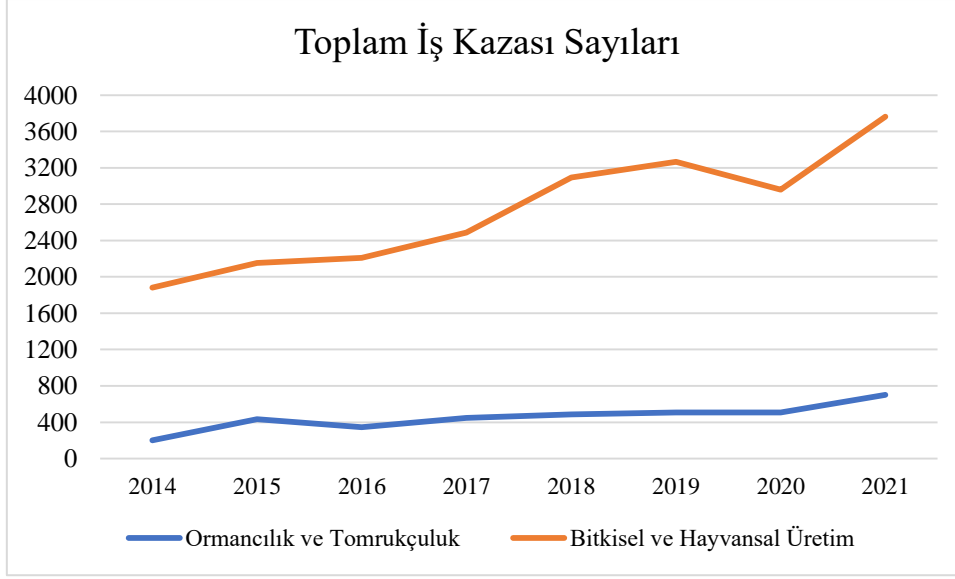
SGK (2022) verilerine göre, Türkiye'de 2014-2021 yılları arasında ormancılık ve tomrukçuluk alanında iş kazası yaşayan kadın sayısının diğer yıllara göre 2015 yılında daha yüksek olduğu

görülmektedir (Tablo 3.4.2). İş kazası yaşayan erkek sayısı incelendiğinde; en yüksek iş kazası sayısının 2021 yılında yaşandığı görülmektedir. Bu alanda yaşanan toplam iş kazası sayısı dikkate alındığında, iş kazası yaşayan kişi sayısının en yüksek olduğu yıl 703 iş kazası ile 2021 iken, en çok iş kazası yaşanan ikinci yıl ise 508 iş kazası ile 2019 olmuştur. Bu yılları takiben en çok iş kazası yaşanan üçüncü yılın 2018 olduğu görülmektedir. Kadınların erkeklere oranlara daha az ölüm oranına sahip olduğu görülmüştür.

**Tablo 3.4.2.** 5510 Sayılı Kanununun 4-1/a maddesi kapsamında ormancılık ve tomrukçuluk alanında iş kazası geçiren sigortalı sayıları (SGK, 2022).

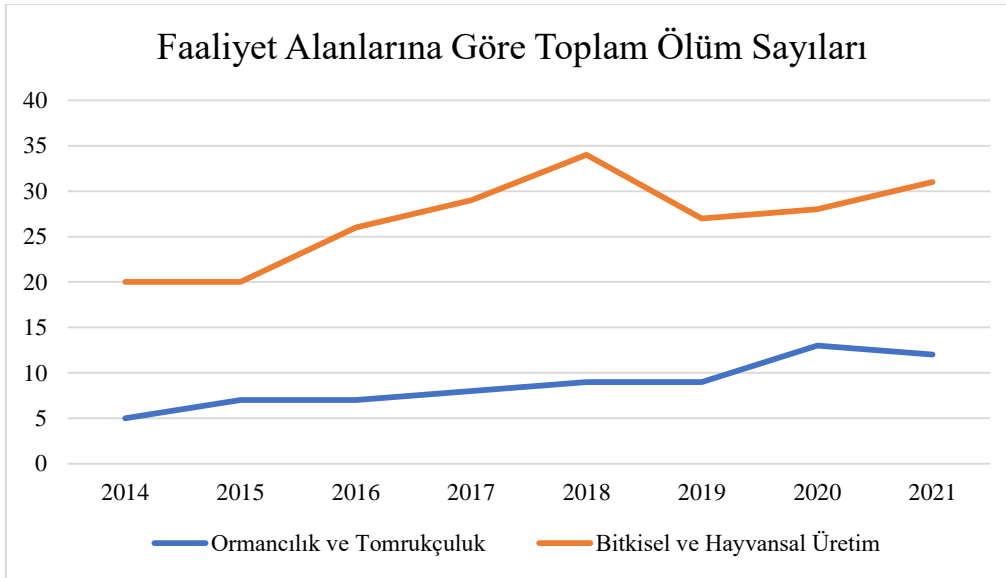
<b>Ormancılık ve tomrukçuluk alanı</b>						
<b>Sayı</b>	<b>İş kazası sayısı</b>			<b>Ölüm sayısı</b>		
<b>Cinsiyet / Yıl</b>	<b>Erkek</b>	<b>Kadın</b>	<b>Toplam</b>	<b>Erkek</b>	<b>Kadın</b>	<b>Toplam</b>
<b>2014</b>	190	12	<b>202</b>	5	0	<b>5</b>
<b>2015</b>	320	114	<b>434</b>	6	1	<b>7</b>
<b>2016</b>	306	39	<b>345</b>	7	0	<b>7</b>
<b>2017</b>	389	58	<b>447</b>	8	0	<b>8</b>
<b>2018</b>	417	69	<b>486</b>	9	0	<b>9</b>
<b>2019</b>	460	48	<b>508</b>	9	0	<b>9</b>
<b>2020</b>	485	22	<b>507</b>	13	0	<b>13</b>
<b>2021</b>	672	31	<b>703</b>	12	0	<b>12</b>

Şekil 3.4.2’de toplam iş kazaları faaliyet alanlarına göre ele alınmış olup, bitkisel ve hayvansal üretim alanı ile ormancılık ve tomrukçuluk alanları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu kapsamda, hem bitkisel ve hayvansal üretim alanında hem de ormancılık ve tomrukçuluk alanında yaşanan toplam iş kazalarının 2021 yılında daha yüksek değerlerde olması ve ardından 2019 ve 2018 yılında en çok iş kazasının yaşanması dikkat çekmektedir. Ayrıca bitkisel ve hayvansal üretim alanında 2020 yılında yaşanan iş kazası sayılarının düşmesine karşın, 2020 yılı en çok iş kazası yaşanan 4. yıl olmuştur. Bu durum iklim değişikliğine bağlı sıcaklık artışlarının, son yıllarda tarım alanlarında yaşanan iş kazaları ile ilişkili olduğunu düşündürmektedir.



**Şekil 3.4.2.** Faaliyet alanlarındaki toplam iş kazası sayıları (SGK, 2022).

Şekil 3.4.3'te bitkisel ve hayvansal üretim alanı ile ormancılık ve tomrukçuluk alanlarında ölümlerle sonuçlanan iş kazaları sayıları görülmektedir. Ölümlü iş kazaları sayılarının artış ve azalışlarının daha anlaşılır şekilde saptanması amacıyla ölüm sayıları, karşılaştırmalı olarak tek grafikte gösterilmiştir. Ölüm sayıları incelendiğinde, bitkisel ve hayvansal üretim alanında ölümlerle sonuçlanan iş kazası sayısı en yüksek 2018 yılında gerçekleşmiştir. Bu durum, 2012-2021 yılları arasındaki en sıcak yılın 2018 olması nedeniyle dikkat çekicidir. Diğer taraftan ormancılık ve tomrukçuluk alanında ölüm sayısının en yüksek olduğu yıl ise 2020'dir.



**Şekil 3.4.3.** Faaliyet alanlarındaki toplam ölüm sayıları (SGK, 2022).

### 3.5. İş Kazası Sıklık Oranları

#### 3.5.1. Faaliyet Alanlarına Göre İş Kazası Sıklık Oranları

İş kazası sıklık oranı hesaplaması yapılırken haftalık 45 çalışma süresi dikkate alınmış olup, 3 aylık yaz dönemine (yıl bazında sigortalı çalışan sayıları sabit) göre hesaplama yapılmıştır. Bu doğrultuda

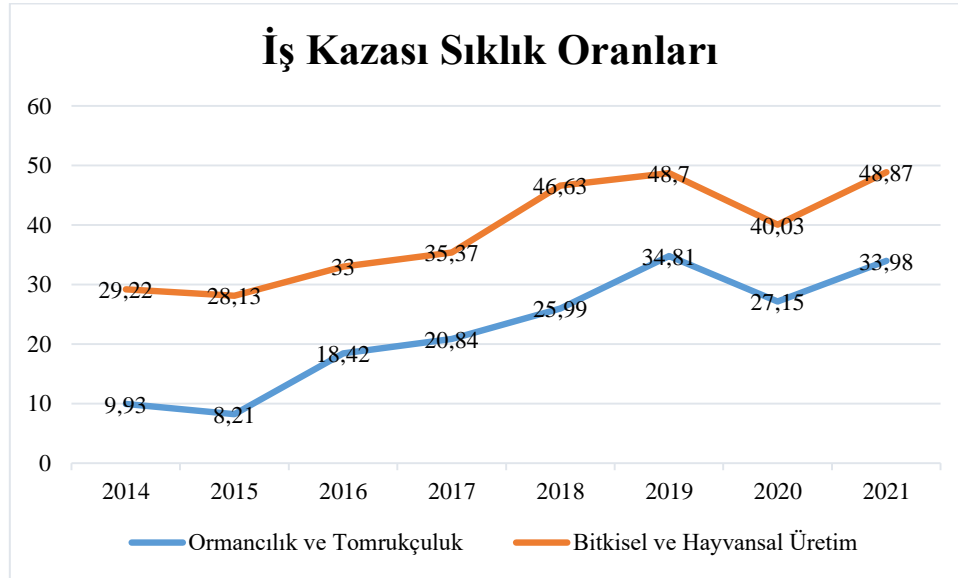
aylık çalışma süresi 180 saat, 3 aylık çalışma süresi ise  $180 \times 3 = 540$  olarak bulunmuştur. Bu değer ile çalışan sayılarının toplamı çarpılarak 3 aylık toplam çalışma süreleri ortaya konmuştur. Elde edilen veriler doğrultusunda faaliyet alanlarına göre hesaplanan iş kazası sıklık oranları Tablo 3.6'da gösterilmiştir.

**Tablo 3.5.** Faaliyet alanlarına göre yıllık iş kazası sıklık oranları

Yıl / Alan	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<b>Bitkisel ve Hayvansal Üretim</b>	29,22 <sup>e</sup>	28,13 <sup>e</sup>	33,00 <sup>d</sup>	35,37 <sup>d</sup>	46,63 <sup>b</sup>	<b>48,70<sup>a</sup></b>	40,03 <sup>c</sup>	<b>48,87<sup>a</sup></b>
<b>Ormancılık ve Tomrukçuluk</b>	9,93 <sup>e</sup>	8,21 <sup>e</sup>	18,42 <sup>d</sup>	20,84 <sup>d</sup>	25,99 <sup>c</sup>	<b>34,81<sup>a</sup></b>	27,15 <sup>b</sup>	<b>33,98<sup>a</sup></b>

\*Değerler ortalama olarak sunulmuştur. Aynı satırda farklı üst harflerle gösterilen değerler arasındaki istatistiksel fark Tukey çoklu karşılaştırma testine göre % 95 doğruluk düzeyinde önemli bulunmuştur.

Tablo 3.5 ve Şekil 3.5'te verilen değerler dikkate alındığında her iki iş kolu için hesaplanan kaza sıklık değerinin 2019 ve 2021 yıllarında en yüksek seviyeye ulaştığı görülmektedir. Bu yılları takiben artışın ormancılık ve tomrukçuluk alanında 2020 yılında, bitkisel ve hayvansal üretim alanında ise 2018 yılında olduğu tespit edilmiştir. Genel tablo incelendiğinde, ormancılık ve tomrukçuluk alanına kıyasla bitkisel ve hayvansal üretim alanında daha fazla iş kazası yaşandığı, ayrıca iş kazası sıklık oranlarının son yıllarda artış gösterdiği ve özellikle 2018-2019 yıllarında geçmiş yıllara nazaran önemli artışların yaşandığı ortaya konmuştur. Bu durum, sıcaklık artışlarına paralel olarak iş kazalarının da artış göstereceğini düşündürmekle birlikte özellikle son 4 yıldaki artışa dikkat çekmektedir.



**Şekil 3.5.** Faaliyet alanlarına göre yıllık iş kazası sıklık oranları

### 3.6.2. Faaliyet Alanlarına Göre Ölümlü Kaza Sıklık Oranları

Ölümlü kaza sıklık oranı verileri değerlendirildiğinde, 2018 yılında (24,12) bitkisel ve hayvansal üretim alanında çalışan sigortalıların değerleri istatistiksel olarak diğer yıllardan daha yüksek

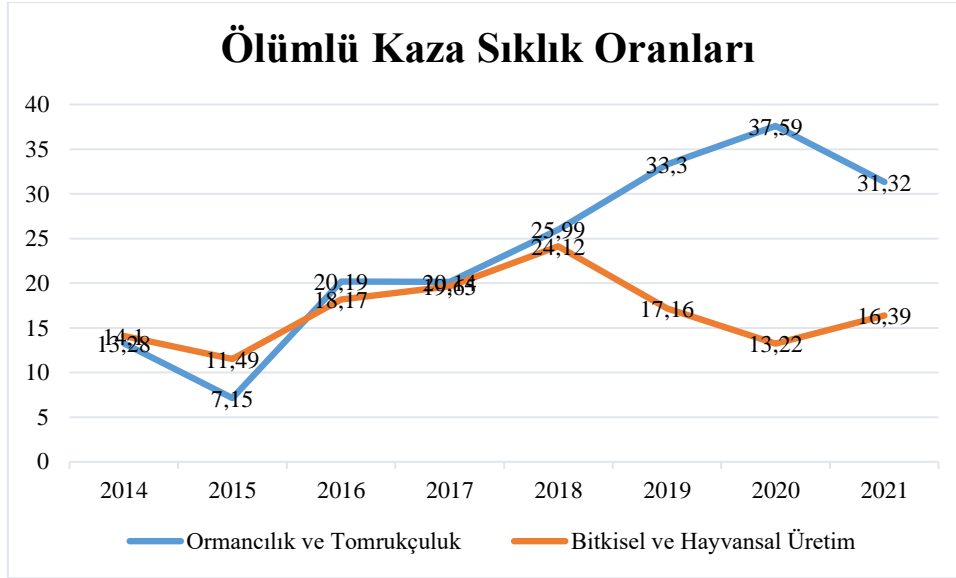
bulunmuştur (P<0,05). Ormancılık ve tomrukçuluk sigortalı çalışanların ölüm kaza sıklık oranı incelendiğinde ise 2020 yılı (37,59) verileri en yüksek olarak tespit edilmiştir (P<0,05). Bu alanda iş kazası sıklık oranının son 4 yıla nazaran düşük olmasına karşın, ölümlü kaza sıklık oranının oldukça yüksek değerde olması dikkat çekmektedir.

**Tablo 3.6.2.** Faaliyet alanlarına göre ölümlü kaza sıklık oranları

Yıl / Alan	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Bitkisel ve Hayvansal Üretim	14,10 <sup>d</sup>	11,49 <sup>e</sup>	18,17 <sup>b</sup>	19,65 <sup>b</sup>	<b>24,12<sup>a</sup></b>	17,16 <sup>bc</sup>	13,22 <sup>d</sup>	16,39 <sup>c</sup>
Ormancılık ve Tomrukçuluk	13,28 <sup>d</sup>	7,15 <sup>e</sup>	20,19 <sup>d</sup>	20,14 <sup>d</sup>	25,99 <sup>c</sup>	33,30 <sup>b</sup>	<b>37,59<sup>a</sup></b>	31,32 <sup>bc</sup>

\* Ölümlü KSO = (Yıllık Ölümlü Kaza Sayısı / Toplam İşçi Sayısı) x 100.000

Bitkisel ve hayvansal üretim alanında ölümlü kaza sıklık hızının en yüksek değere ulaştığı yılın ise, en sıcak yıl (2018) olması nedeniyle oldukça önemlidir. Diğer yandan, her iki iş kolu için de en düşük değerler 2015 yılında elde edilirken, son yıllara doğru ölümlü kaza sıklık hızının artış gösterdiği belirlenmiştir.



**Şekil 3.6.2.** Faaliyet alanlarına göre ölümlü kaza sıklık oranları

#### 4. Sonuç

Küresel iklim değişikliğinin insan sağlığı bakımından çeşitli tehditler yaratacağı açıkça görülmektedir. Özellikle artan sıcaklıklara bağlı olarak ölümlerin ve etkilenmelerin artacağı, yapılan çalışmalarda vurgulanmaktadır. Bu nedenle, insan yaşamının büyük bir bölümünü oluşturan iş hayatında, çalışanların sağlığı önemsenmesi gereken bir konudur. İklim değişikliğine bağlı olarak gün geçtikçe artan kontrolsüz ve aşırı hava olayları (sıcaklık artışı, sel vb.) nedeniyle, çalışan sağlığı açısından felaketler yaşanacağı düşünülmektedir.

Sıcaklık artışlarına bağlı olarak birçok işçi çeşitli hastalıklara maruz kalırken, kimileri de artan sıcakların yarattığı dikkatsizlik, stres faktörü gibi nedenlerle iş kazaları yaşamaktadır. Bu kapsamda özellikle açık havada çalışan kişiler iklim değişikliğinin etkilerine ilişkin daha fazla risk altındadır. İş kazaları bilindiği üzere yüksek oranda tehlikeli davranışlar nedeniyle meydana gelmektedir. Yapılan araştırmalar, iş kazalarının %88'inin tehlikeli hareketlerden kaynaklandığını göstermektedir. Bu doğrultuda, yüksek sıcaklara maruz kalma sonucunda çalışanların ısı stresi altına girmeleri, psikolojik olarak etkilenmeler yaşamaları veya vücut direncinin düşmesi gibi faktörler göz önünde bulundurulduğunda; aşırı sıcaklıklar nedeniyle yaşanan dikkatsizlik, yorgunluk veya kişisel koruyucu ekipman kullanımı eksikliğinden dolayı kazalarının artış gösterdiği görülmektedir.

Diğer taraftan, İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Meclisi (İSİG) iş kazalarına bağlı kayıpların özellikle mevsimlik işçiliğe ihtiyaç duyulan dönemle birlikte arttığını, Mayıs ayı ile birlikte, havanın ısınması ve güvencesiz çalışmanın en yoğun olduğu sektörlerden biri olan tarımdaki iş kazalarına bağlı ölümlerde bir sıçrama meydana geldiğini vurgulamaktadır. İSİG Meclisi tarafından yayımlanan rapora göre, 2022 yılının yalnızca Mayıs ayında 46 tarım işçisi hayatını kaybetmiştir (İSİG, 2022).

2012 yılında SGK tarafından yayımlanan iş kazası nedenlerine göre, sıcaklığa maruz kalmak (iklimsel veya çevresel) nedeniyle 145'i erkek, 14 kadın olmak üzere toplam 159 kişi iş kazasına uğramıştır (SGK, 2012).

Daha önce yapılan çalışmalar ve literatür taramasına paralel olarak çalışmamızın sonuçları değerlendirildiğinde, iş kazaları ile sıcaklık arasında oldukça önemli bir ilişki olduğu düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, her iki faaliyet alanı için de hem iş kazası sıklık hızının hem de ölümlü kaza sıklık oranlarının son dört yılda artış gösterdiği, bu artışın, incelenen yıllar arasında en sıcak yıl olan 2018 yılında ve daha sonraki dönemde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Yaşanan iş kazalarının, bölgesel dağılım ve işe özgün faktörler göz önünde bulundurulduğunda doğrudan sıcaklığa bağlı olup olmadığı bilinmemesine karşın, istatistiki veriler ile elde edilen sonuçlar, son yıllardaki kaza ve ölüm sıklığı oranındaki artışın sıcaklık artışlarına bağlı olduğunu düşündürmektedir. Nitekim geçmiş yıllara nazaran çalışan sayısında önemli farklılıklar bulunmamasına karşın, hem kaza oranlarında hem de ölüm oranlarındaki artış hızı sıcaklık ile kazalar arasındaki ilişkiyi anlamlı kılmaktadır. İklim değişikliğine ilişkin önlemler alınmadığı sürece sonuçların daha da ciddi boyutlara ulaşması ve tarım sektöründeki çalışanların yanı sıra birçok açık hava çalışanının, artan sıcaklıkların etkisiyle daha fazla iş kazası yaşaması veya yüksek sıcaklıklar nedeniyle ölüm sayılarının artış göstermesi beklenmektedir. İklim değişikliğine bağlı sıcaklıkların gün geçtikçe artış göstermesi, gelecek yıllar için daha da endişe verici bir durumdur. Özellikle ülkemiz, kurak ve yarı kurak bir iklime sahip olması nedeniyle iklim değişikliğinin etkileri dolayısıyla oldukça yüksek risk altındadır. Bu durum, iklim değişikliği konusunun küçümsenmemesi gerektiğini, aksine oldukça önemli bir konu olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan bu durum, yalnızca ülkemizde değil tüm dünyada öncelikli sorunlardan biridir. Unutulmamalıdır ki, iklim değişikliği nedeniyle gerçekleşen sıcaklıklar iş alanı içerisinde kontrol altına alınamayacağı için açık havada çalışanlar özenle takip edilmeli ve hem doğamız hem de kendi

yaşamımız için iklim değişikliğinin temelini inilerek gerekli çalışmalar yapılmalıdır. Günümüzde yaşanan iklim değişikliğinin asıl nedenini insan faaliyetleri oluşturmasına karşın, dünyanın yok olmasını bilinçsizce seyretmekteyiz. Bu doğrultuda, iklim değişikliği konusunda bütün toplum bilinçlendirilmeli, konuyla ilgili olarak farkındalık artırılmalı ve yaşanan felaketlerin mutlaka iklim değişikliği ile bağlantısı kurulmalıdır.

### **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**

- Akay A. İklim değişikliğinin neden olduğu afetlerin etkileri. İklim Değişikliği Eğitim Modülleri Serisi 15: Ankara; 2019.
- Balbus JM., Boxall AB., Fenske RA., McKone TE., Zeise L. Implications of global climate change for the assessment and management of human health risks of chemicals in the natural environment. *Environmental Toxicology and Chemistry* 2013; 32: 62-78.
- Balcı B., Balcı Ö., Taçkın E., Yerden EA. İş kazalarında mali kayıplar. *İstanbul Sosyal Bilimler Dergisi* 2013; 72-74.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Heat-related deaths among crop workers--United States, 1992--2006. *MMWR: Morbidity and Mortality Weekly Report* 2008; 57(24): 649-653.
- Ceylan H. Türkiye'deki iş kazalarının genel görünümü ve gelişmiş ülkelerle kıyaslanması. *International Journal of Engineering Research and Development* 2011; 3(2): 18-24.
- Chang CH., Bernard TE., Logan J. Effect of heat stress on risk perceptions and risk taking. *Applied Ergonomics* 2017; 62: 150-157.
- Collins M., Knutti R., Arblaster, J., vd. Long-term climate change: Projections, commitments and irreversibility. In: Stocker, TF., Qin D., Plattner GK. et al. (ed.) *Climate Change 2013: The physical science basis. contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press Cambridge, United Kingdom and New York, NY: USA 2013.
- Çımrın A. Aşırı sıcakta iş kazası riski artıyor (15 dakikada bir su için). <https://www.ntv.com.tr/saglik/asiri-sicakta-is-kazasi-riski-artiyor,vQdIqZLNrUKMqdYm-Fjlyw>, 2017. Erişim Tarihi: 20.06.2022.
- Coşkun Beyan A., Alici NŞ., Bediz C., Çımrın AH. Termal riskler ve iş sağlığı. *Tepecik Eğit. ve Araşt. Hast. Dergisi* 2017; 27(1): 1-6.

- Diffenbaugh NS., Pal JS., Giorgi F. Heat stress intensification in the mediterranean climate change hotspot. *Geophysical Research Letters* 2007; 34: L11706.
- Flavelle C. Work injuries tied to heat are vastly undercounted, 2021; study finds. [https://www-nytimes-com.translate.googleusercontent.com/2021/07/15/climate/heat-injuries.html?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=tr&\\_x\\_tr\\_hl=tr&\\_x\\_tr\\_pto=op,sc](https://www-nytimes-com.translate.googleusercontent.com/2021/07/15/climate/heat-injuries.html?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=tr&_x_tr_hl=tr&_x_tr_pto=op,sc), Erişim Tarihi: 15.06.2022.
- Gubernot DM., Anderson GB., Hunting, KL. The epidemiology of occupational heat exposure in the United States: A review of the literature and assessment of research needs in a changing climate. *Int J Biometeorol* 2014; 58(8): 1779-1788.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2014: Synthesis report. In: Pachauri and R.K., Meyer, L.A. (ed.) Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva Switzerland 2014; 151.
- İSİG Meclisi. 2022 yılının ilk beş ayında (151 günde) en az 646 işçi hayatını kaybetti, <https://www.isigmeclisi.org/20751-2022-yilinin-ilk-bes-ayinda-151-gunde-en-az-646-isci-hayatini-kaybet>, Erişim Tarihi: 20.06.2022.
- Kadioğlu M. İklim değişiklikleri ve etkileri: Meteorolojik afetler. TBMM Afet Sempozyumu Bildiri Kitabı, sayfa no:47-55, Ankara, 2007.
- Kahraman S., Şenol P. İklim değişikliği: Küresel, bölgesel ve kentsel etkileri. *Akademia Sosyal Bilimler Dergisi* 2018; Özel Sayı-1, 353-370.
- Kiefer M., Rodríguez-Guzmán J., Watson J., Wendel de Joode B., Mergler D., Soares da Silva A. Worker health and safety and climate change in the Americas: Issues and research needs. HHS Public Access, Author Manuscript 2017; 40(3): 192-197.
- Kjellstrom T., Crowe J. Climate change, workplace heat exposure, and occupational health and productivity in central America. *Int J. Occup Env Heal.* 2011; 17(3): 270-281.
- Kurnaz L. Son buzul erimeden iklim değişikliği hakkında merak istediğiniz her şey. İstanbul: Doğan Egmont Yayınları; 2019.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü Çevre ve Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. Yıllık iklim değerlendirmeleri. <https://mgm.gov.tr/iklim/iklim-raporlari.aspx>, Erişim Tarihi: 18.06.2022
- National Institute for Occupational Safety & Health (NIOSH). Heat stress. <https://www.cdc.gov/niosh/topics/heatstress/>, Erişim Tarihi: 15.06.2022.
- Online Public Health. Hazard zone: The impact of climate change on occupational health. Milken Institute School of Public Health The George Washington University United States of America; 2017.
- Park RJ., Pankratz N., Behrer AP. Temperature, workplace safety, and labor market inequality. 2021; [paper\\_heat and worker injuries.pdf](#), Erişim Tarihi: 01.07.2022.
- Roelofs C., Wegman D. Workers: The climate canaries. *Am J Public Health* 2014; 104(10): 1799-1801.



- Schulte PA., Chun H. Climate change and occupational safety and health: Establishing a preliminary framework. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2009; 6(9): 542-554.
- Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK). SGK istatistik yıllıkları. <https://sgk.gov.tr/Istatistik/Yillik/fcd5e59b-6af9-4d90-a451-ee7500eb1cb4/>, Erişim Tarihi: 18.06.2022.
- Şahin ÖU. Yaşam kalitesi ve küresel iklim değişikliği. *Journal of Awareness* 2021; 6(3): 147-154.
- Şahin Ü. Sıcak dalgaları: İklim değişikliğiyle artan tehdit ve sıcak-sağlık eylem planları, İPM–Mercator Politika Notu 2019; 1-24.
- Tarım ve Orman Bakanlığı. İklim değişikliği ve tarım değerlendirme raporu, Tarım ve Orman Bakanlığı Tarım Reformu Genel Müdürlüğü, Ankara; 2021.
- Tawatsupa B., Yiengprugsawan V., Kjellstrom T., Bereckki-Gisolf J., Seubsman SA., Sleight A. Association between heat stress and occupational injury among thai workers: Findings of the thai cohort study. *Industrial Health* 2013; 51: 34-46.
- The Global Risks Report. [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_The\\_Global\\_Risks\\_Report\\_2022.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2022.pdf), Erişim Tarihi: 15.06.2022.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). Sera gazı emisyon istatistikleri, 1990-2020, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2020-45862> Erişim Tarihi: 18.06.2022.
- U.S. Environmental Protection Agency. Climate change indicators in the United States, Fourth Edition. EPA 430-R-16-004; 2016. [https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-08/documents/climate\\_indicators\\_2016.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-08/documents/climate_indicators_2016.pdf), Erişim Tarihi: 18.06.2022.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). 2019: Extreme weather events affected 60 million people; 2019. <https://www.unisdr.org/archive/63267>, Erişim Tarihi: 01.07.2022
- Varghese BM., Hansen AL., Williams S., Bi P., Hanson-Easey S., Barnett AG., Heyworth JS., Sim MR., Rowett S., Nitschke M., Corleto RD., Pisaniello DL. Heat-related injuries in Australian workplaces: Perspectives from health and safety representatives. *Safety Science* 2020; 126: 104651.
- World Health Organization (WHO). Climate change. [https://www.who.int/health-topics/climate-change#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/climate-change#tab=tab_1), Erişim Tarihi: 15.06.2022.
- World Meteorological Organization (WMO). 2021 one of the seven warmest years on record, WMO consolidated data shows; 2022. <https://public.wmo.int/en/media/pressrelease/2021-one-of-seven-warmest-years-record-wmo-consolidated-data-shows>, Erişim Tarihi: 15.06.2022.



## Türkoğlu Ovası Arazi Toplulaştırma ve Tarla İçi Geliştirme Hizmetleri Projesinde Yer Alan Tahtalideder ve Kuyumcular Mahallelerinin Dar Kapsamlı Başarı Analizi Üzerine Bir Araştırma

Hasan Oğuz ZOROĞLU<sup>1</sup>, Emine İKİKAT TÜMER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, 46100, Kahramanmaraş

<sup>2</sup>Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, 46100, Kahramanmaraş

<sup>1</sup><https://orcid.org/0009-0003-8894-4152>,

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-6336-3026>

\*Sorumlu yazar: e-mail hasanzade46@hotmail.com

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 06.07.2023

Kabul tarihi: 16.11.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Arazi toplulaştırma

Toplulaştırma başarısı

Toplulaştırma oranı

### ÖZ

Bu çalışmada, Kahramanmaraş İli Türkoğlu İlçesi Tahtalideder ve Kuyumcular Mahallelerindeki arazi toplulaştırma projelerinde toplulaştırma öncesi ve toplulaştırma sonrası durumları karşılaştırılarak başarı durumlarının analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla yerleşim birimlerinin arazi toplulaştırması öncesi ve sonrası parsel şekilleri projeye ait litop programından elde edilen veriler ile ortaya konmuş, yine proje tapu tesciline esas netcad programında hazırlanan proje sayısalı ve litop programı kullanılarak toplulaştırma öncesi ve sonrası parsel sayıları ortaya konmuş toplulaştırma oranları, ortalama parsel ve işletme büyüklükleri de hesaplanarak başarı analizi yapılmıştır. Araştırma konusu 2 yerleşim biriminde arazi toplulaştırma projesi parselasyon planlarının yanı sıra yol, yol geçidi, vb. tarla içi geliştirme hizmetlerine ilişkin sanat yapıları inşa edildiği ve uygulama projesi kapsamında olan 2 yerleşim birimin aynı zamanda Kılavuzlu 2. Kısım Sulama projesi muhtevasında bulunduğu tespit edilmiştir. Proje kapsamında parselasyon çalışmalarının yanında tarla içi geliştirme hizmetleri uygulanan ve sulama projesi muhtevasında bulunan yerleşim birimlerinde toplulaştırma oranlarının istenilen düzeyde olmasa da pozitif olduğu, (Tahtalideder % 25,41, Kuyumcular % 4,53) parsel şekillerinde eskisine kıyasla iyileşme olduğu göze çarpmaktadır.

## A Research on Narrow-Scope Success Analysis of Tahtalideder and Kuyumcular Neighborhoods in the Türkoğlu Plain Land Consolidation and in-Field Development Services Project

### Research Article

#### Article History:

Received: 06.07.2023

Accepted: 16.11.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Land consolidation

Consolidation success

Consolidation rate

### ABSTRACT

In this study, it is aimed to analyze the success status of land consolidation projects in Tahtalideder and Kuyumcular Districts of Kahramanmaraş Province Türkoğlu District by comparing the pre-consolidation and post-consolidation situations. For this purpose, the parcel shapes before and after the land consolidation of the settlements were revealed with the data obtained from the litop program of the project, the project numbers prepared in the netcad program, which is the basis for the project title registration, and the parcel numbers before and after the consolidation were revealed by using the litop program. Success analysis was made by calculating the size of the enterprise. In addition to land consolidation project parcellation plans in 2 settlements, which are the subject of the research, road, road crossing, etc. It has been determined that works of art for on-farm development services

have been built and 2 settlements within the scope of the application project are also included in the Kilavuzlu 2nd Part Irrigation Project. Although it is not at the same level, it is observed that there is an improvement in parcel shapes compared to the past (Tahtalidedeler 25.41%, Kuyumcular 4.53%).

**To Cite:** Zoroğlu HO., İkikat Tümer E. Türkoğlu Ovası Arazi Toplulaştırma ve Tarla İçi Geliştirme Hizmetleri Projesinde Yer Alan Tahtalideder ve Kuyumcular Mahallelerinin Dar Kapsamlı Başarı Analizi Üzerine Bir Araştırma. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 1943-1958.

## 1.Giriş

Tarımsal üretimde üretim faktörlerinin tam ve etkin kullanımı verimliliği artırmada en önemli faktördür. Üretici gelirinin artırılmasında verimliliğin artırılması kadar maliyetlerin azaltılması da büyük önem taşımaktadır. Kıt olan üretim faktörlerinden olan toprağın parçalı, dağınık ve şekillerinin bozuk olması ürün verimliliğini artırmada ve maliyetlerin düşürülmesinde en büyük engellerden birisidir. Bu yüzden dünyada olduğu gibi Türkiye’de de tarıma elverişli işletme büyüklüklerinin artırılması, parça sayısının azaltılması ve arazi şeklinin üretime uygun hale getirilmesi için arazi toplulaştırması yapılmaktadır.

Tarım işletmelerinin, küçük parçalar halinde değişik yerlere dağılmış olan arazilerinin uygun olanlarının, üretimi ve verimi artıracak şekilde birleştirilmesinin dar anlamda arazi toplulaştırması olduğu bildirilmiştir (Ekinci ve Sayılı, 2010). Arazi Toplulaştırması (AT) “Çeşitli nedenlerle ekonomik olarak tarımsal faaliyetleri yapmaya imkân vermeyecek biçimde parçalanmış, dağılmış, bozuk şekilli parsellerin modern tarım işletmeciliği esaslarına göre ve sulama hizmetlerinin geliştirilmesi için uygun biçimde birleştirilmesi, şekillendirilmesi ve yeniden düzenlenmesi işlemi” olarak tanımlanmaktadır (Ankara İl Tarım ve Orman Müdürlüğü Sunusu, 2015).

Tarım arazi parselinin yeter büyüklükte olması, makineli tarımda zaman, işgücü ve sermaye kayıplarını en aza indirmeyi hedeflemektedir. Bununla birlikte yeterli parsel büyüklüğü, üretim faktörlerinin etkin kullanımı ile işletme gelirinin artırılması, üretici ve ailesinin ekonomik ve sosyal refahının artmasını sağlayacaktır. Böylece işletmelerin sürdürülebilirliği sağlanacak ve kırsal alandan kentsel alana göç azalacaktır. Tarımsal üretim aşamasında meydana gelen sorunların bertaraf edilmesinde arazi toplulaştırma çalışmaları bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır.

Arazi toplulaştırması ile parçalılığın azaltılması işletme karlılığını, entansif tarımın uygulanmasını ve sulama projelerinin etkin kullanımını sağlayacak bu da sürdürülebilir tarım ve rasyonel tarımsal kalkınmaya katkı sağlayacaktır (Değirmenci ve ark., 2019; Ertunç ve Janus, 2021).

Arazi toplulaştırma projelerinin sağlamış olduğu bu önemli katkılar, dar anlamıyla yapılan ve yalnızca parsellere yönelik düzenlemelerle mümkün olamayacaktır.

Öyle ki günümüz şartlarında uygulanan arazi toplulaştırma çalışmalarında yalnızca dar anlamıyla tarif edilen ve küçük taşınmaz parsellerini daha büyük parseller haline getirmekle yetinilen toplulaştırma çalışmaları yerine daha kompleks ve daha kapsayıcı projeler ortaya konmaktadır.

Bu projelerin ise fazla parçalanmış, dağılmış arazilerin modern işletmecilik esaslarına göre birleştirilmesi, tarla içi yol şebekelerinin, sulama kanallarının tahliye sistemlerinin, arazi tesviyesi,

toprak ıslahı, drenaj ve toprak muhafaza hizmetlerinin inşası, çevre planlaması, kırsal alanın korunması, sosyal ve kültürel hizmetler için arsa gereksiniminin karşılanması, köy içi yolların, baraj, karayolu, sulama ve drenaj kanallarına ait ortak tesisler için arazi kayıplarının karşılanması gibi konuları kapsadığı belirtilerek geniş anlamıyla arazi toplulaştırma faaliyetlerinin tanımı yapılmaktadır (Takka, 1993).

Arazi toplulaştırması, sağladığı faydalarının yanında, doğrudan mülkiyet hakkını ilgilendiren bir uygulama olması nedeniyle çeşitli zorlukları da bünyesinde barındırmaktadır. Bu nedenle projelerin tüm aşamalarının iyi yönetilmesi gereklidir. Aksi durumda, toplulaştırmanın tarımsal arazi maliklerince benimsenmesi güçleşecek ve toplulaştırma projelerinin başarısı da düşecektir (Karaönder ve Güner, 2021).

Yine toplulaştırma başarısını etkileyen arazi toplulaştırma projelerinin temel ilkelerinin; gönüllülük esasının benimsenmesi, açık ve şeffaf süreçlerin izlenmesi, teknik, finansal, ekonomik, çevresel ve sosyal fizibilite çalışmalarının da proje kapsamında yapılması önem arz etmektedir.

Bununla birlikte ana paydaşlardan olan kadınların, gençlerin ve yerel halkın beklentilerinin de dikkate alınarak adım adım işlem tesis edilmesi ile bu işlemlerin daha kolay yürütülmesi açısından hükümet ve diğer sivil toplum kuruluşlarının desteğinin alınması gerekmektedir (Sagaydak ve Sagaydak, 2022).

AT Öncesi ve Sonrası Parsellerin Geometrik Şekilleri üzerine yapılan çalışmalarda;

parsellerin şekillerinin; arazilerin verimli kullanımı ve makinalı tarıma uyumu açısından oldukça önemli olduğu, arazilerin şekilleri ile işlenme süreleri arasında bir ilişki olduğu bununla birlikte arazi şekilleri ile arazilerin işlenme sürelerinden doğan kayıp zamanların tespiti ile ilgili çalışmalar yapılmış olup Cordes (1970) ve Dinçer (1971) in farklı parsel şekillerini tarımsal mekanizasyon açısından karşılaştırdığı ve eşit büyüklükteki parselleri işlemek için dikdörtgen şekilli arazilere göre diğer arazi şekillerinde ortaya çıkan kayıpları belirledikleri bir çalışmadır (Türk , 2021). Yapmış oldukları bu çalışmada ortaya koymuş oldukları arazi şekline göre kayıp oranlarını, Dikdörtgen: 1,00 Yamuk: 1,10 Kare: 1,20 ve Üçgen: 1,30 olarak belirlemiştirlerdir. Bunun yanında, farklı parsel şekillerinde (Dikdörtgen, Yamuk, Kare, Üçgen, Şekilsiz) zaman kaybı ve iş başarısı yönünden yapılan çalışmalarda alanları eşit olan parsellerden, dikdörtgen şekilli bir parseli işlemek için 1 saatlik çalışma yeterli görülürken, aynı büyüklükteki bir üçgen parselin ise 1,4 saat çalışma ile işlemek gerekmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2016).

Çeşitli geometrik şekillere sahip parseller birlikte değerlendirildiğinde en uygun parsel şeklinin belirlenmesi konusunda çok çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Buna göre, gerek işleme kolaylığı ve zaman kaybının azaltılması, gerekse sınır kayıplarının azaltılması açısından en elverişli parsel şekli dikdörtgendir (Kara,1977).

Bununla birlikte tarla şeklinin iş verimi üzerindeki etkisi konusunda yapılmış bir çalışmada (Arıcı, 1994), dikdörtgen şeklindeki bir tarla parselinde iş verimi 100 kabul edildiğinde bu verimin yamuk için 96,7'ye, düzensiz tarla şekli için 90,9'a düştüğü yönünde hesaplamalar yapılmıştır (Eminoğlu ve Çakmak, 2013).

Arazi Toplulaştırma oranı üzerine yapılan çalışmalarda;

Tunalı ve Dađdelen (2018), Denizli Tavas Ovası AT projelerini inceledikleri çalışmalarında, işletme başına dūřen parsel sayısında meydana gelen azalmanın toplulaştırma oranı kadar önemli olduğunu belirtmişler, toplulaştırma projelerinin değerlendirmesi esnasında işletme başına dūřen parsel sayılarının da dikkate alınması gerektiğini, böylece proje başarısı ile ilgili daha doğru bilgiye sahip olunabileceğini belirtmişlerdir.

Arazi Derecelendirme İndeks ve Haritaları üzerine yapılan çalışmalarda ise; arazi derecelendirme çalışmaları, arazi toplulaştırma işlemlerinde toprağın doğal ve devamlı özellikleri, arazinin yerleşim birimlerine veya işletme merkezine olan uzaklığı ile toprak verimlilik etütlerinin temele alınarak arazinin takasına esas olacak değerlerinin tespit edilmesi işlemleri olarak tanımlanmaktadır (Esen, 2019).

Böylece arazi derecelendirme çalışmaları, arazi toplulaştırma işlemlerinde çiftçilerin sahip oldukları arazilere karşılık olarak verilecek olan yeni arazilerin belirlenmesinin temelini oluşturmaktadır (Çelebi, 1989).

Özellikle arazi toplulaştırma işlemleri kaynaklı parsel taşınması, Şekil ve yön değişimi ile farklı ve uzak mesafeler arasında hisse taşınması gibi işlemlerde yapılacak olan Düzenleme Ortaklık Payı (DOP) kesintilerinin belirlenmesinde toprak indeks ve derecelendirme haritalarından faydalanılmaktadır.

Arazi toplulaştırma çalışmaları sağlamış olduğu birçok fayda sebebiyle çiftçiler tarafından memnuniyetle karşılansa da ortaya çıkan sorun ve memnuniyetsizliklerin büyük bir kısmının da arazi takasında adaletin sağlanmadığı ve tahsis edilen taşınmazın eski arazi değerı ile aynı olmadığı iddiaları göze çarpmaktadır (Erenci, 2019).

Gerek toplulaştırma projelerinin doğru uygulanması açısından gerekse de projeden etkilenecek olan çiftçilerin memnuniyetinin sağlanması açısından arazi derecelendirme işlemlerinin adaletli bir Şekilde yapılması arazi sahipleri arasında güven duygusunu artıracak ve bu da toplulaştırmanın başarı düzeyini artıracak bir etken olacaktır (Özdemir, 2021).

Kahramanmaraş İli Türkoğlu Ovası Arazi Toplulaştırma ve Tarla İçi Geliştirme Hizmetleri (AT ve TİGH) Projesinde yer alan Tahtalıdedeler ve Kuyumcular mahallelerinin dar kapsamlı başarı analizi üzerine yapılan bu çalışmada, proje başarısını etkileyen faktörlerden arazi Şekline ilişkin meydana gelen değerlişimlerin ortaya konulması, arazi toplulaştırma oranlarının yerleşim birimi bazında belirlenmesi, arazi vasıf durumlarının ortaya konularak ve yerleşim biriminin topoğrafyasının da belirlenerek yapılan arazi toplulaştırma projesi ile ne gibi olumlu ya da olumsuz değerlişimlerin meydana geldiğinin çeşitli bilimsel metotlar vasıtasıyla başarı analizi olarak ortaya konulmasına çalışılmıştır.

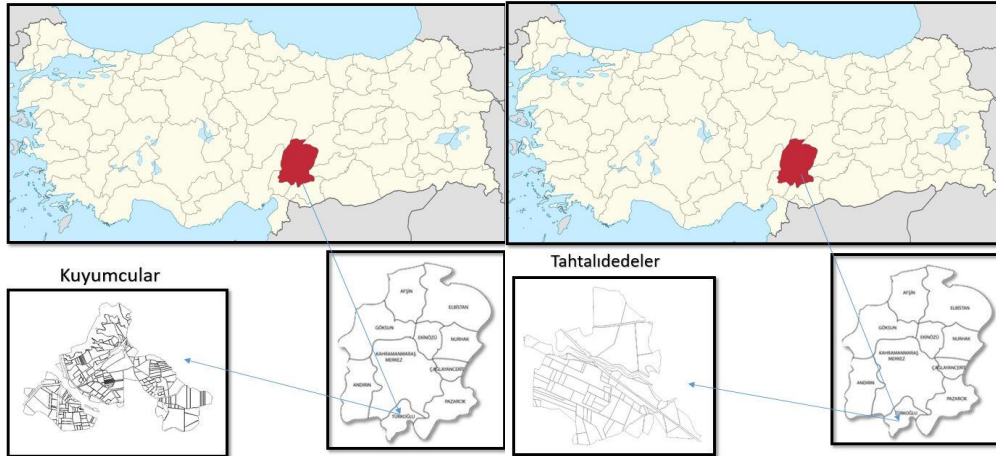
Bu alışmada Türkoğlu ilçesi Arazi Toplulaştırma ve Tarla İçi Geliştirme Hizmetleri Projesi kapsamında 2 yerleşim biriminde yapılan arazi toplulaştırma projesinde başarı kriterleri açısından değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

Araştırma Kahramanmaraş İli Türkoğlu İlçesine bağlı Kuyumcular ve Tahtalıdedeler mahallelerinde yürütülmüştür. İlgili yerleşim birimleri 17.10.2014 tarih ve 29148 sayılı Resmi Gazete ilanı ile arazi toplulaştırma projesi uygulama alanı olarak ilan edilmiştir. Araştırma alanı olarak belirlenen Kuyumcular mahallesinde 18.10.2018 tarihinde ve Tahtalıdedeler mahallesinde 31.10.2018 tarihinde tapu tescil işlemleri tamamlanmıştır. Verileri toplamada proje idaresi olan DSİ 20. Bölge Müdürlüğünden alınan ikincil veriler kullanılmış, bu nedenle araştırma konusu yerleşim birimleri gayeli örnekleme yöntemi ile seçilmiştir.

Araştırma konusu yerleşim birimleri; yaklaşık olarak Türkoğlu İlçe Merkezine 9 km, Kahramanmaraş İl Merkezine ise 20 km uzaklıktadır. Araştırma alanında yer alan Kuyumcular mahalle nüfusu 315 kişi, Tahtalıdedeler mahalle nüfusu ise 164 kişidir (Türkoğlu Kaymakamlığı, 2022). Bölgede Akdeniz iklim özellikleri hâkim olup yazları sıcak ve kurak kışları ılık ve yağışlı geçer.

Araştırma alanı tarım arazilerinde buğday, pamuk, mısır gibi ürünlerin yanı sıra sebze yetiştiriciliği ve seracılık da yapılmaktadır. Araştırma alanının konumu Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Kuyumcular ve Tahtalıdedeler Mahalleleri arazi toplulaştırma proje alanı

Proje idaresinden alınan tescile esas parselasyon haritalarından blok ve parsellere ait konum ve büyüklükler incelenmiş, netcad paket programının bir modülü olan nettop ve litop programlarından yerleşim birimlerine ait toplulaştırma oranları ile parsel büyüklüklerinin önceki ve sonraki hallerine ilişkin karşılaştırmalı analizleri ortaya konarak irdelenmiştir.

Ayrıca ilgili programlar vasıtasıyla yerleşim birimlerine ait toplulaştırmaya giren kadastro alanları, yerleşim birimlerinde bulunan işletme sayıları, ortalama işletme büyüklüğü ile ortalama parsel büyüklüğü de toplulaştırma öncesi ve sonrası durumları birlikte değerlendirilerek toplulaştırma sonrasında meydana gelen değişimler ortaya konmuştur.

Son olarak toplulaştırmaya giren arazilerin tapu nitelik oranları ve toprak derecesinin toplam alan içerisinde kapladığı alan miktarları oranlanarak başarı düzeyine katkısı saptanmaya çalışılmıştır. Türkiye’deki toplulaştırma çalışmalarında aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır (Arıcı, 1994).

$$\text{Toplulaştırma Oranı} = \frac{\text{Arazi Toplulaştırma Öncesi parsel sayısı} - \text{Arazi Toplulaştırma Sonrası Parsel sayısı}}{\text{Arazi Toplulaştırma Öncesi parsel sayısı}} \times 100 \quad (1)$$

Arazi toplulaştırma projesi ile birlikte parsellerin geometrik şekillerinde meydana gelen olumlu ve olumsuz değişimler ortaya konmuştur. Arazi toplulaştırma öncesi parsel sayıları ve arazi toplulaştırma sonrası parsel sayıları belirlenerek toplulaştırma oranı, ortalama parsel büyüklüğü ve ortalama işletme büyüklüğü hesaplanmış, tarla parseli sayısı ve tarla dışı parsel sayısı ayrı ayrı belirlenerek toplam parsel alanı içerisindeki oranı ortaya konmuştur (1). Tüm bu incelemelerin yanı sıra yerleşim birimlerinin toplam yüzölçüm alanı içerisinde hangi toprak derecesinin ne kadar alan kapladığı da hesaplanarak ortaya konmuş ve başarı düzeyine katkısı saptanmıştır.

### 3. Bulgular

#### 3.1. AT Öncesi ve Sonrası Parsellerin Geometrik şekilleri

Türkoğlu Arazi Toplulaştırma ve TİGH Projesinde de proje uygulama alanı içerisine giren 2 mahallede şekil analiz çizelgeleri hazırlanarak en uygun parsel şekli olan dikdörtgen şekli parsel sayısı ve oranı ile diğer parsel şekillerinin de yer aldığı bilgiler Tablo 1 ve Tablo 2 de gösterilmiştir. Kuyumcular mahallesi toplulaştırma sonrasındaki parsel şekil değişimi Tablo 1’den incelendiğinde dikdörtgen parsel sayısının 18’den 38’e çıktığı ve toplulaştırma öncesi % 6,27 olan dikdörtgen şekli parsel oranının %13,87’e yükseldiğı tespit edilmiştir. Ayrıca şekilsiz parsel ve üçgen şekli parsel sayı ve oranının azalması yapılan toplulaştırmanın başarısını göstermektedir.

**Tablo 1.** Kuyumcular mahallesi AT öncesi ve AT sonrası parsel şekil değişimi

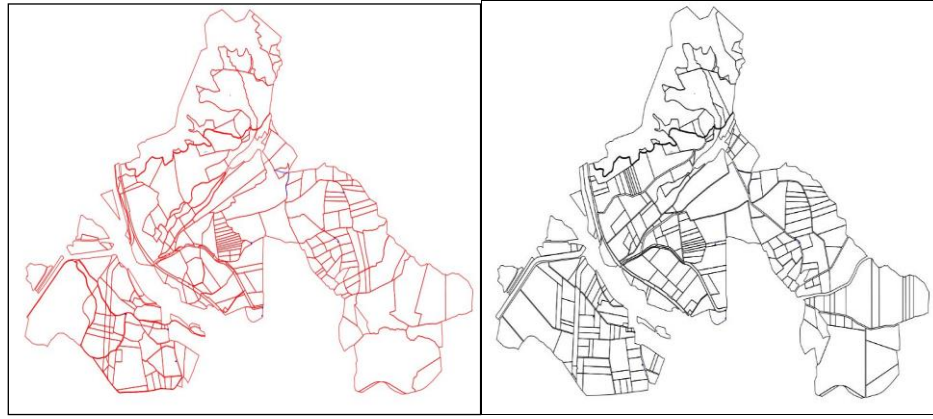
	AT öncesi			AT sonrası		
	şekil adı	Adet	%	şekil adı	Adet	%
<b>Kuyumcular</b>	Üçgen	40	13,94	Üçgen	22	8,03
	Kare	1	0,35	Kare	1	0,36
	Dikdörtgen	18	6,27	Dikdörtgen	38	13,87
	Yamuk	70	24,39	Yamuk	93	33,94
	şekilsiz	158	55,05	şekilsiz	120	43,8
	Toplam	287	100	Toplam	274	100

Tahtalıdedeler mahallesinde toplulaştırma sonrası şekil değişimi Tablo 2’den incelendiğinde, dikdörtgen şekli parsel sayısının 12’den 18’e yükseldiğı ve yüzde olarak % 9,84 den % 19,78 e yükseldiğı tespit edilmiştir. Üçgen şekli parsel sayı ve oranının azalmış olmasının yanı sıra şekilsiz parsel sayısında meydana gelen azalma yüzdesel anlamda kayda değer bir azalış sergilememiştir.

**Tablo 2.** Tahtalıdedeler mahallesi AT öncesi ve AT sonrası şekil değişimi

	AT öncesi			AT sonrası		
	Şekil adı	Adet	%	Şekil adı	Adet	%
Tahtalıdedeler	Üçgen	19	15,57	Üçgen	11	12,09
	Kare	1	0,82	Kare	1	1,1
	Dikdörtgen	12	9,84	Dikdörtgen	18	19,78
	Yamuk	39	31,97	Yamuk	23	25,27
	Şekilsiz	51	41,8	Şekilsiz	38	41,76
	Toplam	122	100	Toplam	91	100

Dikdörtgen şekilli parsel oranında % 7,60 oranında artış gerçekleşen Kuyumcular mahallesinde eski kadastr parsellerinden oluşan kroki ile toplulaştırma sonrası parsel krokisi karşılaştırıldığında şekilsel düzenlemenin başarısı gözle görülmektedir (Şekil 2).



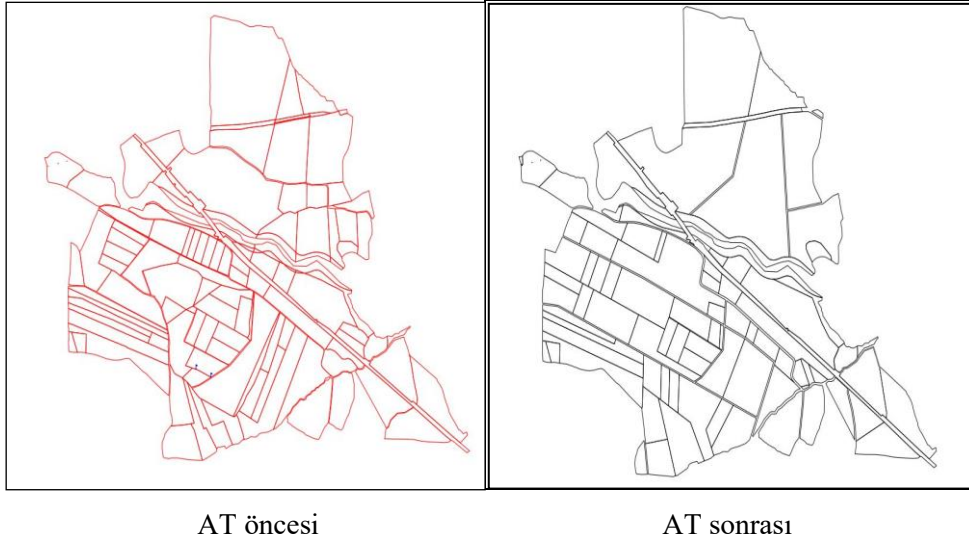
AT öncesi

AT sonrası

**Şekil 2.** Kuyumcular Mahallesi eski kadastr ve AT sonrası parselasyon durumu.

Dikdörtgen şekilli parsel oranında % 9,94 oranında artış gerçekleşen Tahtalıdedeler mahallesinde eski kadastr parsellerinden oluşan kroki ile toplulaştırma sonrası parsel krokisi karşılaştırıldığında şekilsel düzenlemenin başarısı gözle görülmektedir (Şekil 3).





Şekil 3. Tahtalıdedeler mahallesi eski kadastro ve AT sonrası parselasyon durumu

### 3.2. Arazi Toplulaştırma Oranı

Arazi toplulaştırma projelerinde başarı analizinde kullanılan parsel şekli, parsel büyüklüğü ve parsel sayılarındaki değişimlerin irdelenmesinin yanı sıra toplulaştırma oranı da incelenen kriterler arasında yer almaktadır.

Toplulaştırma oranının büyüklüğünün toplulaştırmanın başarısının bir göstergesi olduğu, toplulaştırma oranının büyüdükçe işletmeciliğe uygun hale geldiği ve arazi toplulaştırmasının etkinliğinin arttığı bildirilmiştir.

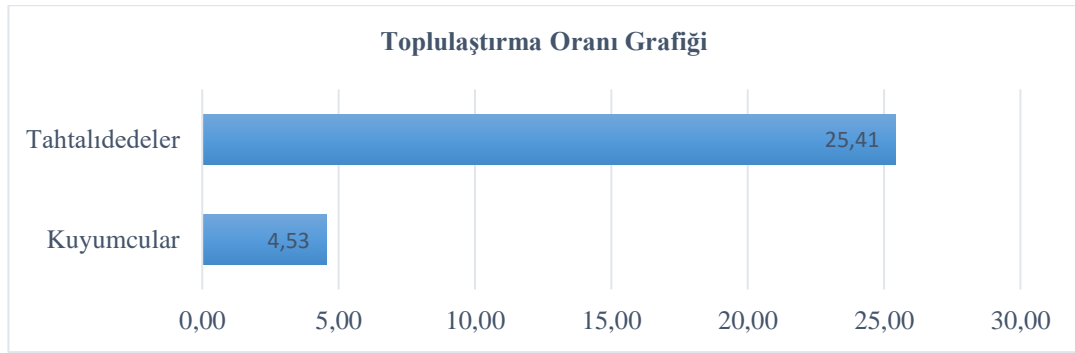
Türkoğlu Arazi Toplulaştırma ve TİGH projesi uygulama alanı içerisine giren Kuyumcular ve Tahtalıdedeler mahallelerinde toplulaştırma oranının belirlenmesinde proje idaresinden alınan veriler kullanılmış, bu verilere göre her bir yerleşim birimi ayrı ayrı değerlendirilerek Tablo 3 oluşturulmuştur.

Çalışmanın bu aşamasında Tablo 3 de toplulaştırma oranının yanı sıra Arazi Toplulaştırma Öncesi ortalama parsel büyüklüğü (ATÖ) ile Arazi Toplulaştırma Sonrası ortalama parsel büyüklüğü (ATS) ve Arazi Toplulaştırma Öncesi ortalama işletme büyüklüğü ile Arazi Toplulaştırma Sonrası ortalama işletme büyüklüğü verileri de kullanılmıştır.

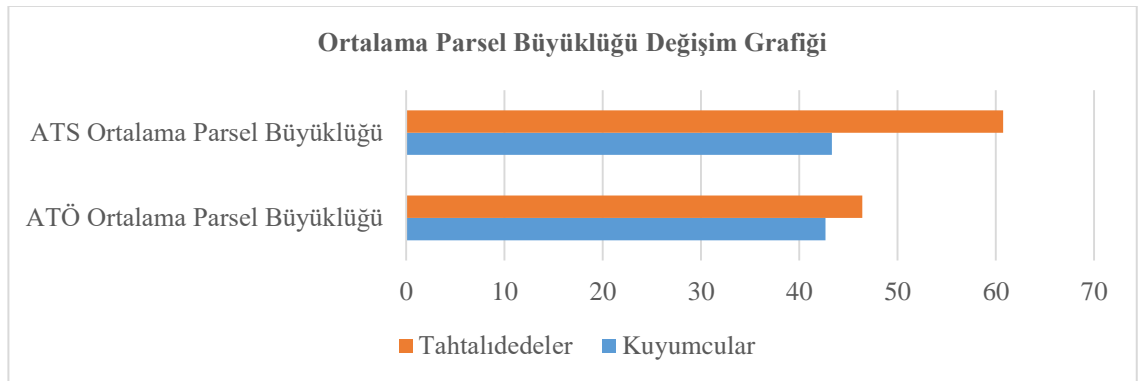
**Tablo 3.** Toplulaştırma bilgilerini içeren veriler

Köy adı	Kadastr o Alan (ha)	Yeni Oluşan Alan (ha)	Topl. İşl. Sayısı (adet)	ATÖ parsel sayısı (adet)	ATS parsel sayısı (adet)	T.O (%)	Z.O (%)	ATÖ ort. Parsel Büyüklüğü (da)	ATS ort. Parsel Büyüklüğü (da)	ATÖ ort. İşl. Büyüklüğü (da)	ATS ort. İşl. Büyüklüğü (da)
Kuyumc ular	1,224	1,187	469	287	274	4,53	3,41	42,67	43,34	26,11	25,32
Tahtalıd edeler	566	552	118	122	91	25,41	2,54	46,42	60,75	48,00	46,85

Toplulaştırma oranı grafiği Şekil 4'den anlaşılacağı üzere Tahtalıdedeler mahallesinde % 25,41 düzeyinde gerçekleşen toplulaştırma oranı Kuyumcular mahallesinde % 4,53 olarak tespit edilmiştir. Kuyumcular mahallesinde kayda değer bir toplulaştırma oranı olmadığı tespit edilmiştir.

**Şekil 4.** Toplulaştırma oranları

Ortalama parsel büyüklüğü değişim grafiği Şekil 5'de verilmiş olup Tahtalıdedeler mahallesinde ortalama parsel büyüklüğü 46,42 dekardan 60,75 dekara yükselmiş, Kuyumcular mahallesinde ise 42,67 dekardan 43,34 dekara yükselmiştir. Kuyumcular mahallesinde kayda değer bir yükselme olmadığı tespit edilmiştir.

**Şekil 5.** Ortalama parsel büyüklüğü değişimi

### 3.3. Arazi Nitelik Oranlarının Tespiti

Türkoğlu Arazi Toplulaştırma ve TİGH projesi uygulama alanı içerisinde kalan yerleşim birimleri arazi vasfına ait tapu kaydı nitelik durumu da incelendiğinde tarla nitelikli parsel sayı ve oranının tarla dışı nitelikli parsel sayı ve oranından oldukça yüksek olduğu göze çarpmaktadır (Tablo 4 ve Tablo 5).

**Tablo 4.** Kuyumcular Mahallesi arazi vasıf durumu

<b>Kuyumcular</b>	<b>Tarla Parseli sayısı</b>	<b>Tarla parsel m<sup>2</sup></b>	<b>Bağ, bahçe, orman, mera vb. gibi Tarla dışı parsel sayısı</b>	<b>Tarla dışı parsel m<sup>2</sup></b>
	208	9.560.283,54	77	2.680.259,23

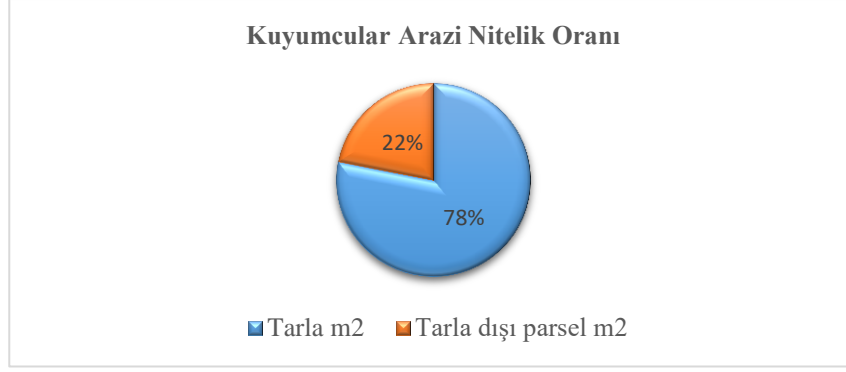
**Tablo 5.** Tahtalidedeler Mahallesi arazi vasıf durumu

<b>Tahtalidedeler</b>	<b>Tarla Parseli sayısı</b>	<b>Tarla parsel m<sup>2</sup></b>	<b>Bağ, bahçe, orman, mera vb. gibi Tarla dışı parsel sayısı</b>	<b>Tarla dışı parsel m<sup>2</sup></b>
	100	5.363.613,71	22	299.935,46

Kuyumcular mahallesinin genel arazi nitelik durumu incelendiğinde toplam 285 parsel taşınmazda, tarla parseli sayısının 208 adet ile oldukça büyük bir kısmını oluşturduğu buna karşın 77 adet tarla dışı parsel sayısının bulunduğu görülmektedir.

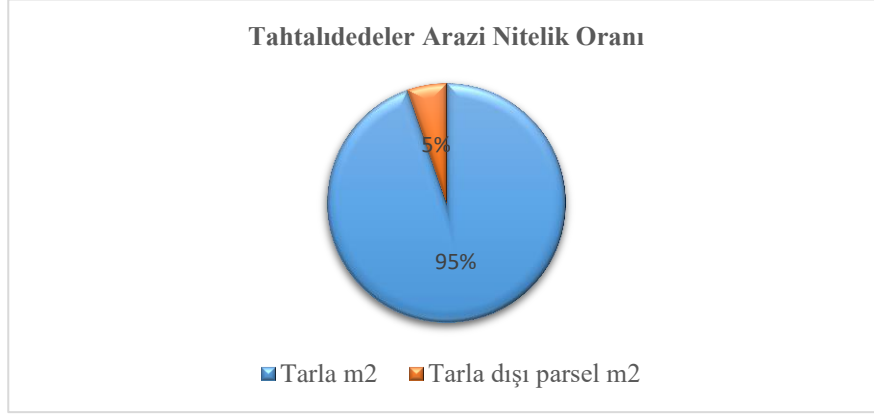
Tahtalidedeler mahallesinin genel arazi nitelik durumu incelendiğinde ise toplam 122 parsel taşınmazdan, tarla parseli sayısının 100 adet ile oldukça büyük bir kısmını oluşturduğu buna karşın 22 adet tarla dışı parsel sayısının bulunduğu göze çarpmaktadır.

Kuyumcular mahallesinde arazi nitelikleri durumu incelendiğinde arazilerin %78,00'ünün tarla vasıflı araziler olduğu, bu yönüyle arazi toplulaştırma projesi uygulanmasına elverişli bir yapıda olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 6).



**Şekil 6.** Kuyumcular Mahallesi arazi nitelik oransal dağılımı

Tahtalidedeler mahallesi arazi nitelik oranları incelendiğinde, tarla parseli oranının % 95,00 ile oldukça yüksek olduğu buna karşın tarla dışı parsel oranının % 5,00 düzeyinde kalması nedeniyle arazi toplulaştırma projesi uygulanmasının elverişli olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 7).



**Şekil 7.** Tahtalidedeler mahallesi arazi nitelik oransal dağılımı

#### 3.4. Arazi Derecelendirme İndeks ve Haritaları

Arazi toplulaştırma projeleri uygulama talimatları gereği derecelendirme işlemlerinde toprak puanı, varlık puanı, konum puanı ve komisyon puanı üzerinden derecelendirme yapılacağı belirtilmekte ve bunların farklı oranlı ortalamalarından oluşan 0-100 arası değer tespit edilerek bunun karşılığında o değer derecesi ortaya konulacağı ifade edilmektedir (Arazi Toplulaştırma ve Tarla İçi Geliştirme Hizmetleri Uygulama Yönetmeliği, 2019).

Arazi toplulaştırma projesi uygulama alanına dahil olan yerleşim birimlerinin benzer toprak indeks ve derecesine sahip olmaları dağıtım işlemlerinde adaletin sağlanması açısından ve parsel şekil değişimi, hisse taşınması vb. kaynaklı taşınmaz takası işlemlerinde çiftçi memnuniyetinin sağlanması açısından ve arazi toplulaştırma sonrası yeni tahsislerde aynı değere sahip arazilerin tescillenmesi açısından oldukça önemlidir.

Tüm bunların yanı sıra arazi toplulaştırma projelerinin uzun yıllara sarı pahalı ve meşakkatli işlemler olduğu göz önüne alındığında projelerin ekonomik olarak yapılabilir olması ve harcanan emek ve

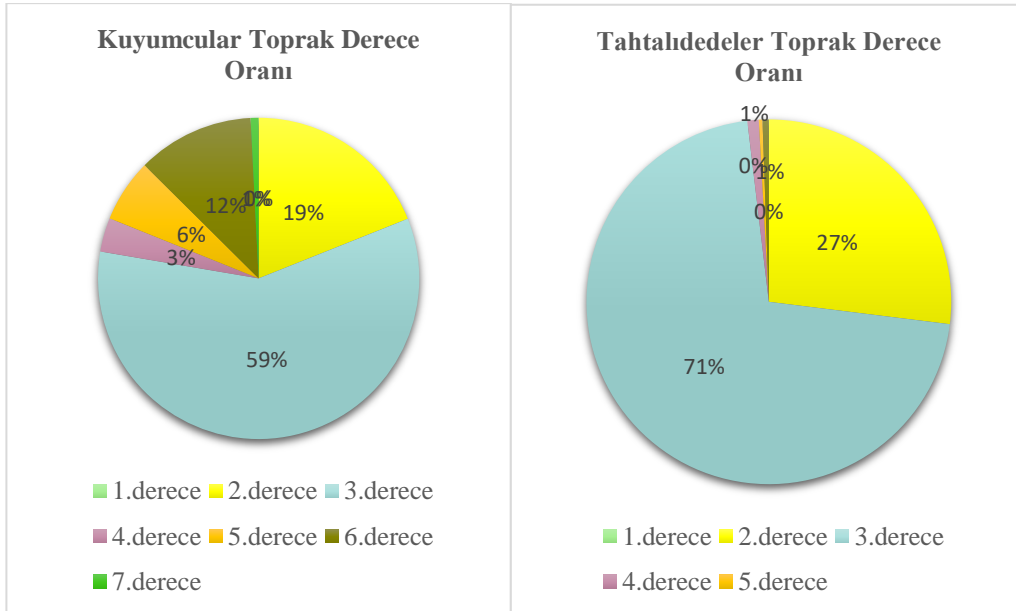
paranın karşılığının daha çabuk alınması açısından verimli tarım arazileri üzerinde arazi toplulaştırma çalışmalarının yapılmasının yani derecelendirme çalışmalarında 1., 2. ve 3. derece gibi yüksek puanlı taşınmazlar üzerinde toplulaştırma yapılmasının daha doğru olacağı bilinmektedir.

Çalışmanın bu aşamasında toplulaştırma projesine dahil olan 2 yerleşim biriminin derecelendirme haritaları ile derecelerin toplam alan içerisindeki oranı incelenmiştir.

Yerleşim birimlerinin toprak derecelerinin izah edildiği Tablo 6 ile birlikte bu toprak derecelerinin toplam alan içerisindeki oranının gösterildiği Şekil 8 incelendiğinde bu yerleşim birimlerinin verimli tarım arazileri sınıfına dahil edilebilecek olan 2. ve 3. derece gibi toprak derecelerine sahip alanların toplam alan içerisindeki oranının yüksek olduğu göze çarpmaktadır.

**Tablo 6.** Arazi toprak derecesi ve toplam alan içerisinde kapladığı yüzdesel oran

Yerleşim Birimi	Derece numarası	Derece oranı %
Kuyumcular	2	19
	3	59
	4	3
	5	6
	6	12
	7	1
Tahtalidedeler	2	27
	3	71
	4	1
	5	1



**Şekil 8.** Arazi toprak derecesi ve toplam alan içerisinde kapladığı yüzdesel oran

#### 4. Tartışma

Arazi toplulaştırma projeleri uygulama esaslarının çiftçi memnuniyetinin sağlanması, parsel şekil düzenlemeleri, hisse problemlerinin giderilmesi ve taşınmaz birleştirmeleri ile toplulaştırma oranının

artırılarak parsel sayısının azaltılması ve tüm bunlara bağlı olarak verimlilik düzeyinin yükseltilmesi hedeflenmektedir.

Çalışmanın başarı düzeyininin doğrudan göstergesi olan bu hedeflere ulaşmak son derece kıymetli olmakla birlikte uygulama alanlarının doğru belirlenmesi, sulama imkanına vakıf, iyi toprak derecesine sahip verimli tarım arazileri üzerinde yatırım yapılması ve yalnızca parsellasyon düzenlemeleri ile yetinilmeyerek tarla içi geliştirme hizmetleri yatırımları ile sanat yapıları inşasının bir bütün olarak yapılması halinde başarı düzeyinin çok daha yüksek olabileceği bu çalışmada ortaya konmaktadır.

Arazi toplulaştırma projeleri ile sulama projeleri bir bütün olarak düşünölmeli ve her iki proje birbiriyle paralel yürütölmelidir. Tüm bunların yanı sıra projelerin muhatabı olan çiftçilerin sosyal ve kültürel olarak desteklenmesi proje başarısı için önem arz etmektedir. (Arslan ve Değirmenci, 2016).

## 5. Sonuçlar

Kahramanmaraş İli Türkoğlu İlçesinde yer alan 2 yerleşim biriminde uygulanan arazi toplulaştırma ve Tarla İçi Geliştirme Hizmetleri Projesinin dar kapsamlı başarı analizini belirlemeye yönelik yapılan bu çalışmada proje uygulama alanı içerisindeki yerleşim birimlerinin toplulaştırma öncesi ve toplulaştırma sonrası durumları ortaya konularak meydana gelen olumlu ya da olumsuz değişim durumu analiz edilmiştir.

Özellikle proje uygulama alanı içerisinde yer alan yerleşim birimlerinde sulama projesi içerisine dahil olan, tarla içi yol, menfez, tesviye vb. tarla içi geliştirme hizmetleri uygulanabilen buna bağlı olarak geniş anlamıyla arazi toplulaştırma projesi uygulanan aynı zamanda 1., 2. ve 3. derece gibi iyi toprak derecesine sahip yerlerde başarı düzeyinin arttığı tespit edilmiştir.

Arazi toplulaştırma projesi uygulama alanı içerisinde yer alıp yapılan çalışma sonucunda başarılı bulunan yerleşim birimlerinin, topoğrafya olarak düz ve düze yakın olduğu, arazi dağılımının dengeli yapıda olduğu, genel parsel alanları içerisinde tarla nitelikli parsel oranının tarla dışı parsel oranına göre daha yüksek olduğu ayrıca bu yerleşim birimlerinde geniş anlamda toplulaştırma yapılarak yalnızca parsellasyona yönelik işlem tesis edilmeyip parsellasyonun yanı sıra sulama, tarla içi yol vb. tarla içi geliştirme hizmetlerinin uygulandığı ve 1., 2. ve 3. derece gibi iyi toprak derecesi bulunan tarım arazilerinin yoğunlukta olduğu tespit edilmiştir.

Arazi toplulaştırma projesi uygulama alanı içerisine dahil edilen yerleşim birimlerinin toplulaştırma yapılmadan önce arazi ve sosyal yapı etütlerinin yapılarak toplulaştırma yapılmaya uygun olmayan yerleşim birimlerinin uygulama alanı içerisine dahil edilmesinin uygun olmadığı, yerleşim birimi içerisinde dağlık ve engebeli parsellerin blok planları dışına çıkarılarak düz ve düze yakın topoğrafyaya sahip olan ve sulama yol vb. tarla içi geliştirme hizmetleri uygulanacak parsellerin blok planları içerisine dahil edilmesinin proje başarısını artırdığı tespit edilmiştir.

Dağlık ve engebeli, topoğrafik yapıya sahip yerleşim birimlerinin arazi toplulaştırma projesi blok planlarına dahil edilmesi halinde özellikle çiftçi memnuniyetinin sağlanması ve proje başarısının

yükseltilmesi amacıyla buralarda da geniş anlamıyla arazi toplulaştırma projesi uygulanmasının ve özellikle taşınmazlara ulaşım sağlayan tarla içi yol vb. sanat yapıları inşasının temin edilmesinde fayda görülmektedir.

Çalışma sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde;

Arazi toplulaştırma projesi uygulama alanının doğru bir biçimde belirlenmesine yönelik ön etüt çalışmalarının dikkatlice yapılmasında, topoğrafik olarak toplulaştırma projesi uygulanmasının zor olduğu alanların ya blok planları dışına alınmasının ya da bu gibi yerlerde daha kapsamlı çalışmalar yapılarak buralarda da tarla içi geliştirme hizmetleri olarak nitelendirilen sanat yapıları inşası uygulanmasında ve bu gibi yerlerde parsel maliki bulunan işletme sahiplerinin de projeden azami ölçüde faydalanmasının sağlanması amaçlı projeler geliştirilmesi gerekmektedir.

Yine arazi toplulaştırma projesi uygulama alanı içerisinde yer alan ve sulama yol vb. sanat yapıları inşası ile tarla içi geliştirme hizmetleri götürülen yerlerde de toplulaştırma oranının yükseltilmesi için parsel sayılarının azaltılmasında, parsel şekil düzenlemelerinin daha kapsamlı ve özenli uygulanarak arazi toplulaştırma projelerinde aranan şekil olan dikdörtgen şekilli parsel sayısı ve oranının yükseltilmesinin amaçlanmasında proje başarısının yükseltilmesi için fayda görülmektedir.

### **Teşekkür**

Yüksek lisans tez çalışmasına altlık teşkil edecek olan bu makalede katkılarından ötürü danışman hocam Prof. Dr. Emine İKİKAT TÜMER' e teşekkürü borç bilirim.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

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

Araştırmacılar makaleye eşit oranda katkı sağlamıştır.

### **Kaynaklar**

Ankara İl Tarım ve Orman Müdürlüğü Sunusu,  
<https://ankara.tarimorman.gov.tr/Belgeler/liftet/arazitoplulastirmasi.pdf> Erişim Tarihi:  
10.10.2022

Arazi Toplulaştırma ve Tarla İçi Geliştirme Hizmetleri Uygulama Yönetmeliği.  
<https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/02/20190207-5.htm>. Son erişim: 18.12.2022

Arıcı İ. Arazi toplulaştırması. Bursa: Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notları; 1994.

Arslan, F., Değirmenci, H. Çiftçilerin arazi toplulaştırma projesine bakışı: Kahramanmaraş Türkoğlu ilçesi ve köyleri. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2016; 30(2): 23-34.

Cordes W. Flachengröbe, Flackenform und Feld- Hofentfernung, Praktische Landtechnik. 1970; h.15,Wien.

- Çelebi M. Karaman ovasında toplulaştırma alanlarındaki parselasyonun parsel boyutları ve kültür teknik hizmetlere etkisi üzerinde bir araştırma, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no: 27. Konya, Türkiye, 1989.
- Değirmenci H., Arslan F., Ketten M. Arazi toplulaştırma projelerinde parsel şekillerinin değişimi: Şanlıurfa Bozca Köyü Örneği. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 2019; 6(3): 557–565.
- Dinçer H. Erzurum ilinde çeki hayvanları ile yapılan tarla çalışmalarında tarla şeklinin efektif iş başarısına etkisi üzerinde bir araştırma, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yıllığı, 21(2): Ankara, Türkiye, 1971.
- Ekinci K., Sayılı M. Tarım arazilerinin parçalanmasını önlemeye yönelik mevzuat üzerine bir inceleme. *GOÜ, Ziraat Fakültesi Dergisi* 2010; 27(2): 121-129.
- Eminoğlu G., Çakmak B. Burdur-Kemer-Elmacık köyü arazi toplulaştırma etkinliğinin değerlendirilmesi, *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi* 2013; 5: 39-53.
- Erenci T. Çanakkale ili Biga ilçesinde uygulanan arazi toplulaştırma çalışmaları, üreticilerin bilinç ve memnuniyet seviyelerinin belirlenmesi, Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 51, Çanakkale, Türkiye, 2019.
- Ertunç E., Janus J. Arazi toplulaştırma projelerinin arazi parçalanma değişimine etkisi: Türkiye ve Polonya örneği. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 2021; 8(1): 226-234.
- Esen A. Arazi toplulaştırma proje başarı kriterleri üzerine bir araştırma. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no:56, Bursa, Türkiye, 2019.
- Kara M. Türkiye’deki bazı arazi toplulaştırma projelerinde parsel boyutları ve yol uzunluğu üzerinde bir araştırma. K.T.Ü., Doktora Tezi, (Yayımlanmamış) Trabzon (1977).
- Karaönder İ., Gürel A. Tarımsal arazi maliklerinin arazi toplulaştırma projelerinin çeşitli aşamalarındaki davranış ve görüşlerinin değerlendirilmesi: Çanakkale ili örneği. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi* 2021; 3(1): 25-31.
- Özdemir Ş. Arazi toplulaştırma sürecinde derecelendirmenin değerlendirme standartları açısından incelenmesi: Ankara ili Evren ilçesi örneği. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, sayfa no:40, Konya, Türkiye, 2021.
- Sagaydak A., Sagaydak A. Agricultural land consolidation vs. land fragmentation in Russia. *International Journal of Engineering and Geosciences* 2022; 7(2): 128-141.
- Takka S. Arazi toplulaştırması. Ankara: Kültür Teknik Derneği Yayınları; 1993.
- Tarım ve Orman Bakanlığı 2016,  
<https://ankara.tarimorman.gov.tr/Belgeler/liftet/arazitoplulastirmasi.pdf> Erişim Tarihi: 10.10.2022
- Tunalı SP., Dağdelen A. Denizli – Tavas ovasında yapılan bazı arazi toplulaştırma çalışmalarının değerlendirilmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi* 2018; 6(2): 58–65.



Türk M. Arazi toplulaştırma başarısının analizi: Kocaeli-Derince ilçesi Kaşıkçı mahallesi örneği.  
Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 17 Bursa, Türkiye,  
2021.

Türkoğlu Kaymakamlığı 2022. <http://www.turkoglu.gov.tr/turkoglu> Erişim Tarihi: 10.10.2022.

## Farklı Molaritelere Sahip KOH Çözeltisi Kullanılarak Üretilen Cüruf Esaslı Geopolimer Harçlarda Kür Sıcaklığı Etkisinin İncelenmesi

Murat ÇAVUŞ<sup>1</sup>, Şinasi BİNGÖL<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup>Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 60250, Tokat

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-9480-4418>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-3708-3079>

\*Sorumlu yazar: sinasi.bingol@gop.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 06.04.2022

Kabul tarihi: 18.10.2022

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Yüksek fırın cürufu

Geopolimer harç

Basınç dayanımı

### ÖZ

Bu çalışmada, farklı kür sıcaklıklarına ve farklı potasyum hidroksit (KOH) oranlarına sahip yüksek fırın cürufu (YFC) geopolimer harçların fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Geopolimer harçların karışımında; YFC ve agrega miktarı sabit tutulurken KOH çözeltisinin molaritesi 5, 10, 15, 20 M olarak belirlenmiştir. Hazırlanan harçlar 40x40x160 mm ebatlarında prizma kalıplara yerleştirilmiş ve 50, 75 ve 100 °C sıcaklıklarda 24 saat küre tabi tutulmuşlardır. Elde edilen numuneler; 1, 7 ve 28 gün laboratuvar koşullarında bekletildikten sonra mekanik dayanımları ölçülmüştür. Ayrıca 28 günlük harçların birim ağırlık, su emme, boşluk oranı ve ultrases geçiş hızı gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir. En iyi basınç dayanımı sonuçları 50 °C de küre tabi tutulan ve 20 M KOH çözeltisiyle hazırlanan numunelerde elde edilmiştir. En az su emme ve boşluk oranı değerleri için ideal kür sıcaklığının 50 °C olduğu görülmüştür.

## Curing Temperature Effect on Slag Based Geopolymer Mortars Produced Using KOH Solution with Different Molarities

### Research Article

#### Article History:

Received: 06.04.2022

Accepted: 18.10.2022

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Blast furnace slag

Geopolymer mortar

Compressive strength

### ABSTRACT

In this study, the physical and mechanical properties of blast furnace slag (BFS) geopolymer mortars with different curing temperatures and different potassium hydroxide (KOH) ratios were examined. In the mixture of geopolymer mortars; While the amount of YFC, water and aggregates was kept constant, KOH's molarite was determined as 5, 10, 15, 20 M. The prepared mortars were placed in prism molds in sizes 40x40x160 mm and sphered for 24 hours at temperatures of 50, 75 and 100 °C. The mechanical strength values of the samples were determined after waiting 1, 7, and 28 days in laboratory conditions. The physical properties of 28-day mortars were also determined, including unit weight, water absorption, clearance rate, and ultrases transition rate. The best compressive strength results were obtained in samples cured at 50 °C and prepared with 20 M KOH solution. It has been observed that the ideal curing temperature for the minimum water absorption and void ratio values is 50 °C.

**To Cite:** Çavuş M., Bingöl Ş. Farklı Molaritelere Sahip KOH Çözeltisi Kullanılarak Üretilen Cüruf Esaslı Geopolimer Harçlarda Kür Sıcaklığı Etkisinin İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 1959-1970.

## 1. Giriş

Portland çimentosu, inşaat ve madencilik endüstrisinde bağlayıcı matris olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Dünya ekonomisindeki hızlı büyüme ve üretim faaliyetlerinin artması nedeniyle, kişi başına yılda yarım tondan fazla çimento üretilmektedir (Andrew, 2018). Çimento üretimi sırasında hem doğal kaynak tüketimi hem de enerji sarfiyatı oldukça yüksektir (ham maddelerin yaklaşık 1500 °C 'ye kadar ısıtılması gerekmektedir (Taylor, 1997). Bir ton Portland çimentosu üretiminde, ön kalsinasyon esnasında 0,55 ton CO<sub>2</sub> ve buna ek olarak kalsinasyonun oluşması için gerekli olan yakıtın yanmasıyla 0,40 ton CO<sub>2</sub> emisyonu gözlemlenmektedir (Nisbet ve ark., 2000; Mahasenan ve ark., 2003). Küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliği şu anda en önemli çevresel zorluklardan biri olmakla beraber sera gazı emisyonları, küresel ısınmaya neden olan ana faktördür. CO<sub>2</sub>, diğer sera gazlarıyla kıyaslandığında, bu gazların arasında %65 oranla en büyük paya sahiptir (Mccaffery, 2002; Phummiphan ve ark., 2018). Çimento üretimi nedeniyle her yıl yaklaşık 4 milyar ton CO<sub>2</sub> salınımı gerçekleşmektedir. Bu miktar da dünyadaki yıllık CO<sub>2</sub> salınımının %8'ini oluşturmaktadır (Hardjito ve ark., 2004). Bu sebeple çimento üretiminden kaynaklanan CO<sub>2</sub> salınımını en aza indirmek gerekmektedir.

Çimento üretiminden kaynaklanan etkileri ve çimento kullanımını azaltmak amacıyla; endüstriyel atık malzemeleri ve yan ürünleri değerlendiren, betonun mukavemet ve dayanıklılığını arttırmayı hedefleyen malzemeler geliştirilmektedir (Palomo ve ark., 2014; Nath ve ark., 2017). Bu konuda yapılan çalışmaların önemli bir kısmı, alkali bir çözeltide aktive edilen silika ve alümina içeren malzemeler kullanılarak beton ya da beton bloklar üretmeye odaklanmaktadır (Sukmak ve ark., 2013; Luukkonen ve ark., 2016). Alkali ile aktive edilerek elde edilen betonlara 'Geopolimer Beton' adı verilmiştir (Davidovits, 1991). Geopolimerler, alüminosilikat içerikli malzemelerin alkali çözeltileri ile polimerize edilmesiyle oluşur (Liew ve ark., 2016). Bu onların çevre sıcaklıklarına yakın sıcaklıklarda sabitlenmesini ve sertleşmesini sağlar (Nematollahi ve ark., 2015). Alkali ile aktive edilen malzemeye dayanan yeni geopolimer beton, hammaddelerin yaklaşık 1400 °C sıcaklıkta kalsinlenmesini gerektirmez. Geopolimerizasyon işlemi için, alümino-silikat öncüllerinin ve alkali çözeltilerinin nispeten düşük bir sıcaklıkta pişirilmesi veya önışlemden geçirilmesi gerekir. İşlem, oda sıcaklığından 150 °C' ye kadar olan sıcaklıklarda tamamlanabilir ve üretim sürecinde NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyonu da çok düşüktür (Zhang ve ark., 2010). Geopolimerler çoğunlukla endüstriyel atıklardan veya yan ürünlerden üretilir ve Portland çimentosu gibi betonda bir bağlayıcı görevi üstlenecek bir tür inorganik polimerler olarak tanımlanır (Zakka ve ark., 2021).

Geopolimerlerin yüksek erken dayanım büyümesi, asit ve sülfat saldırılarına karşı güçlü direnç göstermesi, yüksek sıcaklıkta iyi performans sağlaması (Duan ve ark., 2016; Kwasny ve ark., 2018, Yurt ve ark., 2020), çimento kullanımını en aza indirerek sera gazı salınımını %44-%64 oranında azaltması ve çok çeşitli düşük maliyetli alüminosilikat malzemelerden (uçucu kül, yüksek fırın cürufu vb.) üretilebilir olması gibi avantajlarından dolayı günümüzde Portland çimentosuna potansiyel bir alternatif olarak görülmektedir (Davidovits, 1988; Crozier ve ark., 1999).

Bu çalışmada yüksek fırın cürufu, KOH ile aktive edilerek geopolimer harçlar elde edilmiştir. Karışımlarda alkali aktivatör miktarı, 5, 10, 15 ve 20 M olarak 4 farklı oranda kullanılmıştır. 40x40x160 mm'lik kalıplara yerleştirilen harçlar 24 saat 50, 75 ve 100 °C kür sıcaklığına tabi tutulmuş ve elde edilen sertleşmiş harçların 1., 7. ve 28. günlerinde mekanik ve fiziksel özellik testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar çözeltilerin molaritesi ve kür sıcaklığı üzerinden tartışılmıştır. Literatürde üretilen geopolimer harçlarda çoğunlukla NaOH ve Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılmaktadır (Amran ve ark., 2020; Jihui ve ark., 2021). Bu çalışma kapsamında bu iki alkali malzemenin dışında farklı bir malzeme olan KOH kullanılmıştır. Bu yönden çalışmanın literatüre yenilik katacağı düşünülmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Yapılan çalışmada bağlayıcı olarak yüksek fırın cürufu (YFC), alkali aktivatör olarak KOH, agrega olarak dere kumu ve farklı molaritelere sahip alkali çözelti kullanılmıştır. İskenderun demir-çelik fabrikasından temin edilen YFC'na ait kimyasal içerik Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** YFC'nin kimyasal içeriği (%)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	MnO	SO <sub>3</sub>
<b>YFC</b>	38,8	13,48	1,36	4,32	34,36	0,31	1,36	1,75

Alkali aktivasyonu için beyaz renkte nem çekici (higroskopik) katı pelet halinde %99 saflıkta KOH, içme suyu ile karıştırılmış, soğuyana kadar bekletilmiş ve çözelti halinde karışımlara ilave edilmiştir. Literatürde Geopolimer harçlarda kullanılan suyun reaksiyona bir etkisinin olmadığı sadece harcın işlenebilmesi için gerektiği belirtilmiştir (Davidovits, 2015). Karışımlarda maksimum dane çapı 3 mm olan ve Tokat bölgesinden elde edilen dere kumu kullanılmıştır. Kumun maksimum yoğunluğu 2,3 g/cm<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür.

### 2.2. Metot

Deneysel çalışmada KOH, karışım suyunda eritilerek molaritesi 5, 10, 15 ve 20 M olan çözeltiler elde edilmiştir. KOH suyun sıcaklığını artırdığı için çözelti kullanılmadan önce oda sıcaklığına gelene kadar bekletilmiştir. Tüm karışımlarda bağlayıcı olarak 450 gr YFC, 250 ml su ve 1350 gr dere kumu kullanılmıştır. Dört farklı alkali oranı ve 3 farklı kür sıcaklığı için 12 seri ve toplamda 108 numune hazırlanmıştır (Tablo 2). Numune isimlendirmesinde rakamsal olarak sırasıyla molarite ve kür sıcaklığı verilmiştir.

**Tablo 2.** Geopolimer harçlara ait karışım oranları

Seri Kodu	Kür Sıcaklığı (°C)	Molarite (M)	YFC (g)	Kum (g)	Alkali Çözelti (ml)
K05_50	50	5	450	1350	250
K10_50		10	450	1350	250
K15_50		15	450	1350	250
K20_50		20	450	1350	250
K05_75	75	5	450	1350	250
K10_75		10	450	1350	250
K15_75		15	450	1350	250
K20_75		20	450	1350	250
K05_100	100	5	450	1350	250
K10_100		10	450	1350	250
K15_100		15	450	1350	250
K20_100		20	450	1350	250

Taze harç üretiminde ilk olarak; kum ile YFC kuru olarak karıştırılmış, başka bir kapta hazırlanan alkali çözelti karıştırıcıya konmuş daha sonra kuru karışım eklenerek TS EN 196-1 (2016)'ya göre taze geopolimer harcı elde edilmiştir. Elde edilen taze harçlar 40x40x160 mm'lik üçlü prizma kalıplara dökülmüştür. Hazırlanan harçlar 24 saat boyunca 50, 75 ve 100 °C ısı küre tabii tutulmuşlardır. Geopolimer harçlar ısı küre işlemlerinin ardından fiziksel ve mekanik özellik testlerinin yapılacağı güne kadar laboratuvar ortamında ve 22±2 °C'lik ısıda muhafaza edilmiştir. Laboratuvar koşullarında bekletilen harçların 1, 7 ve 28. günde dayanım gelişimleri, 28. gün için ise ultrases geçiş hızı ve fiziksel özellikleri incelenmiştir.

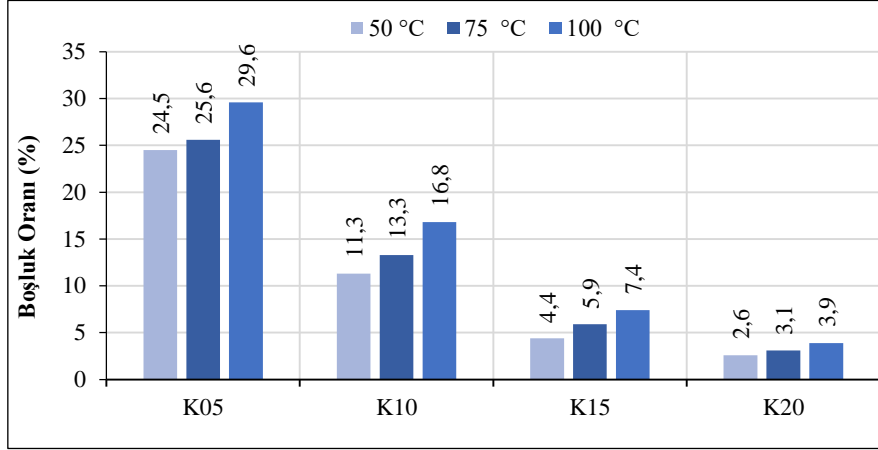
Harçların eğilme ve basınç dayanım özellikleri TS EN 1015-11 (2020)'ye göre belirlenmiştir. Mekanik testler için otomatik kontrollü laboratuvar tipi çimento presi kullanılmıştır. Geopolimer harçların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi sırasında ise; örnekler önce suya doygun hale getirilmiş daha sonra su tankından alınarak, su içerisinde asılı ağırlıkları ve suya doygun yüzey kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Ardından ilgili örnekler etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulup tekrar tartılarak etüv kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Elde edilen veriler yardımıyla örneklerin; birim hacim ağırlıkları ve görünen porozite değerleri TS EN 197-1 (2012)'ye göre, su emme değerleri ise TS EN 771-1 (2015)'e göre belirlenmiştir. Ayrıca laboratuvar ortamında bekletilen numuneler üzerinde ultrases geçiş hızı deneyi ASTM C597 (2016)'a göre yapılmıştır. Deney sonuçları yorumlanırken her bir seriden üç sonucun aritmetik ortalaması alınarak kullanılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Boşluk Oranı Özellikleri

28 günlük geopolimer harçlar üzerinde yapılan porozite deneyine ait sonuçlar Şekil 1'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar karışımlarda kullanılan aktivatörün molaritesi ve kür sıcaklığı açısından değerlendirilmiştir. Geopolimerler üzerinde yapılan porozite deneyi ile boşluk oranları %2,6–29,6

aralığında ölçülmüştür. Deneysel çalışma sonunda en yüksek boşluk oranı değeri %29,6 ile 100 C° de küre tabi tutulmuş olan 5M KOH içeren K05\_100 numunesinde ölçülürken en düşük boşluk oranı değeri ise %2,6 ile 50 C° de kür yapılan K20\_50 numunesinde ortaya çıkmıştır. Karışımlarda kullanılan çözeltinin molaritesinin artıyor olması boşluk oranlarının azalmasına katkı sağladığı görülmüştür. Su miktarının sabit tutulduğu bu çalışmada, çözelti hazırlamada kullanılan KOH miktarının artması oransal olarak karışımda katı madde miktarını arttırmaktadır. İlerleyen günlerde kristalize olan KOH harçlardaki boşluk oranlarının düşmesine sebep olmaktadır.

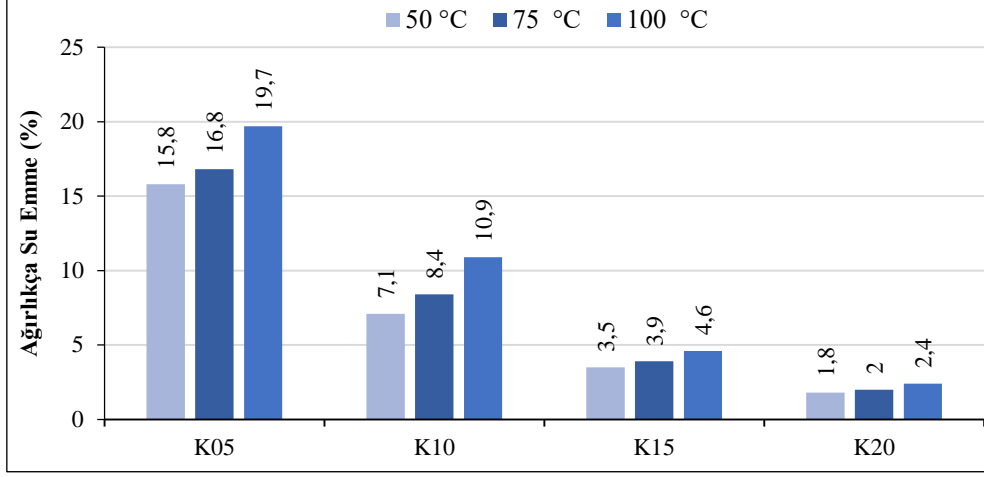


Şekil 1. Harçlara ait porozite oranlarının molariteye ve kür sıcaklığına göre değişimi

Sonuçlar kür sıcaklığı açısından değerlendirildiğinde ise en iyi sonuçlar 50 °C de elde edilmiştir. Molarite açısından da en iyi sonuçların alındığı 20 M KOH'ın kullanıldığı harçlarda 50 °C ile 100 °C arasındaki fark %50 çıkarken, 5M KOH kullanılan harçlarda aynı sıcaklıklar için bu fark %21 olarak hesaplanmıştır. Aynı molariteye sahip numunelerde, kür sıcaklığı arttıkça harçlardaki kılcal çatlakların ve boşluk oranının artmasına neden olmaktadır. Elde edilen sonuçlar literatürde bazı benzer çalışmalarla kıyaslandığında Tekin (2016) yaptığı çalışmada 0,5 bağlayıcı su oranına sahip örneklerden daha iyi sonuçlar alınırken, Çelikten ve Atabey'in (2021) yaptıkları çalışmada elde ettikleri maksimum boşluk oranından daha fazla çıkmıştır.

### 3.2. Su Emme Özellikleri

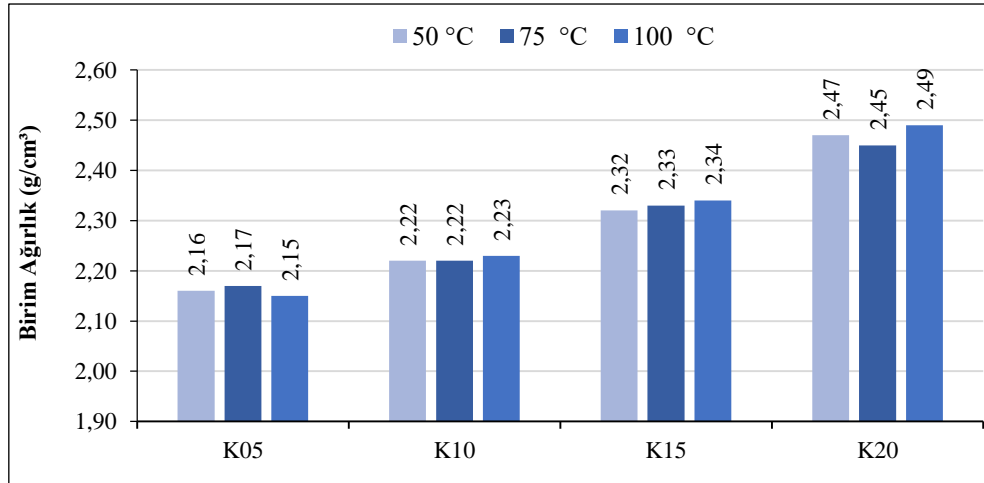
Su emme oranlarına ait sonuçlar Şekil 2'de verilmiştir. Deneyler sonucunda en yüksek su emme oranları 5 M KOH'ın kullanıldığı örneklerde ölçülmüştür. En yüksek su emme oranı K05\_100 numunesinde %19,7 olarak saptanmıştır. En düşük su emme oranı ise %1,8 olarak K20\_50 numunesinde elde edilmiştir. Genel olarak bakıldığında molaritenin artması su emme oranlarının azalmasında etkili olmuştur. Molaritenin 15 ve 20 olması halinde su emme oranı ciddi düşüşler göstermektedir. Kür sıcaklığı açısından bakıldığında en iyi değerler 50 °C de elde edilmiştir.



Şekil 2. Harçlara ait su emme oranlarının molariteye ve kür sıcaklığına göre değişimi

### 3.3. Birim Ağırlık Deneyi

Deneysel çalışmada üretilen harçların birim ağırlıkları Şekil 3'te verilmiştir. Tüm sıcaklıklarda geopolimer harçların birim ağırlıklarının çözeltideki KOH'ın artmasıyla daha büyük değerlere ulaştığı görülmüştür. Harçlarda en yüksek birim ağırlık değeri  $2,49 \text{ g/cm}^3$  ile K20\_100 kodlu harçlarda gözlenirken, en düşük birim ağırlık değeri  $2,15 \text{ g/cm}^3$  ile K05\_100 kodlu numunede elde edilmiştir. Genel olarak molarite arttıkça birim ağırlık değerleri de artış göstermiştir. Aynı molariteye sahip harçların kür sıcaklığı arttıkça birim ağırlıkları neredeyse değişim göstermemiştir. Boşluk oranı ve su emme değişimlerine paralel olarak KOH miktarının artması harçlardaki doluluk oranını da artırmış ve birim ağırlıklar değerlerinin artmasını sağlamıştır. Literatüre benzer şekilde su emme oranlarının birim ağırlık değerleriyle benzerlik gösterdiği görülmüştür (Djobo ve ark., 2016; Shoaei ve ark., 2019).

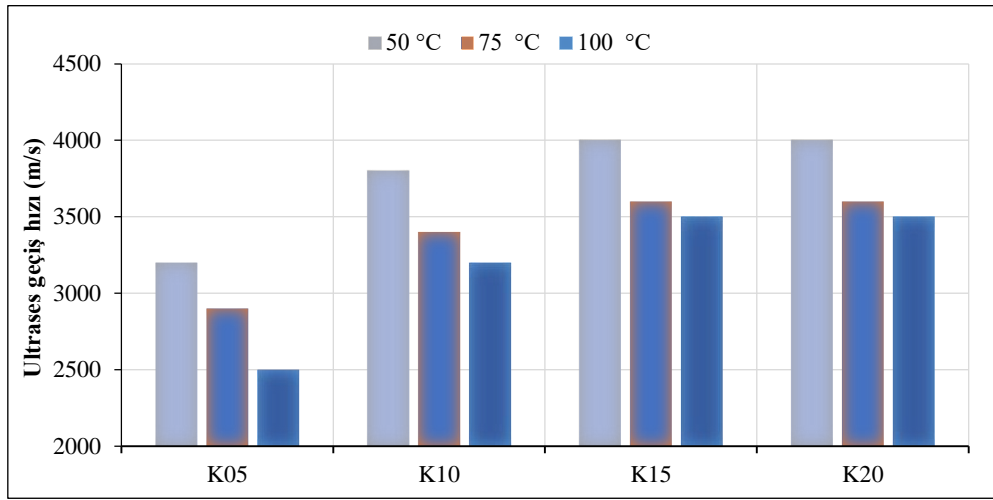


Şekil 3. Harçlara ait birim ağırlıkların molariteye ve kür sıcaklığına göre değişimi

### 3.4. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Harçlara ait ultrases geçiş hızı değerleri Şekil 4'te verilmiştir. Ultrases geçiş hızı değerleri malzemelerin boşluk yapısı ve dayanımları hakkında fikir veren sonuçlar üretir. Portland çimentosuyla

üretileen harçlarda olduğu gibi geopolimer harçlarda Genellikle dayanım artışına paralel olarak ultrases değeriinde artış beklenir. Yapılan bu çalışmada en yüksek ultrases hızı K15\_50 ve K20\_50 numunelerinde 4000 m/s olarak belirlenmiştir. Bu durum literatürde yapılan bazı çalışmalarla paralellik göstermektedir (Duan ve ark., 2016; Phummiphan ve ark., 2018; Amran ve ark., 2020). Bununla birlikte molarite arttıkça harçların ultrases geçiş hızlarında artışlar gözlenmiştir. Aynı sıcaklık değeriinde molarite arttıkça geçiş hızı artarken, aynı molariteye sahip harçlarda, kür sıcaklığı arttıkça geçiş hızlarında düşüş yaşanmıştır. Bu düşüş oranı 5 M harçlarda daha yüksek olmaktadır. 15 ve 20 M harçlarda sıcaklık arttıkça yaşanan düşüş paralellik göstermektedir.

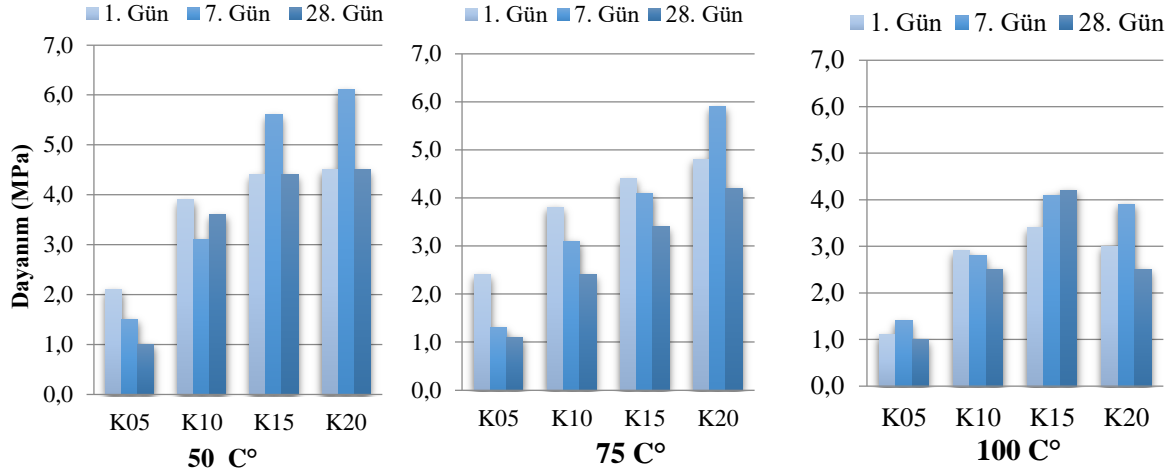


Şekil 4. Harçlara ait ultrases geçiş hızı değeri

### 3.5. Eğilme ve basınç dayanımı

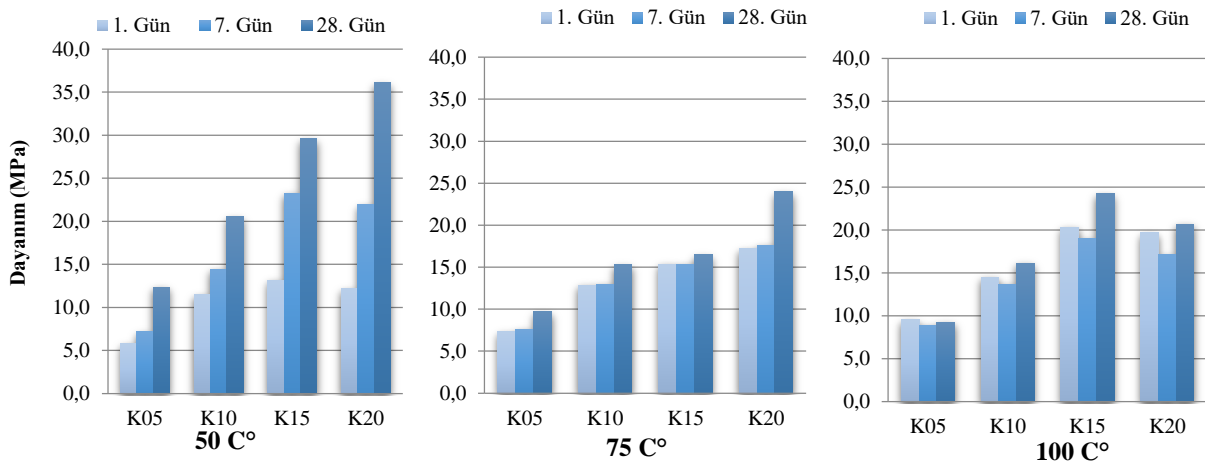
Sertleşmiş harçlar üzerinde yapılan eğilme dayanımına ait sonuçlar Şekil 5'te verilmiştir. Eğilme testleri sonucunda en yüksek dayanım değeriine 50 °C kür koşullarında ve 20 M KOH kullanılan numunelerin 7. gününde 6,1 MPa olarak belirlenmiştir. Genel olarak 5 M dışındaki harçlarda 2 MPa üzerinde eğilme dayanımı elde edilmiştir. 50 °C ve 75 °C kür koşullarında 15 ve 20 M KOH sahip harçların eğilme dayanımları 4- 6,1 MPa aralığında çıkmıştır.





Şekil 5. Sırasıyla 50, 75 ve 100 °C’de küre tabi tutulan numunelerin eğilme dayanımı değerleri

Geopolimer harç örnekleri üzerinde yapılan basınç dayanımı testlerine ait sonuçlar Şekil 6’da verilmiştir. Çözeltideki KOH oranının artmasının genel olarak daha yüksek basınç dayanımı elde edilmesinde olumlu katkı sağladığı görülmüştür. Burada KOH’ın YFC’nin aktivasyonunda önemli bir rol oynamıştır. En yüksek basınç dayanımı değeri 50 °C’de 20 M’de 28. gün 36,05 MPa olarak belirlenmiştir. Aktivatör olarak 10 M NaOH çözeltisi ve seramik atıklarının kullanıldığı çalışmada 80 °C kür sıcaklığı için 18,7 MPa basınç değeri elde edilmiştir (Atabey ve Öztürk, 2021). Genel olarak 50 °C ve 75 °C’deki numunelerin artan molariteyle birlikte basınç dayanımlarının da arttığı gözlenmektedir. 100 °C’de kür edilen numunelerin ise 7. günde çok az düşüş gösterdiği 28. gün tekrar arttığı belirlenmiştir.

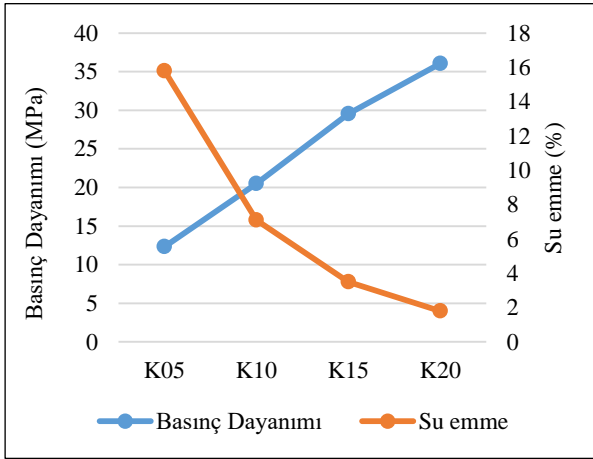


Şekil 6. Sırasıyla 50, 75 ve 100 °C’de küre tabi tutulan numunelerin basınç dayanımı değerleri

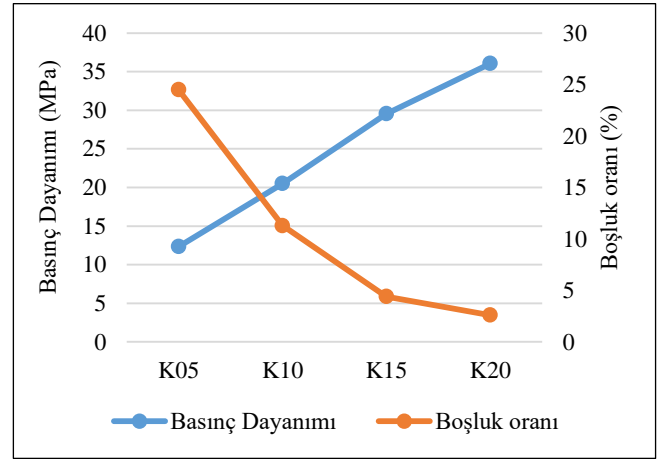
Eğilme ve basınç dayanımları için en iyi sonuçlar 50 °C’de 20 M’de elde edilmekte, basınç dayanımları için kür süresi arttıkça dayanımların geliştiği gözlenmektedir. Eğilme dayanımları için, aynı molaritede kür süresi arttıkça dayanım gelişimi olmazken, aynı günler için molarite arttıkça dayanım artmaktadır. Kür süresi arttıkça eğilme dayanımlarında daha gevrek bir yapı oluştuğu ve

dayanımın düştüğü düşünülmektedir. Basınç dayanımı açısından bakıldığında hem molarite hem de kür süresi arttıkça dayanım gelişimi görülmektedir. Yalnızca 100 °C’de kür edilen numunelerin 7. günde çok az düşüş gösterdiği 28. gün tekrar arttığı belirlenmiştir.

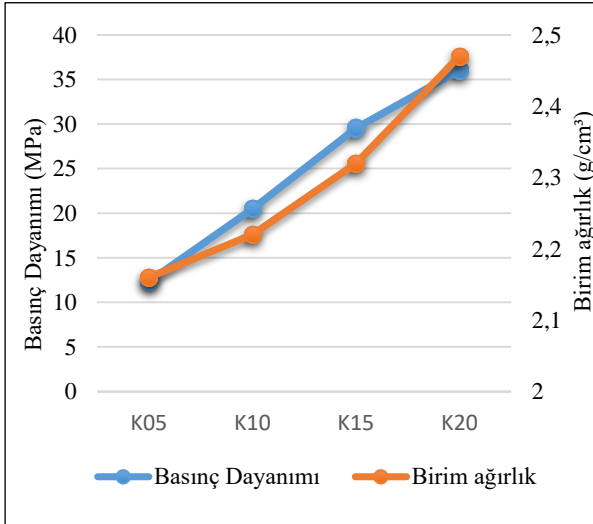
Harçlara ait basınç dayanımları ile fiziksel özellikler arasındaki ilişkinin daha iyi gözlenmesi için ayrıca grafikler eklenmiştir. Optimum sonuçların alındığı, 50 °C’de kür edilerek 28 gün laboratuvarında bekletilen numuneler için Basınç dayanımı-Su emme, Basınç dayanımı-Boşluk oranı, Basınç dayanımı-Birim ağırlık ve Ultrases geçiş hızı-Birim ağırlık-Basınç dayanımı grafikleri çizilerek Şekil 7-8-9-10’da verilmiştir.



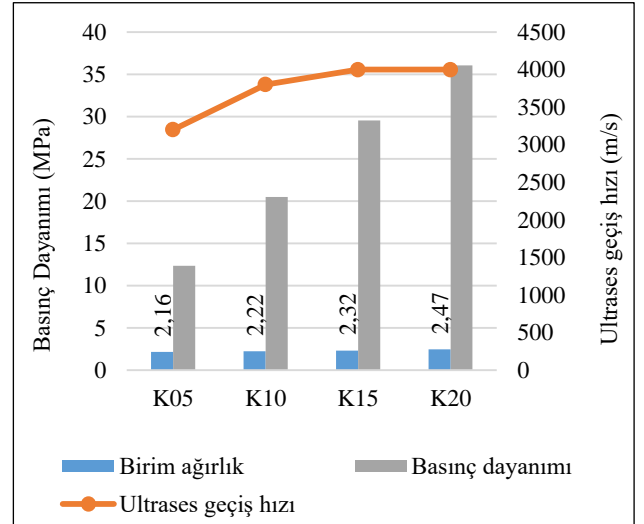
Şekil 7. Basınç dayanımı- Su emme oranı ilişkisi



Şekil 8. Basınç dayanımı- Boşluk oranı ilişkisi



Şekil 9. Basınç dayanımı- Birim ağırlık ilişkisi



Şekil 10. Birim ağırlık- Basınç dayanımı- Ultrases geçiş hızı ilişkisi

Grafiklerden de anlaşılacağı üzere, KOH miktarı arttıkça numunelerin su emme ve boşluk oranının azaldığı, birim ağırlıklarının ise arttığı görülmektedir. Yine KOH molaritesi arttıkça dayanımlarda iyileşme olduğu gözlenmektedir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada KOH ile aktive edilerek üretilen YFC bazlı geopolimer harçların fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

-Kür sıcaklığı ve KOH molaritesi, YFC esaslı geopolimerin mekanik ve fiziksel özelliklerini önemli ölçüde etkilemiştir. Optimum sıcaklık ve molarite, geopolimerizasyon reaksiyonunu ve dolayısıyla yapısal bütünlük ile mukavemet gelişimini arttırmıştır. Ancak geopolimer harçların kür sıcaklığı arttıkça, kılcal çatlakların artışına ve dolayısıyla mukavemet gelişiminin azalmasına neden olmuştur.

-Su emme, birim ağırlık, boşluk oranı ve ultrases geçiş hızlarına bakıldığında artan molaritenin sonuçları iyileştirdiği gözlenmiştir. En iyi sonuçların ise 50 °C'de elde edildiği anlaşılmaktadır. Düşük molariteye sahip çözelti ile yapılan YFC bazlı geopolimer harçlarda daha gözenekli bir yapı oluşmuş ve buna bağlı su emme oranlarında belirgin artışlar gözlemlenmiştir. Birim ağırlıklarda ise molaritenin artmasıyla artışlar olduğu gözlemlenmiştir.

-YFC bazlı geopolimer harçların eğilme mukavemeti ve basınç mukavemeti, KOH'ın molaritesinin artmasıyla artmıştır. Yapılan deneysel çalışmanın bulguları, yüksek ısıyla kürlemenin erken dayanımların artmasına ancak ilerleyen yaşlarda dayanımların düşmesine neden olduğunu göstermiştir. Yüksek molaritenin 50 °C ve 75 °C kür şartlarında geopolimerlerin mukavemetinin zamanla artmasına, ancak 100 °C sıcaklıkta üretilen harçlarda düzensiz bir dayanım artışı dağılımına sebep olmuştur. Özellikle 50 °C'de kür edilerek 7 ve 28 gün laboratuvar ortamında bekletilen 10, 15 ve 20 M KOH'e sahip harçların dayanım gelişimlerinin çok iyi olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışma, yüksek fırın cürufunun geri dönüştürülerek çimento yerine bağlayıcı matris olarak kullanılmasını amaçlamaktadır. Bu amaçla yapılan çalışmaların olumlu sonuçlar verdiği söylenebilir. Özellikle 50 °C ve 75 °C'de, 15 ve 20 M KOH içeren geopolimer harçların hem fiziksel hem de mekanik özellikler bakımından tatmin edici seviyelerde sonuçlar verdiği düşünülmektedir. Ayrıca çalışmanın daha sonraki araştırmalar için olumlu bir kaynak olacağı belirlenmiştir.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

#### Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan etmektedir.

#### Kaynakça

Atabey İİ., Öztürk ZB. Seramik sağlık gereci atıklarının geopolimer harç üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi 2021; 13(1): 212-219.

Amran M., Alyousef YH., Alabduljabbar RH., El-Zeadani M. Clean production and properties of geopolimer concrete; A review. Journal of Cleaner Production 2020; 251(119679).

- Andrew RM. Global CO<sub>2</sub> emissions from cement production. *Earth System Science Data* 2018; 10(1): 195-217.
- ASTM C597-09. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete 2016; USA.
- Crozier DA., Jay GS. Chemical and physical degradation of concrete at elevated temperatures. *Concrete in Australia* 1999; 18-20.
- Çelikten S., Atabey İİ. Su içeriği ve ısı kÜR süresinin atık bazalt tozu esaslı geopolimer harçların fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2021; 10(1): 328-332.
- Davidovits J. Geopolymers of the first generation: SILIFACE-Process. *Geopolymer* 1988; 1: 49-67.
- Davidovits J. Geopolymers inorganic polymeric new materials. *AKJournals* 1991; 37: 1633–1656.
- Davidovits J. Geopolymer chemistry and applications. 2015; 4th ed. Saint-Quentin: Institut Géopolymère.
- Djobo JNY., Elimbi A., Tchakouté HK., Kumar S. Mechanical properties and durability of volcanic ash based geopolymer mortars. *Construction and Building Materials* 2016; 124: 606-614.
- Duan P., Chunjie Y., Wenjun L. A novel waterproof, fast setting and high early strength repair material derived from metakaolin geopolymer. *Construction and Building Materials* 2016; 124: 69-73.
- Hardjito D., Wallah SE. On the development of fly ash-based geopolymer concrete. *ACI Materials Journal* 2004; 101(6): 467-472.
- Jihui Z., Liangyu T., Boen L., Tianhao C., Chunpeng W., Gangqiang Y., Ye Z. Eco-friendly geopolymer materials: A review of performance improvement, potential application and sustainability assessment. *Journal of Cleaner Production* 2021; 307(1-18).
- Kwasny J., Aiken T., Soutsos M., Mcintoch A. Sulfate and acid resistance of lithomarge-based geopolymer mortars. *Construction and Building Materials* 2018; 166: 537-553.
- Liew YM., Heah CY., Mohd Mustafa AB., Kamarudin H. Structure and properties of clay-based geopolymer cements: A review. *Progress in Materials Science* 2016; 83: 595–629.
- Luukkonen T., Sarkkinen M., Kemppainen K. Metakaolin geopolymer characterization and application for ammonium removal from model solutions and landfill leachate. *Applied Clay Science* 2016;119:266–276.
- Mahasanen N., Steve S., Kenneth H. The cement industry and global climate change: current and potential future cement industry CO<sub>2</sub> emissions. *Greenhouse gas control technologies-6th International Conference* 2003; Pergamon.
- Mccaffrey R. Climate change and the cement industry. *Global cement and lime magazine. Environmental Special Issue* 2002; 15: 19.
- Nath P., Prabir KS. Flexural strength and elastic modulus of ambient-cured blended low-calcium fly ash geopolymer concrete. *Construction and Building Materials* 2017; 130: 22-31.

- Nematollahi B., Jay S., Faiz UAS. Synthesis of heat and ambient cured one-part geopolymer mixes with different grades of sodium silicate. *Ceramics International* 2015; 41(4): 5696-5704.
- Nisbet MA., Van Gee MG., Gajda J., Marceau M. Environmental life cycle inventory of portland cement concrete. Portland Cement Association R&D 2000; Serial No 2137. USA.
- Palomo Á., Kavalerova E., Fernandez-Jimenez A., Krivenko P., Garcia-Lodeiro I., Maltseva O. A review on alkaline activation: new analytical perspectives. *Materiales de Construcción* 2014; 64: 315.
- Phummiphan I., Horpibulsuk S., Rachan R., Arulrajah A., Shen SL., Chindaprasirt P. High calcium fly ash geopolymer stabilized lateritic soil and granulated blast furnace slag blends as a pavement base material. *Journal of Hazardous Materials* 2018; 341: 257-267.
- Shoaei P., Musaei HR., Mirlohi F., Ameri F., Bahrami N. Waste ceramic powder-based geopolymer mortars: effect of curing temperature and alkaline solution-to-binder ratio. *Construction and Building Materials* 2019; 227(11): 66-86.
- Sukmak P., Horpibulsuk S., Shen SL. Strength development in clay-fly ash geopolymer. *Construction and Building Materials* 2013; 40:566-574.
- Taylor HFW. *Cement chemistry*. Vol. 2. 1997; London: Thomas Telford.
- Tekin İ. Properties of NaOH activated geopolymer with marble, travertine and volcanic tuff wastes. *Construction and Building Materials* 2016; 127: 607-617.
- TS EN 196-1. Çimento Deney Metotları-Bölüm 1: Dayanım Tayini. Türk Standartları Enstitüsü. 2016; Ankara.
- TS EN 197-1. Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü 2012; Ankara.
- TS EN 771-1. Kâgir birimler- Özellikler- Bölüm 1: Kil kâgir birimler. Türk Standartları Enstitüsü. 2015; Ankara.
- TS EN 1015-11. Kâgir harcı- Deney yöntemleri- Bölüm 11: Sertleşmiş harcın eğilmede çekme ve basınç dayanımının tayini. Türk Standartları Enstitüsü. 2020; Ankara.
- Yurt Ü., Dündar B., Çınar E. Jeopolimer betonlarda sülfürik asit etkisinin araştırılması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2020; 8(2): 1548-1561.
- Zakka WP., Abdul Shukor Lim NH., Chau Khun MA. Scientometric review of geopolymer concrete. *Journal of Cleaner Production* 2021; 280: 124353.
- Zhang YJ., Ya CW., Sheng L. Mechanical performance and hydration mechanism of geopolymer composite reinforced by resin. *Materials Science and Engineering: A* 2010; 527(24-25): 6574-6580.

## Değişen Sıcaklık Koşullarının $\text{LiNi}_2\text{Sn}$ Malzemesinin Elektronik Seviyeleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması: Bir Ab-Initio Çalışması

Osman Murat ÖZKENDİR<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Temel Bilimleri Bölümü, 33400, Tarsus, Mersin

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-0810-9938>

\*Sorumlu yazar: [ozkendir@tarsus.edu.tr](mailto:ozkendir@tarsus.edu.tr)

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 26.10.2022

Kabul tarihi: 14.02.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Termoelektrik malzeme

Geçiş metalleri

Soğurma spektroskopisi

Enerji

### ÖZ

Bu çalışmada, kararlı kristal yapıya sahip olduğu bildirilen ancak henüz üzerinde bir çalışma yapılmamış olan  $\text{LiNi}_2\text{Sn}$  malzemesinin elektronik ve kristal yapıları farklı sıcaklık koşullarında incelenmiş ve bulgular ışığında termoelektrik özelliğinin izleri araştırılmıştır. Termoelektrik malzemelerin araştırmalarını desteklemek amacıyla, termoelektrik özelliğinin elektronik ve kristal yapı üzerindeki izlerine soğurma spektroskopisi yöntemiyle yeni bir bakış açısıyla bir test çalışması yapılmış ve sonuçlar detaylı analizlerle sunulmuştur.  $\text{LiNi}_2\text{Sn}$  malzemesinin elektronik yapısal özellikleri üzerine X-ışını soğurma ince yapı (XAFS) spektroskopik hesaplamaları 300 K, 323 K, 373 K ve 423 K artan sıcaklık koşullarında XAFS kodlu FEFF 8.20 ile hesaplamaları kullanılarak teorik araştırmalar yapılmıştır. Çalışmanın sonuçları literatür verileri ile uyumludur.

## Investigation of the Effects of Varying Temperature Conditions on the Electronic Levels of $\text{LiNi}_2\text{Sn}$ Material: An Ab-Initio Study

### Research Article

#### Article History:

Received: 26.10.2022

Accepted: 14.02.2023

Published online: 04.12.2023

#### eywords:

Thermoelectric materials

Transition metals

Absorption spectroscopy

Energy

### ABSTRACT

In this study, the electronic and crystal structures of the  $\text{LiNi}_2\text{Sn}$  material reported to have a stable crystal structure but not yet thoroughly studied were examined at various temperatures, and traces of the thermoelectric property were looked for in light of the results. A test research was carried out with a fresh perspective on the thermoelectric property traces on the electrical and crystal structures in order to promote the studies of thermoelectric materials, and the results were provided with complete analysis. Theoretical investigations using X-ray absorption fine structure (XAFS) spectroscopic calculations were made into the electronic structural characteristics of the  $\text{LiNi}_2\text{Sn}$  material. Calculations were made with XAFS code FEFF 8.20 under increasing temperature conditions of 300 K, 323 K, 373 K, and 423 K. Findings from the study included the quantity and potency of the atoms' outer shell electrons, which are where the photoelectrons are directed. The results of the study are compatible with the literature data.

**To Cite:** Özkendir OM. Investigation of the Effects of Varying Temperature Conditions on the Electronic Levels of  $\text{LiNi}_2\text{Sn}$  Material: An Ab-Initio Study. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 1971-1980.

## 1. Introduction

One of the leading goals of today is to meet the energy needs more cheaply and easily with increasing technological investments, and to support the energy deficit with renewable resources supported by reuse with environmentally friendly investments as much as possible. In this sense, both the conversion of waste heat into benefit and the transformation of disadvantages caused by harsh

conditions into advantages have brought thermoelectric materials to the fore. Increasing the working performance of the thermoelectric materials used today and adding new thermoelectric materials that offer different advantages to the existing materials constitute the essence of the research. In this respect, 3d transition metal structures, which are cheap and easily accessible, are very popular study subjects.

The unoccupied d-shells of transition metals exhibit interesting electronic behaviors that make them an active role player in current technological applications, especially when interacting with different electronic outer shells of neighboring atoms (Eerenstein, 2006; Ozkendir, 2013; Ozkendir, 2020). This situation has placed transition metals at the center of many studies and has made them the most important material building blocks. Due to their abundance in the earth's crust, their cheap and easy supply has clinched their place in technological studies (Ozkendir, 2013; Ozkendir et al., 2018). Some important transition metal behaviors were summarized in the literature: They can be listed with properties as a result of their superior conductivity, magnetic arrangements, and bonding with oxygen (O). The interactions of light elements and empty s levels, which make electronic bonds with their levels difficult due to quantum selection rules, reveal interesting and sought-after electronic and magnetic properties that are frequently used in today's technologies.

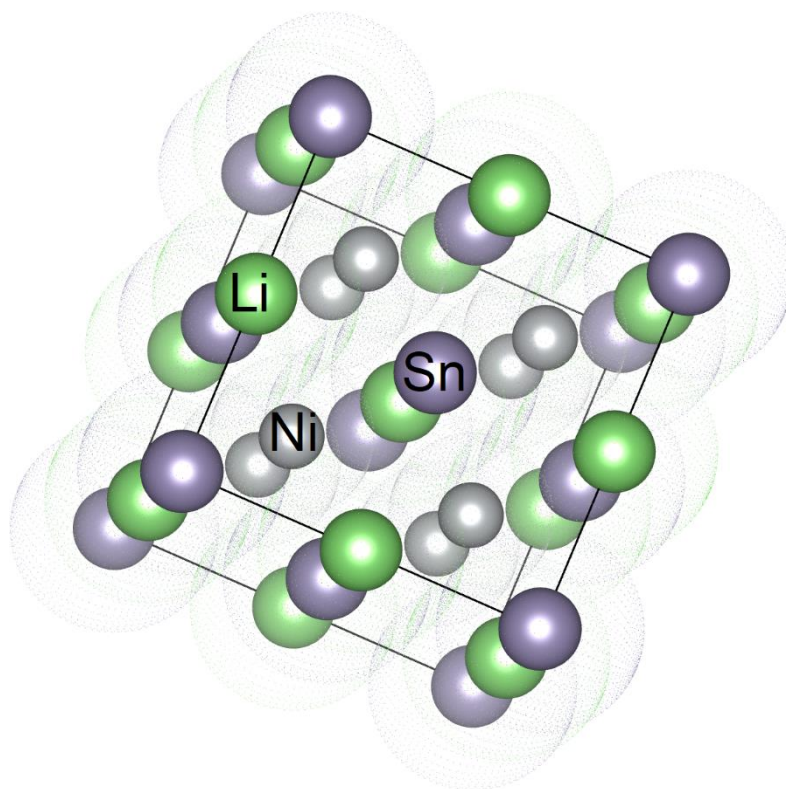
In this study, the effects of the variable temperature applied to the triple intermetallic  $\text{LiNi}_2\text{Sn}$  alloy in a Heusler type structure on the crystal and electronic structure were investigated, and its connection with the thermoelectric structure was investigated. The material subject to the study was first studied on the basis of the  $\text{LiCo}_2\text{Ge}$  crystal in the literature, and the interactions of Li atoms with 3d transition metals were questioned. Although the  $\text{LiCo}_2\text{Ge}$  structure contains Li and is formed in the full Heusler structure sought in many technological applications, the interest in these materials has taken place in various research subject. However, the  $\text{LiNi}_2\text{Sn}$  material has not received the same attention, and stable crystal structure of the  $\text{LiNi}_2\text{Sn}$  material allowed us to question its response to variable temperature in terms of electronic interactions and to test its thermoelectric properties theoretically through its electronic structure. Previous studies have revealed that the response of the electronic structure to the effect of temperature is proportional to its thermoelectric properties (Ozkendir, 2022). This situation changes in direct proportion to the electronic conductivity, as can be understood from the formula " $zT = \sigma Z^2 T / \kappa$ " which defines the thermoelectric efficiency and the conductivity is defined as " $\sigma = ne\mu$ ". For this purpose, XAFS calculations based on the synchrotron system at different temperatures (300 K, 323 K, 373 K, and 423 K) were made with the commercial code FEFF 8.2, which is one of the most reliable codes for this technique (Ankudinov, 1997; Ozkendir, 2015; Gunaydin, 2020). X-ray Absorption (XAS) spectra of 3d transition metals can provide detailed information about the electronic structure and crystal coordination of atoms. X-ray absorption fine structure (XAFS) spectroscopy is an extended version of the XAS technique and is one of the best techniques for studying the electronic structure of materials. The XAFS technique provides very important data for investigating the electronic structures of atoms, the properties of valence electrons,

bond structures, and atomic configurations within the crystal (Ankudinov, 1997). The XAFS spectrum is divided into two regimes containing electronic and crystal structure information for detailed analysis. These are the extended-XAFS (EXAFS) and x-ray absorption near-edge spectroscopy (XANES) regions. XANES spectroscopy is sensitive to the XAS mechanism's inner shell ionization process and provides detailed information about the electronic structure of atoms in the studied materials. The XANES region in the spectrum starts 20 eV below the main absorption edge and extends to 50~70 eV above it. The high-energy portion of the spectrum, called the Extended XAFS (EXAFS) region, consists of the tail portion, where spectral fluctuations occur as an indication of the continuous scattering of photoelectrons released from the excited atom with high kinetic energy. The EXAFS spectrum is beyond the XANES spectrum and its range can be extended to the energy range of 400~800 eV. The oscillation observed in this region is related to the arrangement of the atoms. The data in this region includes configurations of neighboring atoms, atomic distances, coordination numbers, etc. and contains information about crystal structure (Ozkendir, 2016).

## 2. Material and Methods

The electronic structure properties of LiNi<sub>2</sub>Sn material were investigated by using a real-space multi scattering approach the code FEFF8.20, which makes XAFS spectroscopy calculations (Ankudinov, 1997). The FEFF code reads an input file into which instruction cards are written for the computational steps, providing electronic energy details, crystal data, and ambient conditions. The input files used in the calculations were created using the TkATOMS package, which is part of the IFEFFIT Shell interface (Ravel, 2005). For LiNi<sub>2</sub>Sn calculations, Ni atoms were chosen as the source atoms and placed at the origin of the real space in the calculations. For the calculations, the lattice parameters for the LiNi<sub>2</sub>Sn material with the cubic “F m -3 m” space group given in Figure 1 and the input file for the 10 Å thick cluster (Li, Ni, and Sn) containing 331 atoms were prepared (Mewis, 1977; Momma et al, 2011). Lattice parameters in the input file are; a=b=c: 5.9630 Å,  $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ , and Ni (x, y, z): (0.25, 0.25, 0.25), Li (0.50, 0.50, 0.50), Sn (0.00, 0.00, 0.00), with calculations were made for the temperatures of 300 K, 323 K, 373 K, and 423 K.

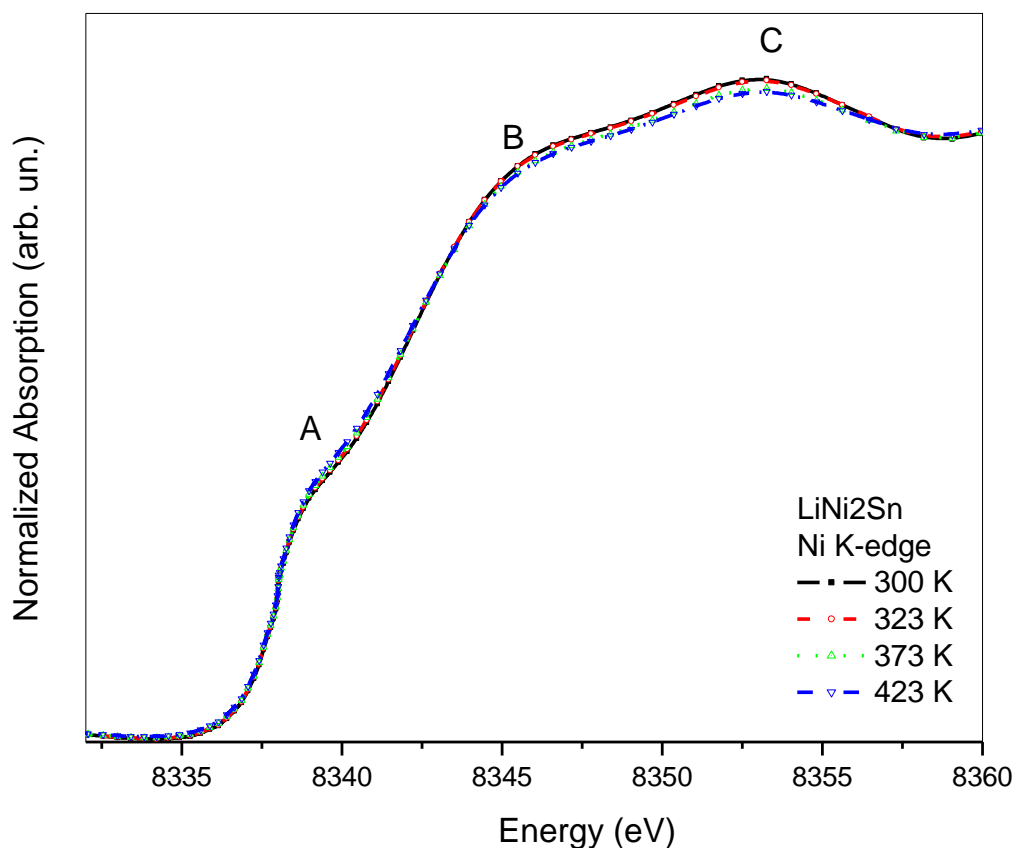




**Figure 1.** Crystal of LiNi<sub>2</sub>Sn material drawn in the cubic “F m -3 m” space group.

### 3. Results and Discussion

Observing the interactions between atoms and their results is the most important step in having detailed information about the structure of materials. Electrons in the outer shells of atoms can overlap to form molecular bands with hybrid levels when they get closer and have close energies to the empty levels of neighboring atoms. In order to understand the electronic properties of matter, XAFS calculations were made in our study, and information was collected through Ni metal in the LiNi<sub>2</sub>Sn structure. In the K-edge absorption spectrum of the Ni atom given in Figure 2, it has been observed that the absorption starts to increase from the value of 8335 eV. The K-edge absorption spectroscopy of atoms states that the 1s core electrons are excited by photon absorption and reach their final state by relocating to a suitable level above the valence level as a final state. For Ni atoms, the K-edge absorption corresponds to the transition between 1s→4p levels.

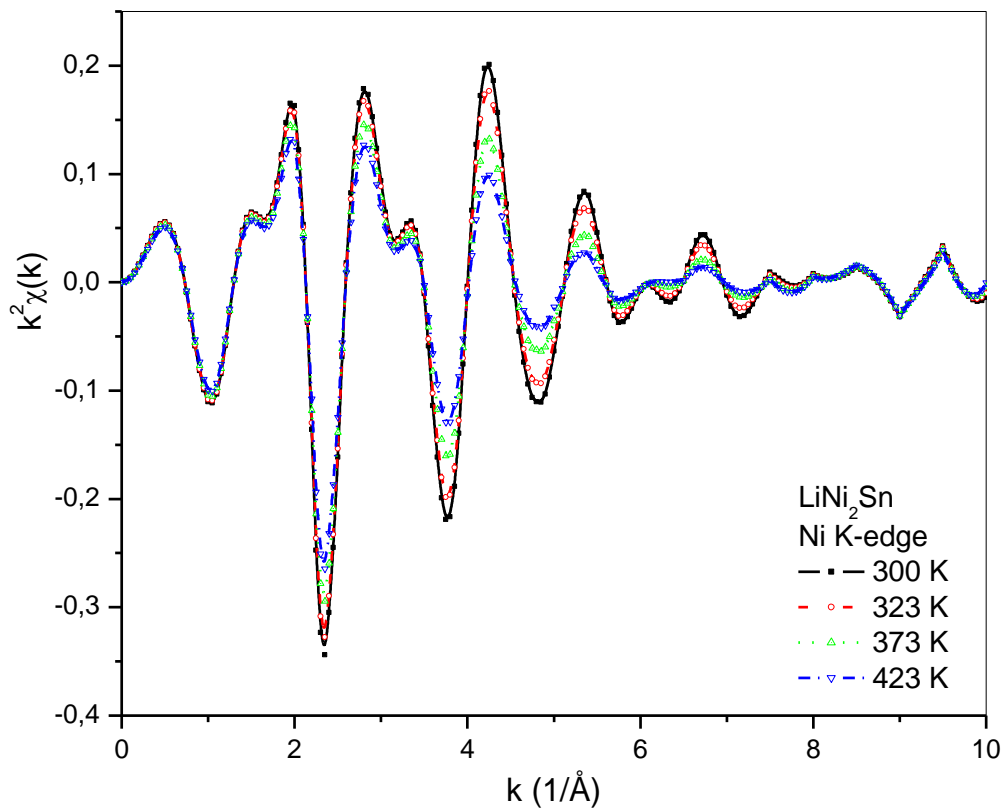


**Figure 2.** Comparison of XAFS spectrum calculations of nickel K-edge under different temperatures.

In Figure 2, a shoulder-like edge structure is clearly visible just above the first rise of the peak. This structure shows the transition of Ni atoms to 3d-5p hybrid levels formed by the coupling of the 3d levels of Ni atoms as a result of the hybridization with the 5p levels of the tin atoms, which are close neighbors, at an energy value of 8338.56 eV (Song, 2007). The 3d levels are just below the 4p level, which is suitable for the 1s electrons to make a transition according to the dipole selection rules, which is assigned as "A". The Ni main absorption edge, which manifests itself with two different peak values, as "B" gave 8345.3 eV, while the main absorption edge at the "C" point peaked at 8353.22 eV. In normal K-edge excitation, although the 1s electrons are not fully charged, they skip the 3d level and switch to the empty and suitable 4p levels, because their transition to the 3d level is forbidden according to the dipole selection rules. In fact, we should see a spectrum of the main absorption edge with no point "B", but only a level "C" (1s-->4p). The peak "B" is the result of the mixing of nickel 4s levels with low energy 4p levels just below the main absorption that is a result of the ligand field splitting. The 4s level has attracted the lower energy levels of 4p as a result of Coulomb interaction, and the energy difference between these levels reveals the transitions to 4p levels as a separate peak. In addition, Figure 2 gives comparative calculations of the Ni K-edge spectra at different temperature values. It is clearly seen that the compared absorption spectrum structures do not cause any shift or

shape change in the electronic structure with the effect of temperature. In this regard, it can be seen that the LiNi<sub>2</sub>Sn material's structure (both crystal and electronic) is unaffected by changes in temperature. However, it is clear that there are small decays in the absorption peak intensities. This suggests that under the influence of temperature, there are less electrons present at the electronic levels, or that weakly bound electrons are released.

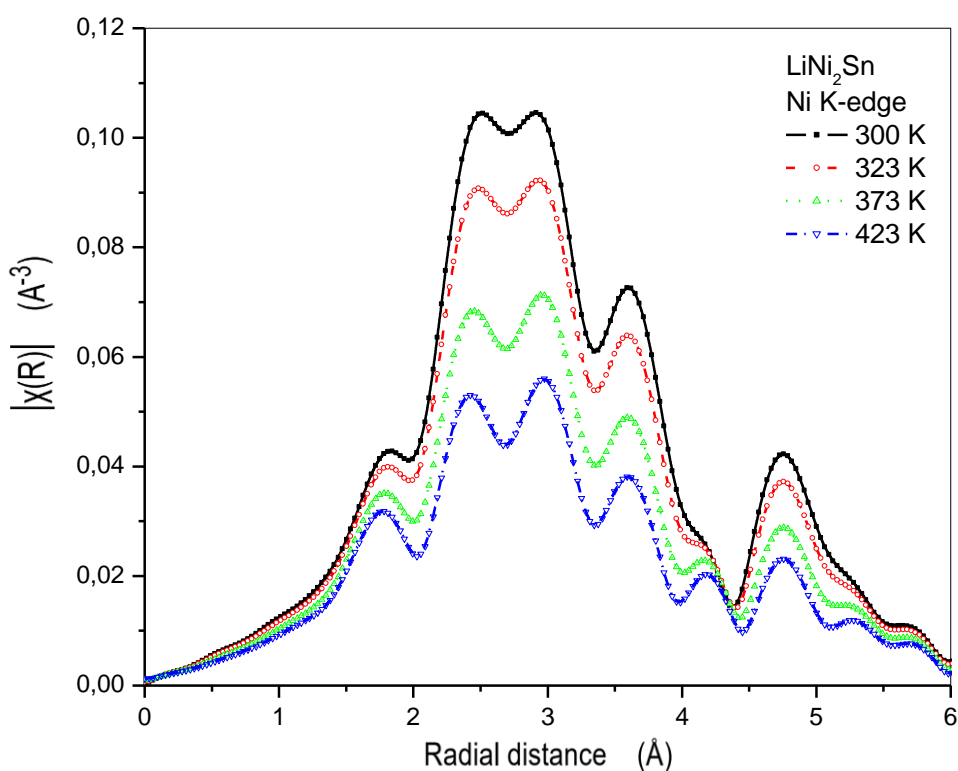
The best way to see the response of individual atoms to temperature rise is to walk around the crystal atoms and collect one-on-one data from the atoms. In this sense, the XAFS spectrum provides the researcher with unique data from inside the crystal about the scattering of photoelectrons moving between atoms with their high kinetic energies. In the tail region of the XAFS spectrum, where the data from electronic interactions ceases and fluctuations arise from photoelectron scattering, offers information. Temperature-dependent comparisons of scattering intensity data resulting from scattering from neighboring atoms of photoelectrons released by Ni atoms in LiNi<sub>2</sub>Sn material are shown in Figure 3. Absorption spectroscopy is an electron excitation process with a photon energy equal to or higher than the binding energy of the excited electron. An inner-shell excitation process occurs in the XAS data, which can reveal electronic and bonding information, when the photon energy is equal to the binding energy of the core electron. However, when an electron is excited by a photon with energy greater than its binding energy, the excited electron is released from the host atom using energy equal to the binding energy, and the extra energy is given as kinetic energy. The nearby atom repels the photoelectron through its outer shell electrons, preventing it from moving freely and resulting in scattering. Variations in the x-ray data take place when the photoelectrons' entering and outgoing wave functions during the scattering phase coincide. Waves are either constructive (positive peak) or destructive (negative peak) depending on how the wavefunctions interact. The equation  $\chi = [\mu(E) - \mu_0(E)] / \delta\mu_0$  is used to extract the data from the EXAFS area. The absorption coefficient is shown here as  $\mu$ .



**Figure 3.** Comparison of scattering data from photoelectrons emitted from Ni atoms in  $\text{LiNi}_2\text{Sn}$  material depending on temperature.

The absorption spectra in Figure 2 shows a temperature-dependent loss in intensity, which is more evident in the scattering data. The decline in intensity demonstrates that with each temperature value, less outer shell electrons exert a repulsive force on the moving photoelectrons. The symmetry of the scattering intensity peaks underlines the stable state of the crystal structure against increasing temperature. Furthermore, high decay in the higher  $k$  values ( $\lambda \sim 1/k$ ) shows that the light atoms (Li) are farther away from the source Ni atoms while the heavy atoms (Sn) are closer. The emitted photoelectrons move via the potentials between the atoms and can lose a significant amount of energy when they pass through a high heterogeneous potential (Anspok, 2011).

The Fourier transform, which converts data from the energy space to the real-space, is the most crucial step in the processing of photoelectron scattering data. The distances of the atoms to the absorbing atom located in the origin are thus determined in one-dimensional axis in real space from the scattering data. The scattering data in Figure 3 were transformed into real space to create the data in Figure 4.



**Figure 4.** In order to compare the scattering data from photoelectrons emitted from nickel atoms in  $\text{LiNi}_2\text{Sn}$  material, Fourier transforms of the data were performed in real space.

The aforementioned figure clearly demonstrates how temperature affects high degradation. Each peak represents an atomic position, and demonstrating the crystal structure temperature stability. Furthermore, it is undeniable that weakly bound, low energy electrons are released by atoms under the influence of temperature, and their outer shell impulse, or intensity, weakens. In the one-dimensional axis system, the nickel atom at position (0,0) has the following neighboring atom distribution. The peak of the four Sn atoms, which are at the same distance as the four Li atoms, 2.58 Å away, are included in the figure as the peak of the first two atomic shells closest to the source atom. The figure includes the peak of the closest first two atomic shells of the four Sn atoms, which are 2.58 Å distant from the the source nickel atom with four Li atoms at the same distance from each other. The fact that Sn atoms and lithium atoms are spaced equally is another significant factor. Although it could initially appear to be unclear, the explanation is really quite straightforward. The distance between the tin and lithium atoms in the lattice arrangement is the same, but their azimuth angles are different. Therefore, the signals overlapped, resulting in a broad gaussian plot. The same is true for other peak structures. The six nickel atoms at a distance of 2.99 Å are responsible for the second intense peak, which is situated directly behind the shell of the closest neighbor atoms. Ni atom shells are followed by another shell formed by nickel atoms, and eight nickel atoms are located at a distance of 4.22 Å.

#### 4. Conclusions

In this study, electronic and crystal structure investigations were used to examine the thermoelectric property of cubic  $\text{LiNi}_2\text{Sn}$  material that had been formed into a Heusler type structure at temperatures just above room temperature. According to studies, the outer shell electrons become free with a rise in temperature and give free electrons to the environment, but the  $\text{LiNi}_2\text{Sn}$  structure was unaffected by this process and had a stable structure. This makes it abundantly evident that  $\text{LiNi}_2\text{Sn}$  materials can be assessed in terms of their thermoelectric capabilities at temperatures slightly above room temperature. The results of the study, which were both precise and easy to grasp, have been demonstrated that it is possible to investigate thermoelectric properties using the XAFS approach as a significant method.

#### Conflict of Interest

There is no conflict of authors in this work.

#### 5. References

- Ankudinov AL., Ravel B., Rehr JJ., Conradson SD. Relativistic calculations of spin-dependent x-ray-absorption spectra. *Phys. Rev. B.* 1997; 56: R1712-R1715.
- Anspoks A., Kuzmin A. Interpretation of the Ni K-edge EXAFS in nanocrystalline nickel oxide using molecular dynamics simulations. *Journal of Non-Crystalline Solids* 2011; 357(14): 2604-2610.
- Eerenstein W., Mathur ND., Scott JF. Multiferroic and magnetoelectric materials. *Nature* 2006; 442: 759-165.
- Gunaydin S., Ozkendir OM. Synchrotron facilities for advanced scientific oriented research. *Advanced Journal of Science and Engineering* 2020; 1(1): 3-6.
- Mewis A., Schuster HU. Die struktur der phasen  $\text{LiCo}_2\text{Ge}$  und  $\text{LiNi}_2\text{Sn}$ , zeitschrift für naturforschung-teil b anorganische chemie. *Organische Chemie* 1977; 2: 1947-1952.
- Momma K., Izumi F. VESTA 3 for three-dimensional visualization of crystal, volumetric and morphology data. *J. Appl. Crystallography* 2011; 44: 1272-1276.
- Ozkendir OM. Structural and magnetic study of  $\text{Cu}_x\text{FeCr}_{1-x}\text{O}_2$  Oxides under high external magnetic fields. *Journal of Electronic Materials* 2013; 42(6): 1055-1062.
- Ozkendir OM. Electronic and crystal structure study of erbium doped  $\text{TiBO}_3$  semiconductors. *International Journal of Metallurgy and Metal Physics* 2015; 1(1): 1-6.
- Ozkendir OM. Crystal and electronic study of neodymium-substituted  $\text{CuFeO}_2$  oxide. *Metallurgical and Materials Transactions A* 2016; 47(6): 2906-2913.
- Ozkendir OM., Yuzer A. Influence of Sm-substitution on the crystal and electronic structure of the  $\text{FeBO}_3$  oxide. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials* 2018; 20(3-4): 201-207.
- Ozkendir OM. Boron activity in metal containing materials, advanced journal of chemistry. Section B: Natural Products and Medical Chemistry 2020; 2(2): 48-54.

- Ozkendir OM., Miyazaki H., Gunaydin S. Traces of thermoelectric properties on XAFS spectra. *J. Electron. Mater.* 2022; 51: 1740–1751.
- Ravel B., Newville M. Athena, Artemis, Hephaestus: data analysis for X-ray absorption spectroscopy using IFEFFIT. *Journal of Synchrotron Radiation* 2005; 12(4): 537-541.
- Song J., Wei Z., Pan Z., Xie Z., Wei S. Effect of phosphorus content on local structures of NiP amorphous alloys. *AIP Conf. Proc.* 2007; 882: 453–456.

## Farklı Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotipinin Mersin İli İklim Koşullarındaki Gelişim Durumunun Morfolojik Olarak İncelenmesi

İlknur AKÇA<sup>1</sup>, Dilek TEKDAL<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji Analim Dalı, 33343, Mersin

<sup>2</sup>Mersin Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoteknoloji Bölümü, 33343, Mersin

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-8101-7602>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-4545-9005>

\*Sorumlu yazar: dilektekdal@mersin.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 22.09.2022

Kabul tarihi: 13.01.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Genotip

Mersin

Morfolojik karakterizasyon

*Phaseolus vulgaris* L.

### ÖZ

Son yıllarda, iklim koşullarında yaşanan ani değişiklikler ile insan nüfusundaki artışın önlem alınmadığı takdirde yakın zamanda bitkisel kaynaklı gıdaya erişimde sıkıntı oluşturacağı düşünülmektedir. Dünya genelinde insan besininin büyük çoğunluğunun protein, karbonhidrat ve lif içeriği yüksek olan baklagillerden karşılandığı görülmektedir. Baklagiller içerisinde yer alan *Phaseolus vulgaris* L. hem kuru hem de yaş olarak tüketimi yapılan en önemli baklagillerden birisidir. Son yıllarda yaşanan ani sıcaklık değişiklikleri özellikle Mersin ilinde yaz dönemlerinde yaşanan sıcaklık seviyesindeki ciddi yükselmeler birçok bitki verimi üzerinde etkili olduğu gibi fasulye verimi üzerinde de etkili olmuştur. Bununla beraber, genotip etkisi de farklı gelişim özelliğinin görülmesi üzerinde etkilidir. Sunulan bu çalışma ile farklı fasulye genotiplerinin aynı koşullar altında yetiştirilmelerindeki morfolojik farklılıklar ve bu farklılıkların bakla durumu üzerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, 10 farklı fasulye genotipi Mersin ili iklim koşullarında eş zamanlı yetiştirilerek yaprak, çiçek ve bakla durumları araştırılmıştır. Sonuç olarak, aynı iklimsel koşullarda 10 fasulye genotipi başarı ile yetiştirilmiş, ürün alınmış ve çalışılan fasulye genotiplerinin farklı gelişim morfolojisine sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen bulguların, ilerde olası ciddi sıcaklık değişikliklerinin yaşanması durumunda bu genotiplerin gelişimlerinde morfolojik açıdan bir problem olup olmadığının araştırılmasında faydalı olacağı düşünülmektedir.

## Morphological Investigation of Developmental Status of 10 Different Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes in Climate Conditions of Mersin Province

### Research Article

#### Article History:

Received: 22.09.2022

Accepted: 13.01.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Genotype

Mersin

Morphological characterization

*Phaseolus vulgaris* L.

### ABSTRACT

It is thought that in recent years, sudden changes in climatic conditions and the increase in the human population will cause problems in accessing plant-based food in the near future unless precautions are taken. It is seen that the majority of human nutrition in the world is met from legumes with high protein, carbohydrate, and fiber content. *Phaseolus vulgaris* L., which is one of the legumes, is one of the most important legumes consumed both dry and fresh. Sudden temperature changes experienced in recent years, especially in Mersin province, the severe increases in the temperature level experienced during summer periods have been influential on many plant yields as well as on bean yield. However, the genotype effect is also effective on the appearance of different developmental traits. For this purpose, 10 different bean genotypes were grown simultaneously in Mersin climatic conditions, and their leaf, flower, and pod conditions were examined. In this study, the developmental morphologies of bean genotypes in our country were examined and presented comparatively. As a result, 10 bean genotypes were successfully grown and yielded under the same climatic conditions, and it was



observed that the studied bean genotypes had different growth morphology. It is thought that the obtained findings will help investigate whether there is a morphological problem in the development of these genotypes in case of severe possible temperature changes in the future.

---

**To Cite:** Akça İ., Tekdal D. Farklı Fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotipinin Mersin İli İklim Koşullarındaki Gelişim Durumunun Morfolojik Olarak İncelenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(3): 1981-1989.

## 1. Giriş

Baklagiller; protein, karbonhidrat, lif gibi temel gıdaların büyük bir parçasını oluştururlar. Ayrıca baklagiller, ekili topraklarda mevcut azotun büyük bir çoğunluğunu sağlayarak tarımda da önemli rol oynamaktadırlar (Garcia ve ark., 1997). Önemli baklagillerden biri olan *Phaseolus vulgaris* L., Phaseoleae ailesinin, Papilionoideae alt ailesinden bir üyedir. *P. vulgaris* günümüzde tüm kıta ve bölgelerde yaygın olarak yetiştirilse de başlangıçta yeni dünyanın bir ürünü olarak bilinmektedir (Graham ve Ranalli, 1997). Tarih öncesi Amerikalılar, *Phaseolus* cinsinin 45 türünden yalnızca *P. coccineus* L., *P. acutifolius* A. Gray, *P. lunatus* L., *P. polyanthus* Greenman ve *P. vulgaris* L. türlerini evcilleştirmeyi başaramışlardır. Günümüzde bu beş türün tümü Latin Amerika nüfusunun ve dünyanın diğer bölgelerinin beslenme ihtiyacının çoğunu karşılamaktadır; ancak, en yaygın olanının *P. vulgaris* olduğu bilinmektedir (Garcia ve ark., 1997).

Ekolojik koşullar bakımından seçiciliği en fazla tane baklagil türü olan fasulyenin kalitesi ve verimini o bölgedeki yağış, sıcaklık, gün uzunluğu, toprak tipi ve yükseklik vb. faktörler etkilemektedir. Örneğin, sağanak yağışların aralık ayına kadar devam ettiği bölgelerde, fasulyenin çiçeklenmesi ve kabuğun olgunlaşması, aynı yükseklik ve enlemdaki bölgelere göre daha geç olmaktadır. Fasulye verimini etkileyen bir diğer önemli faktör ise genetik yapıdır (Pekşen, 2005). Ayrıca, toprağa birden fazla mahsul ekimi de verimi etkilemektedir. Toprağa tek seferde birden fazla mahsul ekilmesi; mahsullerin zarar görme riskini en aza indirir, yabancı ot kontrolüne katkı sağlayabilir ve patojenlerin yayılmasını azaltabilir. Aynı zamanda, arazinin ve zamanın en verimli şekilde kullanılmasını sağlar (Graham ve Ranalli, 1997).

Yetiştirilen *P. vulgaris* formları otsu tek yıllık bitkilerdir. *P. vulgaris*'te çimlenme epigealdir. Bu durum, çift çenekli bitkilere özgüdür. Çimlenme esnasında, başlangıçta kazık kök oluşturan bitki, kısa süre içerisinde yayılmış kuvvetli yan kökler ve saçak kökler oluşturur ve ortalama 10-15 cm uzunluğunda bir kazık köke sahip olur. Çimlenme esnasında büyüme noktalarına besin sağlamaya devam eden kotiledonlar toprağın üzerine doğru yükselir. Böylece kotiledonları ve gövdeyi oluşturan yapı yukarı doğru itilerek havada tutulur. Daha sonra gövde büyümeye devam eder ve kotiledonlar açılır. İçi boşalan kotiledonlar kuruyup yere düşer (Graham ve Ranalli, 1997).

*P. vulgaris*'teki çiçekler on adet erkek organ ve bir adet yumurtalık içermektedir. *P. vulgaris* çoğunlukla kendi kendine döllenir. Bunun nedeni bazı bitkilerin kleistogamik çiçeğe sahip olmasındandır (Gentry, 1969). Bu özellik çiçeklerin açmasını önlemeye yöneliktir. Kleistogamik bitkiler sadece hiç açık olmayan veya kısmen açık çiçekler üretirler. Bazı bitkilerde doğal olarak gerçekleşen bu özellik fasulyede de bulunmaktadır. Bu özellik sayesinde açılmamış bir çiçeğin kendi

kendine döllmesi sağlanır (Özçağiran, 2002). Bitkinin kendi kendine döllmesi, farklı bitki tür ve çeşitlerine ait polenlerden kaçınmayı sağlar. Ancak bu kapalı çiçekleri açabilen güçlü arılar ara sıra çapraz tozlaşmaya ve dolayısı ile yeni genetik kombinasyonlara neden olmaktadır (Gentry, 1969). Bazı *Phaseolus* türleri ( $2n=22$ ) melezlenebilir, fakat melezleme sonrası embriyo kurtarma çalışmasının uygulanması gerekebilir (Graham ve Ranalli, 1997). *P. vulgaris* L. ve *P. coccineus* L. dışında türler arası melezlerin elde edilmesinin zor olduğu literatürden bilinmektedir (Gentry, 1969).

*P. vulgaris*'in büyüme alışkanlıkları incelendiğinde üç büyüme alışkanlığı gözlemlenmektedir: (1) dik büyüme alışkanlığı, genellikle rehber dalı olmadan, dik bir sap ve dallar ile büyüme, (2) zayıf, sürüngen yapı ve çok sayıda dalı olan çalı alışkanlığı, kısa ya da uzun bir rehber dala ve değişken tırmanma kabiliyetine sahip büyüme, (3) eğer tırmanma uygun bir rehber dalla destekleniyorsa, zayıf, uzun ve az dallanma ile bükülmüş bir gövde ile olan büyümedir (Graham ve Ranalli, 1997).

*P. vulgaris*'de tohum oluşum süresi bazı fasulye genotiplerinde 23 gün kadar kısarken, bazı fasulye genotiplerinde ise 50 güne kadar uzayabilmektedir. Büyüme mevsiminin oldukça kısa olduğu bölgelerde, tohumun kuru maddesinde daha fazla artışın olmadığı aşama olan fizyolojik olgunluk, bitkinin ekiminden sadece 60-65 gün sonra gerçekleşebilir ya da sırık fasulye çeşitlerinde ekimden 200 gün sonraya kadar uzayabilir (Graham ve Ranalli, 1997).

Sunulan bu çalışmada, Türkiye'de insan besininin büyük bir çoğunluğunu oluşturan *P. vulgaris*'in morfolojik özelliklerinin, bitkinin yapısının, biçiminin ve fiziksel özelliklerinin farklı fasulye genotipleri arasında karşılaştırılmalı olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle, 10 farklı fasulye genotipi Mersin ili iklim koşullarında eş zamanlı yetiştirilerek yaprak, çiçek ve bakla durumları incelenmiştir.

## **2. Materyal ve Metod**

### **2.1. Bitkisel Materyal**

Araştırma süresince 10 fasulye genotipi kullanılmış olup 5 fasulye genotipi yerel hatlardan (Bitlis-76, Bitlis-117, Hakkâri-12, Tunceli-1, Van-59) ve 5'i ticari genotiplerden (Akman, Göksun, Göynük, Karacaşehir ve Önceler) seçilmiştir. Çalışmada önerilen genotiplerin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

### **2.2. Tohum Canlılık Testi**

Tohumların öncelikle ISTA (1996)'nın önerdiği 2,3,5 trifeniltetrazolium klorit yöntemi ile canlılık tespiti yapılmıştır. Bu nedenle, fasulye genotiplerine ait tohumlar 24 saat süresince su içerisinde bekletilmiştir ve bu süre sonunda tohumların kabukları soyulmuştur. Ardından, 1 g L<sup>-1</sup> 2,3,5 trifeniltetrazolium klorit (TTC) solüsyonu içerisine tohumlar alınmıştır ve 24 saat sonra canlılık kontrolleri yapılmıştır.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan fasulye genotiplerine ait bilgiler

No	Genotip/Çeşit İsmi	Orijin ve Özellikleri
1	Akman	Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından 1998 yılında tescil ettirilmiş bir çeşittir.
2	Bitlis-76	Yerel popülasyondur.
3	Bitlis-117	Yerel popülasyondur.
4	Göksun	Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından 2012 yılında tescil ettirilmiş bir çeşittir.
5	Göynük	Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından 1998 yılında tescil ettirilmiş bir çeşittir.
6	Hakkari-12	Yerel popülasyondur.
7	Karacaşehir	Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından 1990 yılında tescil ettirilmiş bir çeşittir.
8	Önceler	Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından 1990 yılında tescil ettirilmiş bir çeşittir.
9	Tunceli-1	Yerel popülasyondur.
10	Van-59	Yerel popülasyondur.

### 2.3. 10 Farklı Fasulye Genotipinin Serada Yetiştirilmesi Uygulamaları

Mersin Üniversitesine ait sera ortamında, Mersin ilinin iklim koşullarında, 2021 yılında en iyi ekim zamanı olan Şubat-Mart ayında her genotip bitkiden 10 adet tohum kolay çimlenebilmesi için fide viyollerindeki %100 kokopit (coco peat) ortama ekilmiştir. Tohum ekimini takip eden 4. günden itibaren çimlenme başlamıştır. Şaşırtma öncesi bitkiler budanmış Torf: Kızıl Toprak: Perlit (3:2:1) içeren 95 litrelik saksılara 20 cm aralıklarla bitkilerin dikimi yapılmıştır. Bitkiler saksılara aktarılırken ilk stresi ortadan kaldırmak ve kök teşvikini arttırmak amacıyla can suyu ile humik fulvik asit uygulaması yapılmış ve gübre olarak basacote (kontrollü salınımlı N, P, K kompleks gübre, tamamen kaplanmış, fosfor ağırlıklı ve optimum iz element seti) kullanılmıştır. Saksılara alınan bitkilerin zararlılara karşı fungusit (Captan) ve insektisit uygulamaları yapılarak kültürel bakım işlemleri gerçekleştirilmiştir. Gelişen bitkilerin çiçek ve bakla durumu morfolojik açıdan incelenmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Fasulye genotiplerine ait tohumlar öncelikle boyut, şekil, renk ve desen açısından incelenmiştir. Çalışılan 10 fasulye genotipine ait tohumların boyutlarının, renk ve desenlerinin farklılık gösterdiği görülmüştür (Şekil 1). Fasulyelerden 1, 4, 5 ve 7 numaralı genotiplere ait tohumların renkleri beyaz iken, 3, 6, 8, 9 ve 10 numaralı genotiplerin tohumlarının ise benekli oldukları gözlenmiştir (Tablo 1). Bitlis-76 genotip tohumunun ise diğer genotiplerin aksine desensiz fakat siyah renk skalasına sahip

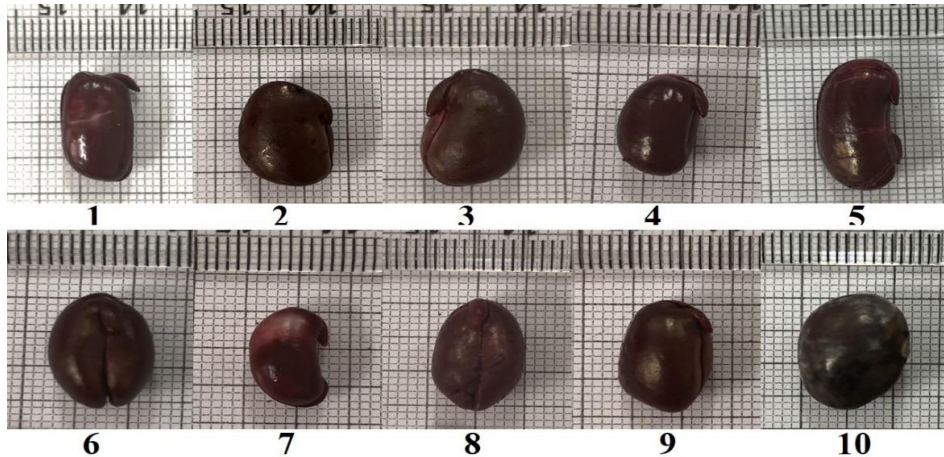
olduğu görülmüştür (Şekil 1). Boyut olarak en küçük yapılı tohumun Karacaşehir genotipine ait olduğu ve Akman genotipinin en uzun tohum yapısına sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışmada kullanılan 10 fasulye genotipine ait tohumların morfolojik karşılaştırmaları (genotiplerin numaralandırılmaları Tablo 1’de belirtildiği şekildedir).

Fasulye tohumlarının en dikkat çekici özellikleri şekil, renk, desen ve boyut çeşitliliğidir (Singh ve ark. 1991). *P. vulgaris* bitkisinde oluşan tohumların şekilleri tamamen tohumun uzunluğuna, yüksekliğine ve genişliğine bağlı olarak değişmektedir. Tohumların şekli yuvarlak, eliptik, oval, eşkenar dörtgen veya silindirik olabilir. Ayrıca tohumların şekli biraz düzleştirilmiş veya yuvarlatılmış uzun şekilli olabilir (Singh ve ark., 1991). Ayrıca tohum renklerinde; lekelenmelerin, şeritlerin ve beneklerin desenlerinde büyük farklılıklar bulunur. *P. vulgaris*’te tohum renklenmesindeki büyük çeşitlilik; fasulyenin bulunduğu yerel ortama veya o çevreye olan fizyolojik adaptasyonlar gibi birçok başka ayırt edici değişkenlere bağlıdır. Yabani fasulye formları doğada oldukça farklı gözüktükse de, yan yana serada yetiştirildiklerinde, sadece boyutları, bükülme şekilleri ve bazı niteliksel özellikler sayesinde ayırt edilebilirler (Gentry, 1969).

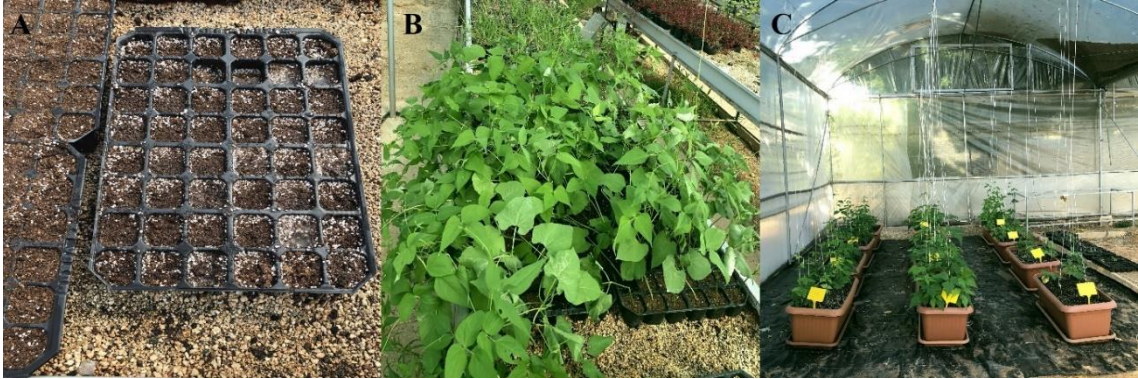
Tohumların ekimleri yapılmadan önceden TTC ile canlılık durumları analiz edilmiştir. Tohumların TTC sonrası kırmızı rengi verme durumları tohumların canlılığının göstergesi olarak kabul edilmiş olup tohumların kırmızı rengi verdiği gözlemlenmiş ve canlı oldukları sonucuna varılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Tohum canlılık tespiti için 2,3,5 trifeniltetrazolium klorit solüsyonu içerisinde bekletilen fasulye çeşitlerine ait tohumların görüntüleri (genotiplerin numaralandırılmaları Tablo 1’de belirtildiği şekildedir).

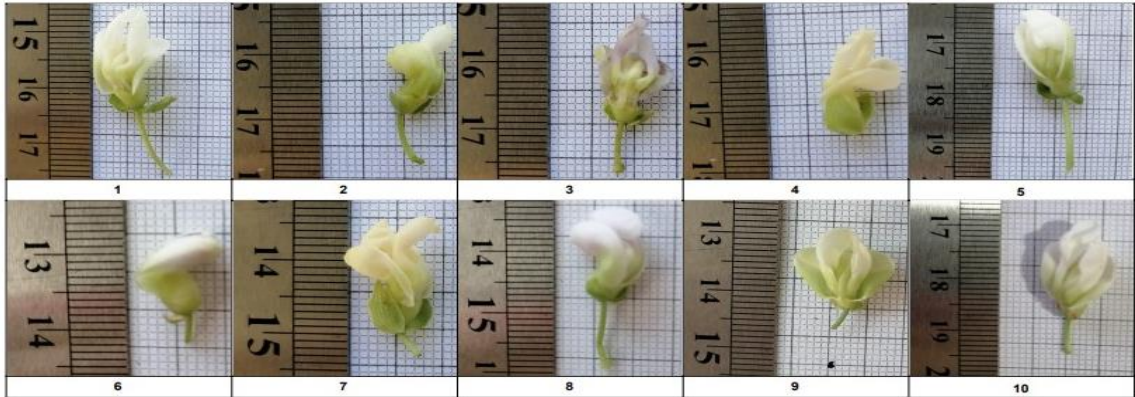
Öncelikle 10 farklı fasulye genotipine ait tohumlar viyoller içerisine alınmıştır. Ekimi takip eden 4. günden itibaren tohumların çimlenmeye başladıkları gözlenmiştir. Belli olgunluğa gelen bitkiler

viyollerden saksılara şaşırtılmış ve kontrollü gözlemler ve uygulamalar (sulama, gübre takviyesi, ilaçlama vb.) ile gelişimlerini sürdürmeleri sağlanmıştır (Şekil 3).



**Şekil 3.** Serada ekimi yapılan fasulye genotiplerinin farklı gelişme dönemlerine ait görüntüleri; (A) viyollere ekim yapılan tohumların ilk gün görüntüleri, (B) viyollere ekimi yapılan tohumların ekimin 2. haftasındaki görüntüleri, (C) viyollerde gelişen bitkilerin saksılara şaşırtılması ve sarılıcı olanları için iplerle kargılamının yapılması.

Çalışılan 10 fasulye genotipinin çiçeklerinin incelenmesinde; çiçek renklerinin ağırlıklı olarak beyaz renkte olduğu fakat Bitlis-117 ve Önceler genotiplerinin çiçek renklerinin morumsu-beyaz oldukları gözlenmiştir. İncelenen 10 fasulye genotipine ait çiçeklerde stigmanın spiral/gömülü ve fırçalı olduğu, sepal renginin yeşil ve sayısının 2 olduğu, petal sayısının ise 1 bayrak, 2 kanatçık ve 1 kayıkçık olmak üzere 4 sayılı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca 10 genotip arasından yalnızca Bitis-117 genotipinin çiçeğinde beneklilik durumuna rastlanmıştır (Şekil 4).



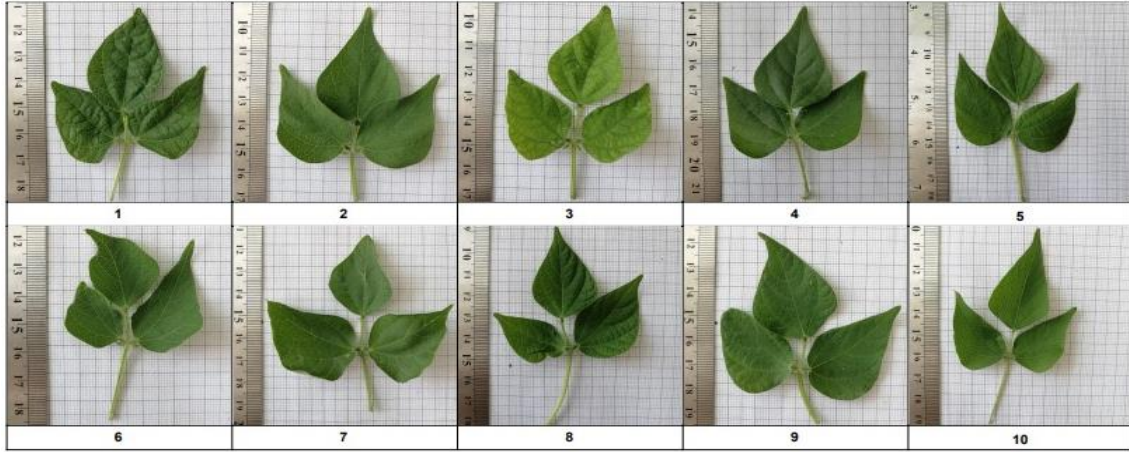
**Şekil 4.** Çalışmada kullanılan 10 fasulye genotipinin çiçek durumlarının karşılaştırılması (genotiplerin numaralandırılmaları Tablo 1'de belirtildiği şekildedir).

Fasulyelerin çiçeklenme zamanları sıcaklık ve fotoperiyoda göre değişiklik göstermektedir. Genellikle ekimden 28-42 gün sonra başlayan çiçeklenme yüksek rakımda yetişen çeşitlerde büyük ölçüde geç olabilir. Oluşan çiçekler, iki yapraklı bir omurga, iki yanıl yaprağı ve dışa doğru olan büyük bir taç yaprağı ile zigomorfiktir. Çiçeklerin zigomorfik olması bir simetri düzlemi olan, değişken eksenleri olabilen çiçekler oldukları anlamına gelmektedir. Çiçek rengi genetik olarak tohum renginden bağımsızdır, fakat bazı çiçek ve tohum renkleri arasında ilişki olabilir. Çiçekler genellikle mor, bazen



pembe ve nadiren beyazdır. Ayrıca, *P. coccineus* L. türü kırmızı renkli çiçeklere sahiptir (Graham ve Ranalli, 1997).

Çalışılan 10 fasulye genotipinin yaprak morfolojileri incelendiğinde, hepsinin trifoliat oldukları fakat yaprak aya genişliğinin yapılan ölçüm sonucuna göre, en az Hakkâri-12 genotipinde 26 mm olduğu ve en geniş yaprak ayasının ise Tunceli-1 genotipinde 31 mm olduğu gözlenmiştir (Şekil 5).



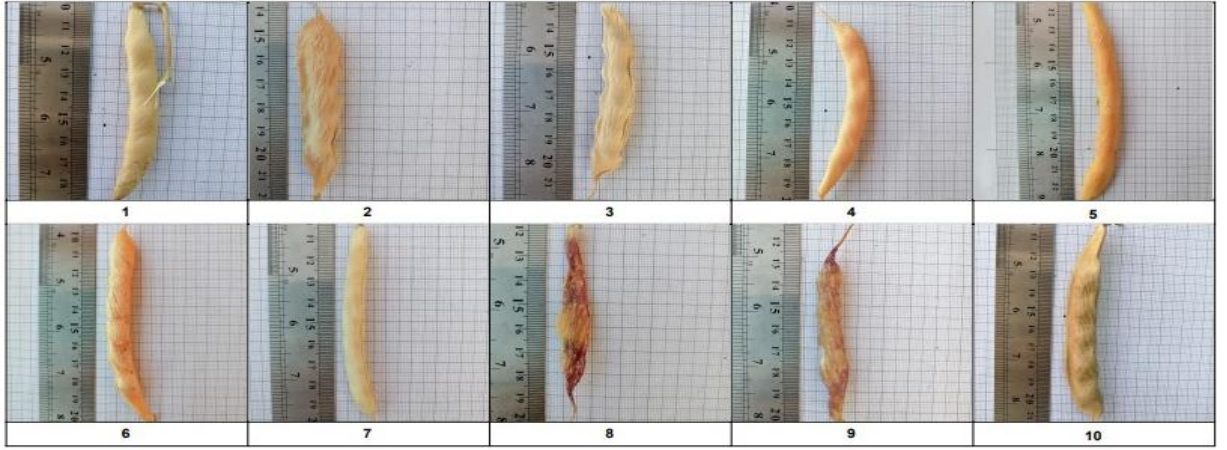
Şekil 5. Çalışmada kullanılan 10 fasulye genotipinin yaprak durumlarının karşılaştırılması (genotiplerin numaralandırılmaları Tablo 1’de belirtildiği şekildedir).

Fasulye yaprakların şekli ve boyutu incelendiğinde bölgeye ve genetik faktörlere bağlı olarak değişmekle birlikte, tam gelişmiş trifoliat yaprakların şekilleri kalp, baklava, oval yani yumurta şeklinde veya mızrak şeklinde olabilir. Bu farklılıklar yabani fasulye popülasyonlarında da ortaya çıkabilmektedir. Aynı şekilde merkezi yaprağın büyüklüğü ve şekli bakımından büyük farklılıklar olabilir. Ayrıca yapraklardaki düz tüyler, uzun ve yoğun veya kısa ve seyrek olabilir. Bu farklar tüm *Phaseolus* türlerinde bulunan kancalı tüylerle alakalı değildir (Singh ve ark., 1991).

Çalışmada kullanılan 10 genotipin baklaları taze (Şekil 6) ve kuru (Şekil 7) iken incelenmiş ve en iri bakla yapısına Van-59 genotipinin (eni 18 mm) sahip olduğu, en dar yapılı bakla yapısının ise Hakkâri-12 ve Karacaşehir genotiplerinde (enleri 11 mm) olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, yapılan ölçüm sonuçlarında, en uzun bakla yapısının Akman genotipine (boyu 99,5 mm) ait olduğu, en kısa bakla yapısının ise Bitlis-76 ve Hakkâri-12 genotiplerinde (boyları 78 mm) olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 6.** 10 genotipe ait taze bakla yapılarının karşılaştırılması (genotiplerin numaralandırılmaları Tablo 1’de belirtildiği şekildedir).



**Şekil 7.** 10 genotipe ait kuru bakla yapılarının karşılaştırılması (genotiplerin numaralandırılmaları Tablo 1’de belirtildiği şekildedir).

Çok yıllık fasulyeler gibi birkaç dal veya sürüngen dal içeren, diğerlerine göre daha yaşlı bitkiler, 240’a yakın bakla taşıyabilmektedir. Fasulye baklalarının boyutları ve renkleri de farklılık göstermektedir; ancak neredeyse tümü, belirli bir kuruluk seviyesine geldiklerinde tohumlarını kuvvetli bir şekilde fırlatıp bükülmektedirler (Gentry, 1969).

#### 4. Sonuç

Sonuç olarak, çalışmada, Mersin ili iklim koşullarında 10 fasulye genotipi de başarı ile yetiştirilebilmiştir. Her genotipten bakla ve akabinde tohum elde edilebilmiştir. Yetiştirilen genotiplerin büyüme şekillerinin farklılık gösterdiği (bodur tip veya sarılıcı), çiçek ve bakla yapılarının farklı olduğu belirlenmiştir. Bununla beraber, genotipler arasında belirlenen farklılıkların ürün verimi üzerine negatif etkili olmadıkları gözlenmiştir.

## **Teşekkür**

Sunulan çalışmada kullanılan 10 fasulye genotiplerine ait tohum materyalleri Doç. Dr. Faheem Shahzad Baloch'dan temin edilmiş olup kendisine teşekkürlerimizi sunarız. Sunulan bu çalışma TÜBİTAK-TOVAG tarafından desteklenen 119O003 no'lu proje kapsamında yapılan araştırmaların paralelinde yürütülen çalışma sonuçlarından hazırlanmıştır. Söz konusu projenin Ülkemiz için önemli olacağına inanarak desteklenmesine değer gören TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

## **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**

- Garcia EH., Pena-Valdivia CB., Aguirre JRR., Maruaga JSH. Morphological and agronomic traits of a wild population and an improved cultivar of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Annals of Botany* 1997; 79: 207–213.
- Gentry HS. Origin of the common bean, *Phaseolus vulgaris*. *Economic Botany* 1969; 23: 55-69.
- Graham PH., Ranalli P. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Field Crops Research* 1997; 53: 131-146.
- ISTA- International Seed Testing Association (Uluslararası Tohum Test Örgütü). *International Rules for Seed Testing*. *Seed Science and Technology* 1996; 24, 335.
- Özçağırın R. Çiçekli bitkilerde tozlanma ve çiçektozu taşıyıcıları. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2002; 39: 151–158.
- Pekşen E. Samsun koşullarında bazı fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) genotiplerinin tane verimi ve verimle ilgili özellikler bakımından karşılaştırılması. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2005; 20: 88–95.
- Singh SP., Gepts P., Debouck GD. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). *Economic Botany* 1991; 43: 379–396.



## A Review of Fundamental Approaches for Fatigue Analysis of Welded Steel Joints

Tugrul TALASLIOGLU<sup>1</sup>, Gokhan YUCEL<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup> Osmaniye Korkut Ata University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 80010, Osmaniye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-8075-4130>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-2675-4607>

\*Corresponding author: gokhan.yucel@osmaniye.edu.tr

### Research Article

#### Article History:

Received: 04.03.2022

Accepted: 25.11.2022

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Fatigue

Weld

Steel

### ABSTRACT

Fatigue damage occurs in welded steel joints under cyclic loads. These joints are particularly vulnerable to fatigue due to high stress concentrations. Today, with the developing numerical analysis software, fatigue life calculations are carried out with different methods based on the fatigue life and the stresses that will occur in the elements. These methods, which may differ from each other, examine the stress distributions occurring under different loading conditions and the initiation, development and collapse of the damage occurring in the element. Fatigue analysis methods are divided into two groups as local and global approaches. In global methods, the critical stress that will occur on the entire structure is considered, while local geometry and local parameters are examined in local methods. This study presents fatigue analysis methods of welded steel joints.

## Kaynaklı Çelik Birleşimlerin Yorulma Analizinde Kullanılan Temel Yaklaşımların Gözden Geçirilmesi

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 04.03.2022

Kabul tarihi: 25.11.2022

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Yorulma

Kaynak

Çelik

### ÖZ

Çevrimsel yükler altında kaynaklı çelik birleşimlerde yorulma hasarı meydana gelmektedir. Bu birleşimler, yüksek stres konsantrasyonları nedeniyle özellikle yorulmaya karşı hassastır. Günümüzde gelişen sayısal analiz yazılımları ile yorulma ömrü hesapları, yorulma ömrü ve elemanlarda oluşacak gerilmelere bağlı olarak farklı yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Birbirinden farklılık gösterebilen bu yöntemler, farklı yükleme koşulları altında meydana gelen gerilme dağılımlarını ve elemanda meydana gelen hasarın başlamasını, gelişmesini ve göçmesini inceler. Yorulma analizi yöntemleri lokal ve global yaklaşımlar olarak iki gruba ayrılır. Global yöntemlerde tüm yapı üzerinde oluşacak kritik gerilmeler dikkate alınırken, yerel yöntemlerde yerel geometri ve yerel parametreler incelenmektedir. Bu çalışma kaynaklı çelik birleşimlerin yorulma analizi yöntemlerini sunmaktadır.

**To Cite:** Talaslioglu T., Yucel G. A Review of Fundamental Approaches for Fatigue Analysis of Welded Steel Joints. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 1990-1997.

## 1. Introduction

The fatigue phenomenon was firstly concerned by a German Engineer August Wöhler in the 18th century in a way of examining the failure reasons of steel profiles utilized in the railroad network (Schijve, 2009). Although there does not exist a certain study to lay down the theoretical basis of fatigue damage in the 19th century, the first attempt in associating fatigue formation with the crack

issue became in the 20th century (Mann, 1970). The steel structures such as railroads, crane bridges, offshore tribunes, and steel frame structures are subjected to cyclic stresses during their service lifetime (Fricke, 2003). Cracks and damages caused by these stresses over time are called “fatigue”. The fatigue problem plays an important role in the design as it usually causes sudden damage and collapses without warning (Macdonald, 2011). Thus, the fatigue phenomenon is considered dependent on two fundamental concepts “stress” and “fracture” (Caputo and Fabrizio, 2015). In the fatigue analysis of steel structures, the fatigue life of each structural element constituting the structure should be determined. In this regard, the welding issue, which is utilized widely in the connection of separate structural and/or mechanical components, has a big importance in the evaluation of fatigue-related damage (Radaj et al., 2006; Yucel and Talaslioglu, 2022). In fact, the main reason behind its importance arises from the higher stress concentrations in the welding regions (Mashiri et al., 2004). Particularly, the seam-welded joints, which are obtained in a way of melting any external material throughout a continuous weld line, are mostly utilized in the welded structures rather than the spot-welded joints. Thus, there are two commonly used approaches namely the stress and stress changes number (S-N)-based approach and fracture mechanics-based approach (Doshi and Vhanmane, 2013). The first approach calculates the fatigue strength of steel structural elements over S-N curves obtained experimentally. The second approach considers the crack propagation in the element that is subjected to fatigue loadings by fracture mechanics.

Yıldırım (2015) proposed design curves in the fatigue analysis of welds improved with tungsten inert gas dressing. Fischer et al. (2016) published a review article on the fatigue analysis of welded joints based on two different approaches. The first approach is notch stress intensity factor and the second approach is the strain energy density approach. In the study, the verifications performed with these analysis methods are presented. Pedersen (2016) carried out the fatigue analyzes using the notch stress approach. It was determined that the reference S-N curves were in good agreement with the experimental results. Wei et al. (2018) conducted a review of the fatigue calculations of tubular steel elements. The finite element model applications are also included in the study in which different fatigue analyzes are explained. A review on the fatigue life prediction models of welded joints was given in the study of Kang and Luo (2020). Meneghetti and Campagnolo (2020) reviewed fatigue assessment of welded joints by using the peak stress method. With this method, which requires analysis with finite element models, 2 and 3 dimensional linear elastic models can be solved, and the crack initiation point can be determined. Braun and Wang (2021) reviewed the effects of weld toe grinding and weld profiling on the fatigue life of welded steel elements. As a result of the study, a new S-N curve was proposed. Skriko et al. (2021) in a way of being experimentally investigated the fatigue behavior of welded joints. In the study, the ultra-high-strength steel beam structures loaded longitudinally were discussed. The fatigue analyzes of these elements were carried out with stress-based methods given in various design codes and guidelines.

This paper presents a review of the fatigue assessment methods for the welded steel joints, which are utilized in the connection of steel structural components, due to the limited work in the welding-related fatigue analysis for the steel structural systems. While S-N-based analyzes were examined in the first four sub-titles, the fracture mechanics approach was examined in the last sub-title.

## 2. Nominal Stress Approach

The most widely used approach among fatigue analyzes is the nominal stress approach. In this approach, the stress is calculated on the considered section by ignoring the local stress concentrations in the weld area. However, macro-geometric effects are considered, and elastic behavior is assumed. In many codes, the analysis is completed using the detailed classification of basic joints along with S-N curves. Since this detail classification depends on the element geometry, loading conditions and crack location, the element to be analyzed must be compatible with the detail given in the relevant code. In the analysis with the finite element method, the stresses measured at 1-1.5 plate thickness from the stress concentration region (e.g., weld toe) are considered as nominal stress.

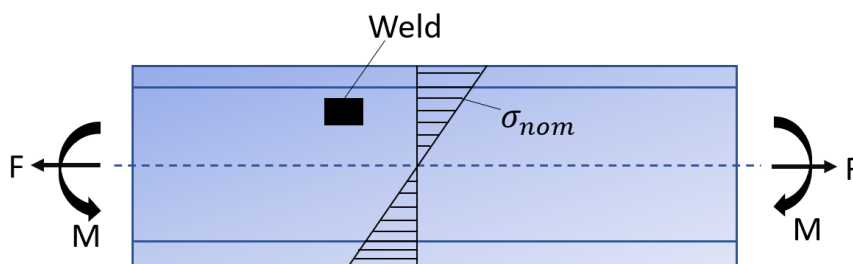


Figure 1. Nominal stress in a beam.

The nominal stress that will occur in a beam element is exemplified in Figure 1. The nominal stress is calculated with the elementary structural mechanics' theories on the numerical model with linear elastic behavior defined. Nowadays, these numerical models are usually constructed with finite element software (Bashiri and Alshoaibi, 2020). Each stress variation scenario is determined by the defined loadings, and the stress distribution on the model is obtained by static analysis. The fatigue life of the structure is determined by evaluating these obtained stress values in the S-N curves given before. As mentioned in the introduction, the method of S-N based analyzes is based on fatigue life evaluation with these curves.

## 3. Hot Spot Stress Approach

In the hot-spot stress approach, stress concentration effects in a particular hot spot are considered. However, non-linear stresses occurring in the weld itself are ignored. This stress calculation is performed on the surface of the element and using designated reference points (Figure 2). Therefore, in this method, the thickness of the base plate element affects the results of the stress analysis. In this method, which is generally used when the geometry is not suitable for the nominal stress calculation,

stress calculations are done with finite element models. There are several codes regarding loading assumptions, stress calculation and extrapolation, and hot-spot stress concentration factor formulations (Van Wingerde et al., 1995). Uncertainties in extrapolation and limitation of damage to surface crack are the main weaknesses of this method. In addition, the designer must accept that fatigue damage will not occur at the root of the weld element or at defects within it (Hobbacher, 2016)

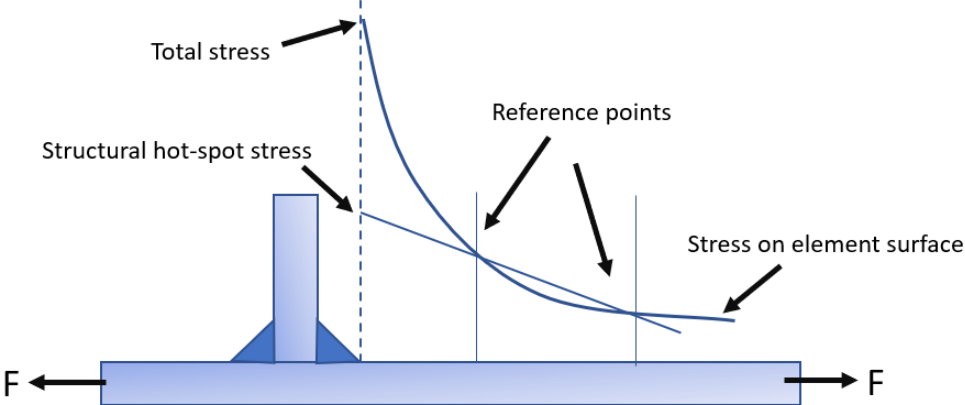


Figure 2. Definition of structural hot-spot stress (Hobbacher, 2016).

**4. Equivalent Structural Stress Method**

The irregularities in the geometry along the weld line and the variation in the thickness of parent plates cause to be concentrated on the stresses in the certain location of the welded structural system. The use of the finite element method for the simulation of welded structural systems, unfortunately, fails to obtain a consistent stress distribution due to being completely dependent on the meshing attribution. Nevertheless, in order to predict more accurately the fatigue lifetime for the welded structural system, the best reasonable approach is to be regularize accordingly the stresses of finite element considering the notch and thickness effects. In this regard, the equivalent structural stress analysis approach which is based on summing the membrane and bending stresses taking into account parent plate thickness has been widely used for the evaluation of multi-principal axial stresses (Dong, 2001; Dong and Hong, 2003). In this method which is mesh-insensitive, stresses are calculated at the weld toe, not at a distance from the weld, and a single S-N curve is sufficient without the need to classify the weld joint.

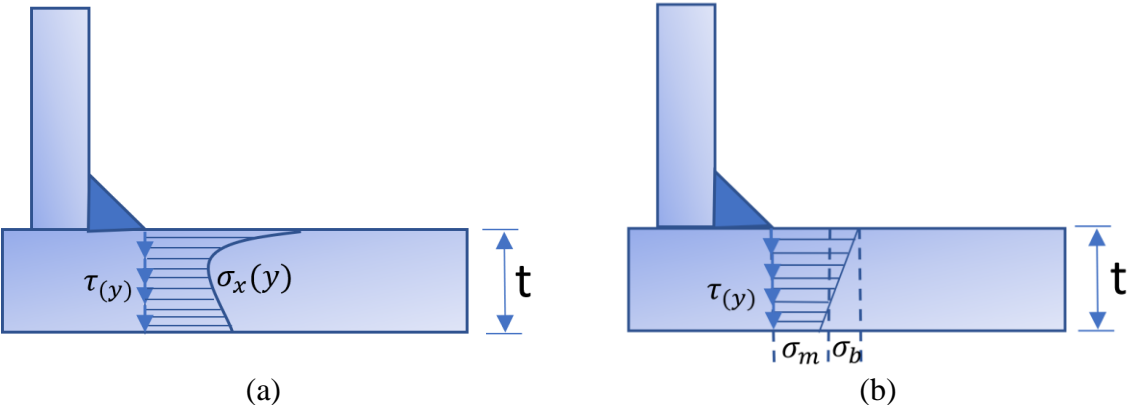


Figure 3. (a) Local stress distribution and (b) corresponding structural stress distribution (Dong, 2001).

In this study, the structural stress calculation is illustrated by the model given in Figure 3. Figure 3a shows a stress distribution at which the stress peak occurs. Figure 3b shows the corresponding structural stress distribution. Total stress consists of membrane ( $\sigma_m$ ) and bending stress ( $\sigma_b$ ). In Figure 4, for the model with plate thickness  $t$ , an example of calculating the structural stresses in the A-A section is done. Structural stress components  $\sigma_m$  and  $\sigma_b$  should meet the equations (1) and (2) by applying the equations of equilibrium between section A-A and section B-B where the stresses are calculated by the finite element models (Dong, 2001).

$$\sigma_m = \frac{1}{t} \int_0^t \sigma_x(y) dy \tag{1}$$

$$\sigma_m \frac{t^2}{2} + \sigma_b \frac{t^2}{6} = \frac{1}{t} \int_0^t \sigma_x(y) y dy + \delta \int_0^t \tau(y) dy \tag{2}$$

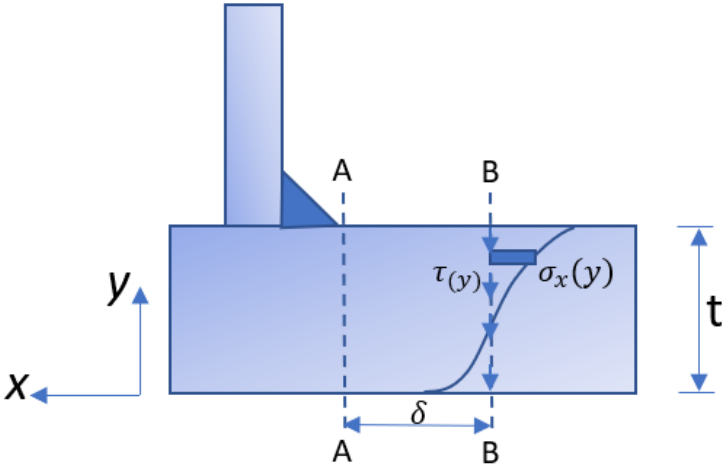
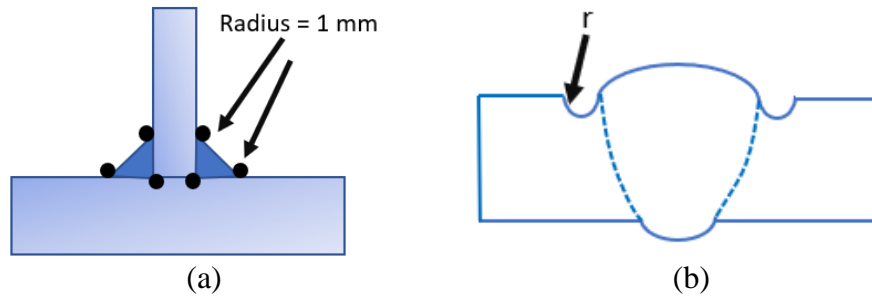


Figure 4. Structural stress calculation example (Dong, 2001).

**5. Effective Notch Stress Approach**

In this approach, which assumes linear elastic behavior, the notch stress is equal to the total stress at one notch root. The repetitive local yielding approach is used to represent crack initiation (Radaj et al., 2006). The true weld root is replaced with an effective version to consider the variations due to the shape of the weld and the nonlinear material behavior at the notch root. For structural steel, the effective notch radius is assumed to be 1 mm. Effective notch stresses can be determined by the finite element method and evaluated by using a single S-N curve. Weld toe angle, leg length and undercut effects can be evaluated in this method (Hobbacher, 2016). Rounding of weld toe and root and recommended rounding of a butt weld are given in the Figure 5.



**Figure 5.** (a) Rounding of weld toe and root and (b) Rounding of a butt weld (Hobbacher, 2016).

## 6. Fracture Mechanics Approach

The fracture mechanics approach is the method used to monitor crack development due to fatigue loads. This crack development cannot be defined in approaches using S-N curves. Stress field is considered, not stress concentrations and stress inside the crack is described by stress intensity factor:

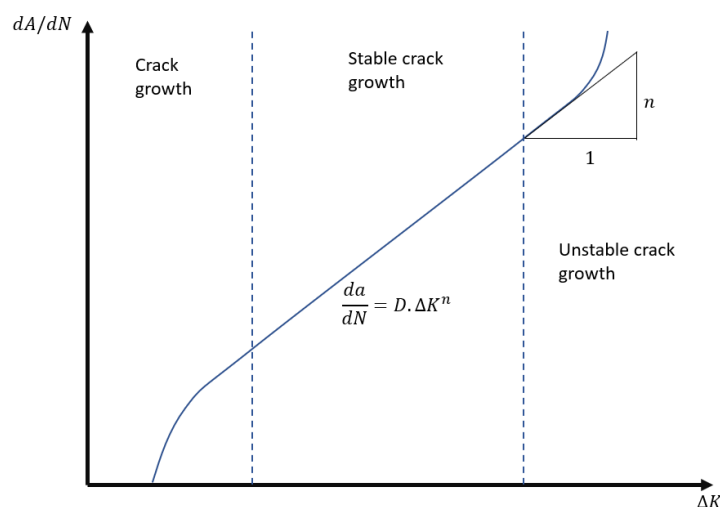
$$K = Y \cdot \sigma_0 \cdot \sqrt{\pi \cdot a} \quad (3)$$

where  $Y$  is the correction factor,  $\sigma_0$  is the stress, and  $a$  is the crack size.

The crack initiation and the progression of this crack to the fracture are examined. Crack development follows the rule known as the Paris-Erdogan law (Paris and Erdogan, 1963):

$$\frac{da}{dN} = D \cdot \Delta K^n \quad (4)$$

where  $D$  is the crack growth constant,  $n$  is the material factor,  $N$  is the number of stress cycles and  $\Delta K$  is the difference of stress intensity factor. The crack growth curve is given in the Figure 6 (Fuštar et al., 2018).



**Figure 6.** Crack growth curve (Fuštar et al., 2018).

## **7. Conclusion**

In this study, the different fatigue analysis methods are summarized. One can examine these methods, each of which has different features, under two main headings as S-N curve and Fracture mechanics methods. The analysis methods in which fatigue behavior caused by cyclic loading are examined with S-N curves require evaluation with the existence of an experimental S-N curve. The most commonly used of these methods is the nominal stress approach, which accepts macro-geometric effects and elastic behavior and neglects local stresses. In the hot spot stress approach, where local stress concentrations are taken into account, the stress calculation is completed by using reference points on the element surface. In the equivalent structural stress approach, where stresses are calculated independently of the finite element mesh size, the stresses are separated as membrane and bending stresses. In the effective notch stress approach, stresses are calculated on the notch with a radius of 1 mm at the root and toe of the weld. The fracture mechanics approach is used to examine crack development as a result of fatigue damage.

## **Statement of Conflict of Interest**

The authors have no conflicts of interest to declare.

## **Author's Contributions**

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

## **References**

- Bashiri AH., Alshoaibi AM. Adaptive finite element prediction of fatigue life and crack path in 2D structural components. *Metals* 2020; 10(10): 1316.
- Braun M., Wang X. A review of fatigue test data on weld toe grinding and weld profiling. *International Journal of Fatigue* 2021; 145: 106073.
- Caputo M., Fabrizio M. Damage and fatigue described by a fractional derivative model. *Journal of Computational Physics* 2015; 293: 400-408.
- Dong P. A structural stress definition and numerical implementation for fatigue analysis of welded joints. *International Journal of Fatigue* 2001; 23(10): 865-876.
- Dong P., Hong JK. Analysis of hot spot stress and alternative structural stress methods. *International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 8-13 June 2003, page no: 213-224, Mexico.
- Doshi K., Vhanmane S. Probabilistic fracture mechanics based fatigue evaluation of ship structural details. *Ocean Engineering* 2013; 61: 26-38.
- Fischer C., Fricke W., Rizzo CM. Review of the fatigue strength of welded joints based on the notch stress intensity factor and SED approaches. *International Journal of Fatigue* 2016; 84: 59-66.
- Fricke W. Fatigue analysis of welded joints: state of development. *Marine structures* 2003; 16(3): 185-

200.

- Fuštar B., Lukačević I., Dujmović D. Review of fatigue assessment methods for welded steel structures. *Advances in Civil Engineering* 2018; 3597356.
- Hobbacher AF. Recommendations for fatigue design of welded joints and components. Cham: Springer International Publishing; 2016.
- Kang G., Luo H. Review on fatigue life prediction models of welded joint. *Acta Mechanica Sinica* 2020; 36(3): 701-726.
- Macdonald KA. Fracture and fatigue of welded joints and structures. Woodhead Publishing; 2011.
- Mann JY. Bibliography on the Fatigue of Materials, Components & Structures. 1st ed. Pergamon; 1970.
- Mashiri FR., Zhao XL., Grundy P. Stress concentration factors and fatigue behaviour of welded thin-walled CHS-SHS T-joints under in-plane bending. *Engineering Structures* 2004; 26(13): 1861-1875.
- Meneghetti G., Campagnolo A. State-of-the-art review of peak stress method for fatigue strength assessment of welded joints. *International Journal of Fatigue* 2020; 139: 105705.
- Paris P., Erdogan F. A critical analysis of crack propagation laws. *Journal of Basic Engineering* 1963; 85(4): 528-533.
- Pedersen MM. Multiaxial fatigue assessment of welded joints using the notch stress approach. *International Journal of Fatigue* 2016; 83: 269-279.
- Radaj D., Sonsino CM., Fricke W. Fatigue assessment of welded joints by local approaches. Woodhead Publishing; 2006.
- Schijve J. Fatigue of structures and materials. Dordrecht: Springer Netherlands; 2009, page no:209-256.
- Skriko T., Lipiäinen K., Ahola A., Mettänen H., Björk T. Fatigue strength of longitudinal load-carrying welds in beams made of ultra-high-strength steel. *Journal of Constructional Steel Research* 2021; 179: 106563.
- Van Wingerde AM., Packer JA., Wardenier J. Criteria for the fatigue assessment of hollow structural section connections. *Journal of Constructional Steel Research* 1995; 35(1): 71-115.
- Wei X., Wen Z., Xiao L., Wu C. Review of fatigue assessment approaches for tubular joints in CFST trusses. *International Journal of Fatigue* 2018; 113: 43-53.
- Yıldırım HC. Review of fatigue data for welds improved by tungsten inert gas dressing. *International Journal of Fatigue* 2015; 79: 36-45.
- Yucel G., Talaslioglu T. Fatigue analysis of welded tubular steel T-joints. *Osmaniye Korkut Ata University Journal of The Institute of Science and Technology* 2022; 5(Special Issue): 1-14.



## Detection of Toxic Gases Using Flexible Metamaterial Absorber at Terahertz Frequencies

Olca ALTINTAŞ<sup>1</sup>, Erkan TETİK<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>İskenderun Technical University Faculty of Engineering and Natural Sciences Department of Electrical-Electronics Engineering, Hatay

<sup>2</sup>Uşak University Faculty of Education Department of Mathematics and Science Education Department of Science Education, Uşak

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-3237-4392>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-8183-8141>

\*Corresponding author: erkan.tetik@usak.edu.tr

### Research Article

### ABSTRACT

#### Article History:

Received: 10.10.2022

Accepted: 30.01.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Metamaterial

Absorber

Sensor

Toxic gases

The development in technology leads to the release of several gases into the environment. These gases, especially toxic ones, have many negative effects on human life and cause many diseases that will adversely affect human health. In this respect, effective and accurate identification of these gases is important in terms of preventing possible damage. In this study, a sensor design that can detect toxic gases using a metamaterial structure operating in the terahertz frequency range is presented. Metamaterials not found in nature are defined as artificial or synthetic structures and can be used in many applications, including sensors, thanks to their negative index of refraction. Here, a metamaterial-based sensor application for the detection of carbon monoxide, a toxic gas, is investigated. The sensor performance is analyzed by adding 50% and 100% toxic gas to the suggested metamaterial design, and 0.010 and 0.013 THz shifts are obtained in the resonance frequency, respectively. These shifts indicate that this structure is a viable candidate in sensor applications for carbon monoxide.

## Terahertz Frekanslarında Esnek Metamalzeme Emici Kullanarak Zehirli Gazların Tespiti

### Araştırma Makalesi

### ÖZ

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 10.10.2022

Kabul tarihi: 30.01.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Metamalzeme

Sinyal emilimi

Sensör

Zehirli gazlar

Teknolojinin gelişimi, çevreye çeşitli gazların salınmasını beraberinde getirmektedir. Bu gazlar, özellikle zehirli olanları, insan yaşamı üzerinde birçok olumsuz etkiye sahip olup, insan sağlığını olumsuz yönde etkileyecek birçok hastalığa neden olmaktadır. Bu açıdan, bu gazların etkin ve doğru tespiti olası zararların önüne geçilmesi açısından önemlidir. Bu çalışmada, terahertz frekans aralığında çalışan bir metamalzeme yapısı kullanılarak zehirli gazları algılayabilen bir sensör tasarımı sunulmaktadır. Doğada bulunmayan metamalzeme yapıları sentetik yapılar olarak tanımlanır ve negatif kırılma indisleri sayesinde sensörler dahil birçok uygulamada kullanılabilir. Burada toksik bir gaz olan karbon monoksitinin tespiti için metamalzeme tabanlı bir sensör uygulaması araştırılmaktadır. Önerilen yapıya %50 ve %100 zehirli gaz eklenerek sensör performansı analiz edilmiş ve sırasıyla rezonans frekansında 0,010 and 0,013 THz kayma elde edilmiştir. Bu kayma önerilen yapının karbon monoksit için sensör uygulamalarında kullanılabilir bir aday olduğunu göstermektedir.

**To Cite:** Altıntaş O., Tetik E. Detection of Toxic Gases Using Flexible Metamaterial Absorber at Terahertz Frequencies. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 1998-2008.

## 1. Introduction

The refractive index (RI) can be obtained by using the parameters permittivity ( $\epsilon$ ) and permeability ( $\mu$ ), which are used to examine the electromagnetic (EM) properties of a medium. The RI can be defined as a parameter formed by the bending of a light beam as it passes from one medium to another. Numerous research has been carried out since the emergence of the RI concept (Dale et al., 1858; Gladstone et al., 1863), but few of them are related to the negative index materials (NIMs), and these are listed in detail by Moroz (Moroz, 2009). It is theorized by Veselago that the medium could have a negative RI relative to the  $\epsilon$  and  $\mu$  EM parameters in a particular frequency range (Veselago, 1968). Studies about NIMs have increased rapidly due to the fact that the permittivity and permeability of materials are experimentally shown to be negative at the same time, and these materials are referred to as metamaterial (MTM) (Pendry et al., 1998; Pendry, 2000; Smith et al., 2000; Shelby et al., 2001). MTMs not found in nature, which are expressed as man-made structures that can be artificial or synthetic, have many research areas such as MTM absorber (MMA) (Landy et al., 2008; Wang et al., 2017; Xie et al., 2018; Al-Badri, 2021), sensors (Yang et al., 2013; Zhao et al., 2015; Akgol et al., 2017; Altintas et al., 2017), harvesting (Ramahi et al., 2012; Karaaslan et al., 2017; Bakır, 2018), MTM based antennas (Afridi et al., 2013; Tetik et al., 2018), and terahertz (THz) (Ling et al., 2018; Tetik, 2020; Han et al., 2021) applications. MTMs can suppress EM wave propagation in a certain frequency band which exhibits exceptional EM characteristics such as cloaking, backward propagation, and negative refraction. These exceptional characteristics can be controlled by their geometric structure.

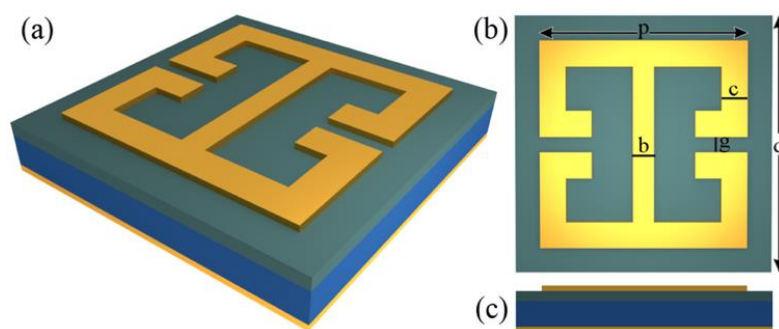
Sensor applications, which have an important effect on the world of science, have gained considerable progress with increasing of research in the THz area. Gas sensors, which are preferred to have high performance and low fabrication costs, constitute an important part of these applications. These sensors are generally used in the detection of toxic gases, industrial pollution, and the monitoring of air quality. Hazardous gases have become an important problem that threatens daily life, and therefore their detection is considerably important. There are numerous studies in the literature for the detection of toxic gases in different research areas (Park et al., 2014; E. Tetik, 2014; Xu et al., 2020). Moreover, THz materials, which have potential research areas such as screening, imaging, and biomedical applications, are used in gas sensor studies. In addition, MTM sensors operating in the THz frequency range are important candidates for the detection of toxic gases. In this study, the detection of toxic gases by MTM based sensors, which are not yet in the literature, has been performed in the THz frequency range. In the first stage, the suggested MTM structure is designed and optimized according to its geometric structure. In this way, it is determined that it has a negative RI, which is the main feature of MTM structures. The reflection, transmission, and absorption characteristics of the optimized MTM design are analyzed. Then, CO molecule that is used for detection is generated as the Drude material (Bade, 1957) for the plasma applications and is integrated into the gaps of the proposed MTM structure. Plasma material-based applications created using the Drude dispersion

model are preferred especially in antenna and EM material applications (Jafargholi et al., 2015; Golazari et al., 2016). Different volumes of toxic gases are used for detection performance. Finally, it is observed that the suggested MTM model can be used in sensor applications for the CO toxic gas.

The design and simulations of the flexible MTM structure are performed using a full-wave EM solver CST Microwave Studio (Computer Simulation Technology GmbH, Darmstadt, Germany) based on the finite integration technique. CST Microwave Studio is a 3D EM analysis software package used to design, analyze, and optimize EM components and systems and includes various calculation methods such as the Frequency Domain, Time Domain, Multilayer, Eigenmode, and Hybrid Solver. In addition, it has a large material library and macros for creating materials. The proposed structure is created using the frequency selective surface, MTM-unit cell workflow and is performed via using the frequency domain solver. To create the material to be used in the sensor study, the Drude Material Macro is preferred, which allows creating materials for use in plasma applications. The materials created with plasma applications in the CST program enable to obtain many properties of these materials such as EM characteristics.

## 2. Theory and Simulation Procedures

The proposed MTM structure exhibits flexible properties thanks to its constituent materials. These are the GaAs patch, gold resonator, gold ground plane, and polyimide substrate. The unit cell of its geometric structure is demonstrated in Fig. 1. The gold ground plane and resonator constitute the flexible MTM structure by sandwiching the polyimide substrate with the GaAs patch. Fig. 1b demonstrates the top view and dimensions of the unit cell. EM features of the flexible MTM design can be controlled by geometric parameters. In this context, by performing geometric optimization procedures, negative RI is obtained according to permittivity and permeability parameters. The optimum MTM structure is obtained by changing the values of the  $d$ ,  $p$ ,  $b$ ,  $c$ , and  $g$  parameters. The length of one side of this structure having a square structure is  $d = 42000$  nm. The length of one side of the resonator is  $p = 32500$  nm. The resonator has dimensions  $c = 4000$  nm,  $b = 3000$  nm, and  $g = 2100$  nm, respectively. The proposed flexible MTM structure is referred to as resonant electric metamaterials and is designed in different sizes and with different materials (Padilla et al., 2007; Landy et al., 2008).



**Figure 1.** Perspective view (a), top view (b), and left view (c) of the unit cell of the suggested MTM design.

The equilibrium flexible MTM is created with the optimization procedure. As a result of the calculations of the MTM structure, the data in Figure 2 are obtained. MTMs are accomplished by designing microstructures smaller than the wavelength of incident radiation which has negative RI. The RI describing the propagation of an EM wave from one medium to another can be written as:

$$n = \frac{c}{v_{phase}}$$

where  $c$  is the speed of light in a vacuum and  $v_{phase}$  is defined as the phase velocity of light in the medium. On the other hand, the refraction of light in a structure can be expressed by Snell's law and it can be written as:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Using Maxwell's equations, the relationship of RI with  $\epsilon$  and  $\mu$  can be given by the following equation:

$$n = \sqrt{\mu_r \epsilon_r}$$

When the RI equations are evaluated in terms of MTM designs, preferring the negative square root should not cause any problems. In this regard, it can be stated with the Lorentz equation which the  $\epsilon$  depends on the frequency of the light. The force ( $\mathbf{F}$ ) on electrons can be written in terms of electric ( $\mathbf{E}$ ) and magnetic ( $\mathbf{B}$ ) fields as follows:

$$\mathbf{F} = -e(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

Assuming that the electrons in an atom/molecule are bound to their equilibrium position through an elastic restoring force, the equation of motion for an electron of mass  $m$  is:

$$m\ddot{\mathbf{r}} + m\gamma\dot{\mathbf{r}} + m\omega_0^2\mathbf{r} = -e\mathbf{E}_0e^{-i\omega t}$$

where  $\mathbf{r}$ ,  $\omega$ , and  $\omega_0$  are expressed as the displacement vector, the angular frequency of the light, and the resonance angular frequency, respectively. If a solution according to the  $\mathbf{r} = \mathbf{r}_0e^{-i\omega t}$  equation is applied at this stage, the electron displacement can be expressed as:

$$\mathbf{r}_0 = \frac{-e\mathbf{E}_0/m}{\omega_0^2 - \omega(\omega + i\gamma)}$$

The total dipole moment per unit volume can be written as the vectorial sum of all dipoles per unit volume. In this case, assuming that there is an average molecular density ( $N$ ) per unit volume and one dipole per molecule, the total dipole moment can be defined as:

$$\mathbf{P} = N\mathbf{p} = \frac{Ne^2\mathbf{E}/m}{\omega_0^2 - \omega(\omega + i\gamma)} = \epsilon_0\chi_e\mathbf{E}$$

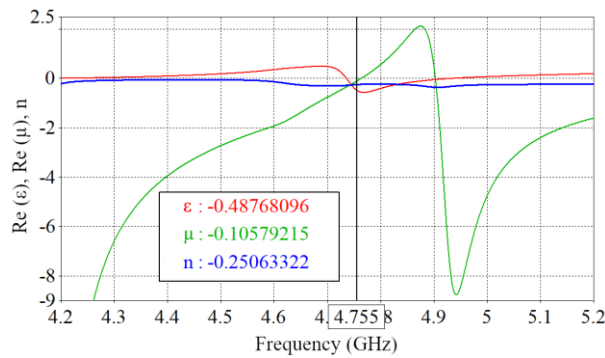
In this equation, the dielectric constant is written as  $\chi_e$ . By rearranging these equations, the  $\epsilon(\omega)$  is expressed as:

$$\epsilon(\omega) = 1 + \frac{Ne^2/m\epsilon_0}{\omega_0^2 - \omega(\omega + i\gamma)} = 1 + \chi_e(\omega)$$

The same results can be obtained for  $\mu$  in a similar way. This equation represents the Lorentz formula of dielectric permittivity for the real and imaginary parts. At this stage, using Maxwell's equations for a time-harmonic plane wave, the following equations are obtained:

$$\mathbf{k} \times \mathbf{E} = \omega \mu_0 \mu \mathbf{H} \text{ and } \mathbf{k} \times \mathbf{H} = -\omega \epsilon_0 \epsilon \mathbf{E}$$

where, considering that the parameters  $\epsilon$  and  $\mu$  are less than zero, the vectors  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{H}$ , and  $\mathbf{k}$  represent a left-handed media. In this case, the Poynting vector  $\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$  can be seen as right-handed, but the wave vector and the Poynting vector are anti parallel. On the other hand, the RI can be defined in terms of the Poynting vector as  $\mathbf{k} = \hat{S} n \omega / c$ . The fact that the  $\hat{S}$  and  $\mathbf{k}$  parameters are in the opposite direction means that the RI can take a negative value ( $n = -\sqrt{\mu_r \epsilon_r}$ ).



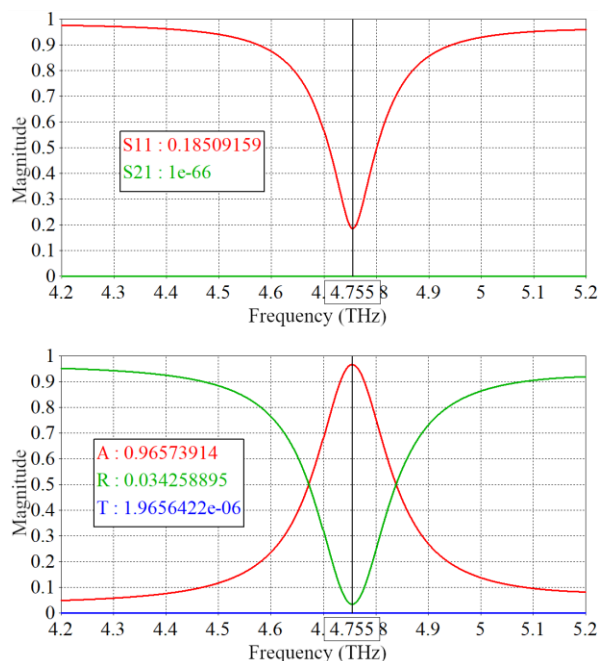
**Figure 2.** The permittivity ( $\epsilon$ ), permeability ( $\mu$ ), and refractive index ( $n$ ) results of the flexible MTM design.

Simulation studies are carried out considering these fundamental principles. The proposed MTM structure has 4.755 THz resonance frequency. The permittivity, permeability, and refractive index of this structure are -0.487, -0.105, and -0.250 at the resonance frequency, respectively. The negative RI shows that the proposed structure exhibits MTM characteristics. Accordingly, this design can be used in numerous applications in areas such as harvesting, sensor, and antenna at THz frequency. In this study, the toxic gas sensor application has been realized with the proposed structure.

### 3. Calculation Method and Results

After the design and optimization procedure of the flexible MTM design, the simulation calculations have been realized to investigate the absorption (A), reflection (R), and transmission (T) characteristics of the design. These calculations are carried out at 4.2-5.2 THz frequency range and first perfect absorption properties are analyzed. In the calculations, two important features have been primarily focused: the first is impedance matching with the gold resonator and incident medium to provide maximum penetration and the second is gold plate covering the backside to restrain the penetrated wave in the proposed MTM. The absorption features of MTMs can be expressed in terms of frequency depending on the reflection  $R(\omega) = |S_{11}|^2$  and the transmission  $T(\omega) = |S_{21}|^2$ , this relationship can be defined with the formula  $A(\omega) = 1 - R(\omega) - T(\omega)$ . From the calculated results, frequency dependent S parameters are obtained. According to the absorption formula, maximizing

frequency value of  $A(\omega)$  is equivalent to minimizing simultaneously both  $(T)(\omega)$  and  $(R)(\omega)$  at the same frequency value. In addition, maximum absorption can only be satisfied by matching the impedance of the MTM to that of the free space with low loss features. In this case, the impedance ( $Z(\omega) = \sqrt{\mu(\omega)/\varepsilon(\omega)}$ ) of the MTM unit cell should be matched to the free space  $Z = Z_0$  for the minimum reflection. In this way, by ensuring the maximization of the imaginary part of the RI, the absorption of incident waves is increased. As a result, it is ensured that the MTM design exhibits a high absorption in a particular frequency range.



**Figure 3.** (a) The  $S_{11}$  and  $S_{21}$  parameters, (b) absorption (A), refraction (R), and transmission (T) results of the flexible MTM design.

At this stage, the suggested design is analyzed to investigate absorption operation mechanism. In the first step, S parameters are calculated and the  $S_{11}$  and  $S_{21}$  are obtained (Fig. 3a). Then, absorption, refraction, and transmission are calculated using parameters  $S_{11}$  and  $S_{21}$ . The results obtained are given in Fig. 3b. It is seen that the  $S_{21}$  parameter is zero as expected due to the copper plate on the back of the proposed structure. The  $S_{11}$  parameter is obtained as 0.18 value at the 4.755 THz resonance frequency. According to the S parameters, the maximum absorption value is around 96.5% at 4.755 THz, and it is seen that the flexible MTM design exhibits excellent absorption. Therefore, the proposed system can be used in sensor applications, and it will be a very good candidate for many sensor projects.

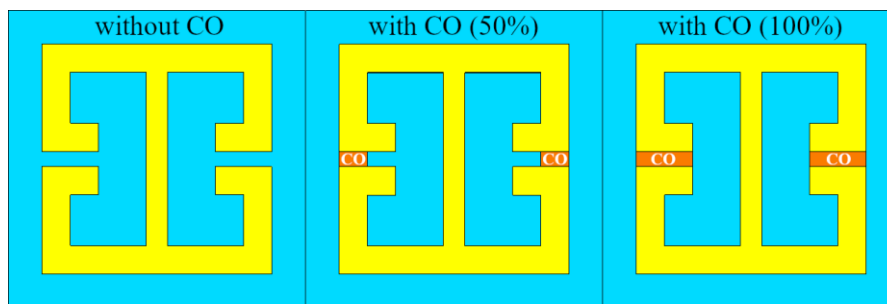
#### 4. Sensor Applications

In this stage, the inorganic molecule CO has been preferred as the toxic gas and formed according to the plasma state. The proposed structure is described by the cold plasma model, also defined as the Drude dispersion model. This dispersion model describes the characteristics of media with two types

of charge carriers. The first type (usually electrons) is considered to be freely moving, while the other type (usually slow ions in plasma) is considered stationary. Damping is expressed by elastic collisions of the moving particles with stationary particles using the collision frequency  $\nu_c$ . The relative permittivity in terms of specific plasma frequency  $\omega_p$  can be written as:

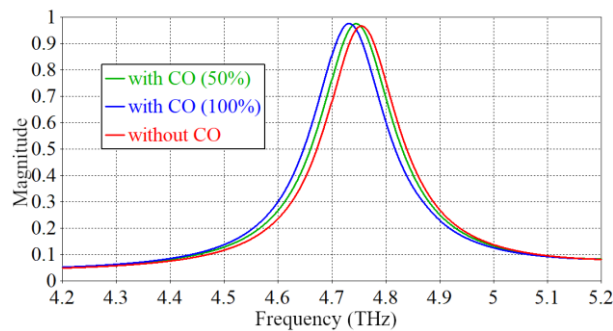
$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_\omega - \frac{\omega_p^2}{\omega(\omega - i\nu_c)}$$

It is also possible to model dependency of the instantaneous plasma frequency  $\omega_p$  using the local electric field. The plasma frequency of the CO molecule formed according to this modeling is obtained as  $2.805 \times 10^{10}$  rad/s and its collision frequency as  $3.458 \times 10^7$  1/s. The proposed MTM design can be prepared by using methods such as conventional photolithography on a high-resistivity substrate (Park et al., 2014).



**Figure 4.** Integration of the CO molecule into the proposed structure (a) without CO, (b) with CO (50%), and (c) with CO (100%).

The placement of the created CO molecule on the gap part of the suggested MTM model is demonstrated in Fig. 4. The structure in Fig. 4a is the proposed basic structure and no toxic gas is added to the gap region. The toxic gas determined as CO is applied in two different amounts as 50% (Fig. 4b) and 100% (Fig. 4c). The volume of the gap area is considered when integrating the CO gas.



**Figure 5.** The absorption results of the suggested MTM model according to the amount of toxic gas.

To investigate the sensor performance of the flexible MTM model, the S parameters are calculated for 50% and 100% CO molecule content. The absorption results are obtained using the S parameters. Comparison of these results is given in Fig. 5. With the addition of different amounts of CO gas, a shift in frequency is observed. In the calculation made without adding toxic gas, the magnitude value

is obtained as 96.5% at a frequency of 4.755 THz. Then, the CO molecule is placed in both gap regions at the same rate (50%). As a result of the calculation, the magnitude value is obtained as 97.4% at a frequency of 4.745 THz. Similarly, the CO molecule is placed in both cavities at the same rate (100%). In this case, the magnitude value is obtained as 97.4% at a frequency of 4.732 THz. It is seen that the resonance frequency of the proposed MTM structure shifts in direct proportion to the addition rate with the addition of the poisonous gas. In addition, the resonance frequency slightly increases with the addition of toxic gas.

**Table 1.** The results obtained by adding toxic gas to the proposed MTM structure.

Toxic Gas (CO)	Magnitude	Frequency (THz)	Shift (GHz)
Without	96.5%	4.755	-
50 %	97.4%	4.745	10 GHz
100 %	97.4%	4.732	13 GHz

The results obtained by adding toxic gas to the proposed structure are summarized in Table 1. With the addition of 50% and 100% gas, the amount of shift is obtained as 0.010 and 0.013 THz, respectively. The shift is taken into account in GHz units and the shift amount formed by the addition of 50% and 100% poisonous CO molecule is obtained as 10 GHz and 13 GHz, respectively. The results of the proposed sensor are compared with a similar study, and it is seen that similar results are obtained (Park et al., 2014). In that study, two different micro-organisms are studied using MTM structure, and two different shifts are obtained around 9 GHz and 23 GHz. According to the results, the designed MTM sensor provides perfect absorption at the resonance frequency and can be used in sensor applications for toxic gases such as the CO molecule. This structure can also be used in other frequency ranges and can be a good candidate for the applications where toxic gas sensors are used.

## 5. Conclusion

In this study, firstly, the absorption characteristics of the proposed MTM structure are investigated and discussed numerically. Then, the sensor characteristics of this MTM structure which exhibits perfect absorption features are analyzed using the toxic CO molecule. Simulation processes are carried out by adding 50% and 100% CO molecules to the two gap regions. Then, shifts in the absorption parameter are investigated. The toxic gas sensor properties of the proposed MTM structure are analyzed from the obtained results. A shift of 10 GHz occurred when 50% CO molecule is added to the gap region of the suggested MTM model. Similarly, with the addition of 100% CO molecule, a shift of 13 GHz is observed. The results obtained are in agreement with the literature. According to these results, the designed MTM sensor can be used in many sensor applications for toxic gases like the CO molecule.

## Statement of Conflict of Interest

Authors have declared no conflict of interest.



## Author's Contributions

The contribution of the authors is equal.

## References

- Afridi A., Ullah S., Khan S., Ahmed A., Khalil AH., Tarar MA. Design of dual band wearable antenna using metamaterials. *The Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy* 2013; 47(2): 126–137.
- Akgol O., Altintas O., Dalkilinc EE., Unal E., Karaaslan M., Sabah C. Metamaterial absorber-based multisensor applications using a meander-line resonator. *Optical Engineering* 2017; 56(8): 087104.
- Al-Badri K. Design of perfect metamaterial absorber for microwave applications. *Wireless Personal Communications* 2021; 121(1): 879–886.
- Altintas O., Aksoy M., Akgol O., Unal E., Karaaslan M., Sabah C. Fluid, strain and rotation sensing applications by using metamaterial based sensor. *Journal of The Electrochemical Society* 2017; 164(12): B567.
- Bade WL. Drude-model calculation of dispersion forces. I. General theory. *The Journal of Chemical Physics* 1957; 27(6): 1280-1284.
- Bakır M. Metamaterial based multiband energy harvesting application. *Journal of Balikesir University Institute of Science and Technology* 2018; 20(1): 517–538.
- Dale TP., Gladstone JH. On the influence of temperature on the refraction of light philos. *Trans. Royal Soc.* 1858; 148: 887– 894.
- Gladstone JH., Dale TP. Researches on the refraction, dispersion, and sensitiveness of liquids philos. *Trans. Royal Soc.* 1863; 153: 317–343.
- Golazari SS., Amiri N., Kashani FH. Design, simulation, and measurement of loop plasma antenna in UHF band. In 2016 24th Telecommunications Forum (TELFOR), 2016, 1-4: IEEE.
- Han X., Zhang Z., Qu X. A novel miniaturized tri-band metamaterial THz absorber with angular and polarization stability. *Optik* 2021; 228: 166086.
- Jafarholi A., Mazaheri MH. Broadband microstrip antenna using epsilon near zero metamaterials. *IET Microw. Antennas Propag.* 2015; 9(14): 1612–1617.
- Karaaslan M., Bağmancı M., Ünal E., Akgol O., Sabah C. Microwave energy harvesting based on metamaterial absorbers with multi-layered square split rings for wireless communications. *Optics Communications* 2017; 392(1): 31–38.
- Landy NI., Sajuyigbe S., Mock JJ., Smith DR., Padilla WJ. Perfect metamaterial absorber. *Physical Review Letters* 2008; 100(20): 207402.
- Ling X., Xiao Z., Zheng X. Tunable terahertz metamaterial absorber and the sensing application. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 2018; 29: 1497-1503.

- Moroz A., 2009. Some negative refractive index material headlines long before Veselago work and going back as far as to 1905, <http://www.wave-scattering.com/negative.html>.
- Padilla WJ., Aronsson MT., Highstrete C., Lee M., Taylor AJ., Averitt RD. Electrically resonant terahertz metamaterials: Theoretical and experimental investigations. *Physical Review B* 2007; 75(4): 041102.
- Park SJ., Hong JT., Choi SJ., Kim HS., Park WK., Han ST., Park JY., Lee S., Kim DS., Ahn YH. Detection of microorganisms using terahertz metamaterials. *Scientific Reports* 2014; 4: 4988.
- Pendry JB. Negative refraction makes a perfect lens. *Physical Review Letters* 2000; 85(18): 3966–3969.
- Pendry JB., Holden A., Robbins D., Stewart W. Low frequency plasmons in thin wire structures. *Journal of Physics: Condensed Matter* 1998; 10(22): 4785–4809.
- Ramahi OM., Almoneef TS., Alshareef M., Boybay MS. Metamaterial particles for electromagnetic energy harvesting. *Applied Physics Letters* 2012; 101: 173903.
- Shelby RA., Smith DR., Schultz S. Experimental verification of a negative index of refraction. *Science* 2001; 292(5514): 77–79.
- Smith DR., Padilla WJ., Vier DC., Nemat-Nasser SC., Schultz S. Composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity. *Physical Review Letters* 2000; 84(18): 4184–4187.
- Tetik E. The electronic properties of doped single walled carbon nanotubes and carbon nanotube sensors. *Condensed Matter Physics* 2014; 17(4): 43301.
- Tetik E. Flexible perfect metamaterial absorber and sensor application at terahertz frequencies. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials* 2020; 22(5–6): 213–218.
- Tetik E., Tetik G. The effect of a metamaterial based wearable monopole antenna on the human body. *Celal Bayar University Journal of Science* 2018; 14(1): 93–97.
- Veselago VG. The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of  $\epsilon$  and  $\mu$ . *Soviet Physics Uspekhi* 1968; 10(4): 509–514.
- Wang BX., Xie Q., Dong G., Zhu H. Broadband terahertz metamaterial absorber based on coplanar multi-strip resonators. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 2017; 28: 17215–17220.
- Xie J., Zhu W., Rukhlenko ID., Xiao F., He C., Geng J., Liang X., Jin R., Premaratne M. Water metamaterial for ultra-broadband and wide-angle absorption. *Optics Express* 2018; 26(4): 5052.
- Xu R., Lin YS. Tunable infrared metamaterial emitter for gas sensing application. *Nanomaterials* 2020; 10(8): 1442.
- Yang JJ., Huang M., Tang H., Zeng J., Dong L. Metamaterial sensors. *International Journal of Antennas and Propagation* 2013; 2013(637270): 1–16.

Zhao X., Fan K., Zhang J., Seren HR., Metcalfe GD., Wraback M., Averitt RD., Zhang X. Optically tunable metamaterial perfect absorber on highly flexible substrate. *Sensors and Actuators A: Physical* 2015; 231: 74–80.

## Tüketici Sonrası Tekstil Atıklarının Geri Dönüşümüne Yönelik Tüketici Tutumlarının İncelenmesi

Eren ÖNER<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Uşak

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-2770-414X>

\*Sorumlu yazar: eren.oner@usak.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi:06.08.2022

Kabul tarihi:04.01.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Tüketici sonrası tekstil atığı

Geri dönüşüm

Tüketici tutumu

Sürdürülebilirlik

### ÖZ

Dünyadaki nüfus artışı, değişen tüketim alışkanlıkları, farklılaşan tüketici davranışları, hızlı moda akımı, sürekli değişen moda trendlerine ayak uydurmayı amaçlayan ucuz ve hızlı üretim modeli tekstil ve hazır giyim sektöründe devasa atıklar oluşmasına neden olmaktadır. Tüketici öncesi tekstil atıklarının geri dönüştürülmesi noktasında sanayi faaliyetleri bulunmasına rağmen, tüketici sonrası tekstil atıklarının organizasyonu ve geri dönüşümü ile ilgili küresel çapta ciddi bir eksiklik bulunmaktadır. Bu araştırmada dünya için önemli bir sorun olan tüketici sonrası tekstil atıklarının geri dönüşümü konusunda tüketici tutumlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Araştırma kapsamında dijital ortamda 500 kişiye anket uygulanmıştır. Anketlerden elde edilen veriler incelenmiş ve ortaya çıkan bulgular yorumlanmıştır. Çalışma sonuçları değerlendirildiğinde toplumun geri dönüşüm konusunda daha fazla bilgilendirilmeye ihtiyacı olduğu, geri dönüşüm çalışmalarında şeffaflığın, izlenebilirliğin ve belgelendirmenin önemli olduğu, geri dönüşüm ürünlerinin hijyen ve kaliteleriyle ilgili çekinceler olduğu anlaşılmıştır.

## Investigation of Consumer Attitudes towards the Recycling of Post-Consumer Textile Waste

### Research Article

#### Article History:

Received: 06.08.2022

Accepted: 04.01.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Post-consumer textile waste

Recycle

Consumer attitude

Sustainability

### ABSTRACT

The population growth in the world, changing consumption habits, differentiating consumer behaviors, fast fashion trend, cheap and fast production model aiming to keep up with the ever-changing fashion trends cause huge wastes in the textile and clothing industry. Although there are industrial activities at the point of recycling of pre-consumer textile waste, there is a serious deficiency on a global scale regarding the organization and recycling of post-consumer textile waste. In this research, it is aimed to examine consumer attitudes about the recycling of post-consumer textile waste, which is an important problem for the world. Within the scope of the research, a survey was applied to 500 people in the digital platform. The data obtained from the surveys were examined and the findings were interpreted. When the results of the study were evaluated, it was understood that the society needs more information about recycling, transparency, traceability and documentation are important in recycling studies, and there are reservations about the hygiene and quality of recycling products.

**To Cite:** Öner E. Tüketici Sonrası Tekstil Atıklarının Geri Dönüşümüne Yönelik Tüketici Tutumlarının İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 2009-2022.

## 1. Giriş

Tekstil ve hazır giyim endüstrisi, artan dünya nüfusu, hızlı ve yüksek tüketim, farklı alanlara genişleyen çeşitli tekstil uygulamaları ve seri üretim süreçlerindeki daha fazla üretkenlik nedeniyle en büyük ve en hızlı büyüyen küresel sanayi sektörlerinden birisidir. Küresel hazır giyim pazarının gelirinin Covid-19 pandemi sürecinden etkilenmesine rağmen 2021 yılında 1,5 trilyon ABD doları olduğu ve 2026 yılına kadar yaklaşık 2 trilyon ABD dolarına çıkacağı tahmin edilmektedir (Smith, 2022). Yıllık üretim 2000 yılından bu yana neredeyse ikiye katlanmış, 2015 yılında 100 milyar adedi aşmış ve 2030 yılına kadar %63 artması beklenmektedir (Le, 2018). Bu artış, daha kısa üretim döngüleri ve anlık değişen stiller ile tüketicilere daha düşük fiyatlar ve daha geniş seçenekler sunan hızlı moda endüstrisinden kaynaklanmaktadır. Kaynak ve enerji yoğun bir endüstri olarak hazır giyim sektörünün bu şekilde büyümesi, değer zinciri boyunca önemli çevresel, ekonomik ve sosyal etkilere neden olmaktadır. Tekstil ve hazır giyim endüstrisinin, CO<sub>2</sub> emisyonlarını 2030 yılına kadar %60'tan fazla (yılıda yaklaşık 2,5 milyar ton) artırması beklenirken, 2017'de 79 milyon metreküp olan tatlı su tüketiminde 2030'a kadar %50'lik bir artış yaşanması beklenmektedir (Global Fashion Agenda & The Boston Consulting Group, 2017). Küresel tekstil endüstrisindeki toplam lif üretimi son 20 yılda iki kat artarak 2018 yılında 107 milyon tona ulaşmış ve bu ivme ile devam ederse 2030 yılında 145 milyon ton olması beklenmektedir (Textile Exchange, 2019). Buna karşın toplam küresel tekstil atıklarının (2017 yılında 93,5 milyon ton), toplam küresel lif üretiminin %90'ından daha fazla olduğu tahmin edilmektedir (Atkar ve ark. 2021). Böyle bir ortamda tekstil ve hazır giyim endüstrisinin ekolojik ayak izi ciddi seviyelere ulaşmakta ve tekstil atıklarının yeniden kullanımı ve geri dönüşümü konuları çok daha önemli olmaktadır (Burçin ve ark. 2016; Aydın ve Topan 2019; Koç ve ark. 2022; Ordu ve Korhan 2022).

Tekstil atıkları, tüketici öncesi (endüstriyel işlemlerden kaynaklanan) ve tüketici sonrası tekstil atıkları olarak sınıflandırılmaktadır. Tüketici öncesi tekstil atıkları, kesimhane artıkları, kalite reddi ve fazla kumaş gibi tekstil ve hazır giyim üretim süreci sırasında üretilen atıkları ifade etmektedir (Dissanayke ve ark. 2021; Sinha 2021). Tüketici sonrası tekstil atıkları, kullanıcının artık istemediği ya da gereksinim duymadığı için atılan tekstil ürünlerinden oluşmaktadır (Domina ve ark.1999; Hawley 2006; Nenckova ve ark.2020; Sinha 2021). Tüketici öncesi tekstil atıklarının geri dönüştürülmesi konusunda konfeksiyon kumaş artıklarının toplanması, ayrıştırılması ve açılarak lif haline getirilmesiyle geri dönüştürülmesi faaliyetleri sanayide uygulanmaktadır. Bununla birlikte tüketici öncesi tekstil atıkları farklı sektörlerde katkı malzemesi olarak değerlendirilebilmektedir (Çınar ve ark. 2020; Oner ve Ozdas 2022; Rahman ve ark. 2022; Tran ve ark. 2022). Ayrıca, tekstil atıklarının tamamının veya birkaç parçasının tekrar kullanıma kazandırılması ile ileri dönüşüm çalışmaları yapılabilmekte ve böylece yeniden farklı, modern tarzda, tasarımlar yapılabilmektedir (Kipöz ve Atalay 2015; Yücel ve Tiber 2018; Çoruh ve ark. 2020; Çetiner ve Oyman 2022). Ülkemizde özellikle tüketici öncesi tekstil atıklarının geri dönüştürülmesine yönelik sanayi faaliyetlerinde Uşak ili merkez konumdadır. Tüketici sonrası tekstil atıkları için ise dünya çapındaki çabalar hala oldukça yetersizdir.

Tüketici sonrası tekstil atıkları konusunda özellikle gelişmiş ülkelerde belirli girişimler bulunsa da birçoğu başlangıç aşamasındadır. Tüketici sonrası tekstil atıklarının hijyen koşulları, içerdiği aksesuar ve parçalar, gördüğü fiziksel ve kimyasal işlemler, kullanım ve yıkama sonrası yıpranma durumu gibi birçok sebeple ayrıştırılması, sınıflandırılması ve geri dönüştürülmesi zorluk oluşturmaktadır. Bu sebeple tüketici sonrası tekstil atıkları konusunda tüketicilerin hem satın alma hem kullanım hem de atığa dönüştürme aşamalarında bilinç seviyeleri en önemli konu haline gelmektedir.

Bu çalışma kapsamında tüketici sonrası tekstil atıklarına yönelik tüketici tutumlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla tüketicilerin tüketici sonrası tekstil atıklarının geri dönüştürülmesi konularındaki bilinç seviyelerini belirlemek üzere kavramsal çerçeve ve araştırma yöntemi hazırlanmış, anket yoluyla çok sayıda tüketiciye ulaşılarak analizler yapılmıştır.

## **2. Araştırmanın Metodu**

Tüketici sonrası tekstil atıklarının geri dönüşümüne yönelik tüketici tutumlarının araştırıldığı bu çalışmada, anket uygulaması yöntemiyle veri toplama sağlanmıştır. Anket formunda geri dönüşüm hakkında bilinç düzeyi, geri dönüştürülmüş ürünlere duyulan güven seviyesi, geri dönüşüme katkı sağlama isteği, müşteri sonrası geri dönüşüm, tekstil kumbaralarının etkinlik durumu, geri dönüşüme teşviklerin yeterliliği gibi detaylı sorulara yer verilmiştir. Kolayda örnekleme yaklaşımı ile belirlenen 20 gönüllü ile yapılan ön çalışma sonucunda anket uygulamasının son hali verilmiştir. Böylelikle anket sorularının anlaşılabilirliği, doğru hedeflere yönelik sorulması ve katılımcı tarafından kolay bir şekilde doldurulma durumu irdelenmiştir.

Araştırmanın evrenini Türkiye’de tekstil ve hazır giyim ürünlerini kullanan, atıklarını bilinçli ya da bilinçsiz olarak uzaklaştıran tüketiciler oluşturmaktadır. Anket uygulaması, Uşak Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu’nun 2022-26 sayılı kararı izniyle gerçekleştirilmiştir. Anket formunun ve formda yer alan soruların çok daha fazla katılımcıya ulaşabilmesi için anket uygulaması dijital ortamda gerçekleştirilmiştir. Türkiye’nin çeşitli şehirlerinden katılan 500 tüketiciye anket uygulanmıştır. 500 anketin tamamı veri girişi için uygun bulunmuş ve yapılan istatistiksel analizler için örneklem büyüklüğünün yeterli olduğu kabul edilmiştir. Saha çalışmasından elde edilen bulgular frekans dağılımları ve yüzdesel dağılımlar ile birlikte şekil ve tablolarla sunularak tartışılmıştır.

## **3. Bulgular ve Tartışma**

Anket çalışması, %51,6’sı (258 kişi) kadın ve %48,4’ü (242 kişi) erkek olmak üzere toplam 500 katılımcı ile yapılmıştır. Anket çalışmasına katılan gönüllülere ilişkin diğer demografik özellikler Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1’de görüldüğü gibi ankete katılan 500 kişinin %65 gibi büyük çoğunluğuna 25-45 yaş aralığında genel olarak eğitim seviyesi lisans ve lisansüstü olan bireyler cevap vermiştir. Bu yaş aralığı halihazırda eğitim hayatı devam eden ya da çalışma hayatında aktif olan kişileri kapsamaktadır. Diğer

önemli katılımcı sayısı %28 ile 18-25 yaş aralığı olup asıl çalışmaların ve geri dönüşüm bilgilendirilmesi, yönlendirilmesi gereken kitledir. Ankete katılan 500 gönüllünün büyük çoğunluğu %66 oranla lisans mezunudur. Lisans mezunu kişilerin %51,4 ü Erkek %38,6'sı ise Kadındır. Ankete katılan gönüllülerin eğitim seviyesinin genel olarak yüksek olmasının, dijital ortamda uygulanan ankete katılım konusunda dijital platformlara daha yatkın olan eğitilmiş kişilerin katılım göstermesi sebebiyle gerçekleştiği düşünülmektedir.

**Tablo 1.** Katılımcıların demografik özellikleri

Demografik Özellikler		f	%
Cinsiyet	Kadın	258	51,6
	Erkek	242	48,4
Yaş Aralığı	18 ve altı	10	2
	18-25	140	28
	25-45	325	65
	45 ve üstü	25	5
Eğitim Durumu	İlkokul	3	0,6
	Ortaokul	14	2,8
	Lise	22	4,4
	Ön Lisans	45	9
	Lisans	330	66
	Yüksek Lisans	39	7,8
	Doktora	47	9,4

Ankete katılanlara öncelikle “Geri dönüşüm hakkında bilginiz var mı?” sorusu sorulmuştur. Şekil 1’de bu soruya verilen yanıtların dağılımı görülmektedir.



**Şekil 1.** Geri dönüşüm ile ilgili farkındalık durumu

Ankete katılanların %26'sı geri dönüşüm hakkında bilgisi olmadığını belirtmiş ve bu yanıtı verenlerin %74'ü kadınlar olmuştur. Geri dönüşüm konusunda bilgisi olduğunu düşünenlerin oranı her ne kadar yüksek seviyede olsa da, büyük çoğunluğunu kadınların oluşturduğu hayır cevabı verenler için çalışmalar yapılması gerektiği görülmektedir.

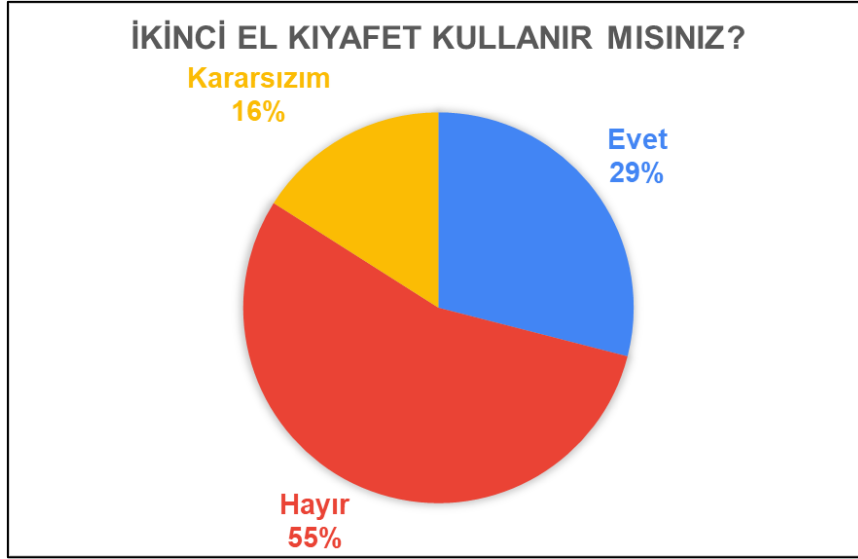
Müşteri sonrası atıkların geri dönüşümünün sorulduğu bir diğer soruya verilen cevapların dağılımı Şekil 2'de gösterilmiştir. Bir önceki soruda yüksek oranda geri dönüşüm bilgisi olduğunu belirtenler olmasına rağmen, müşteri sonrası atıkların geri dönüşümü konusunda bu farkındalık seviyesinin ciddi seviyede düştüğü dikkat çekmektedir.



**Şekil 2.** Müşteri sonrası atıkların geri dönüşümü ile ilgili farkındalık durumu



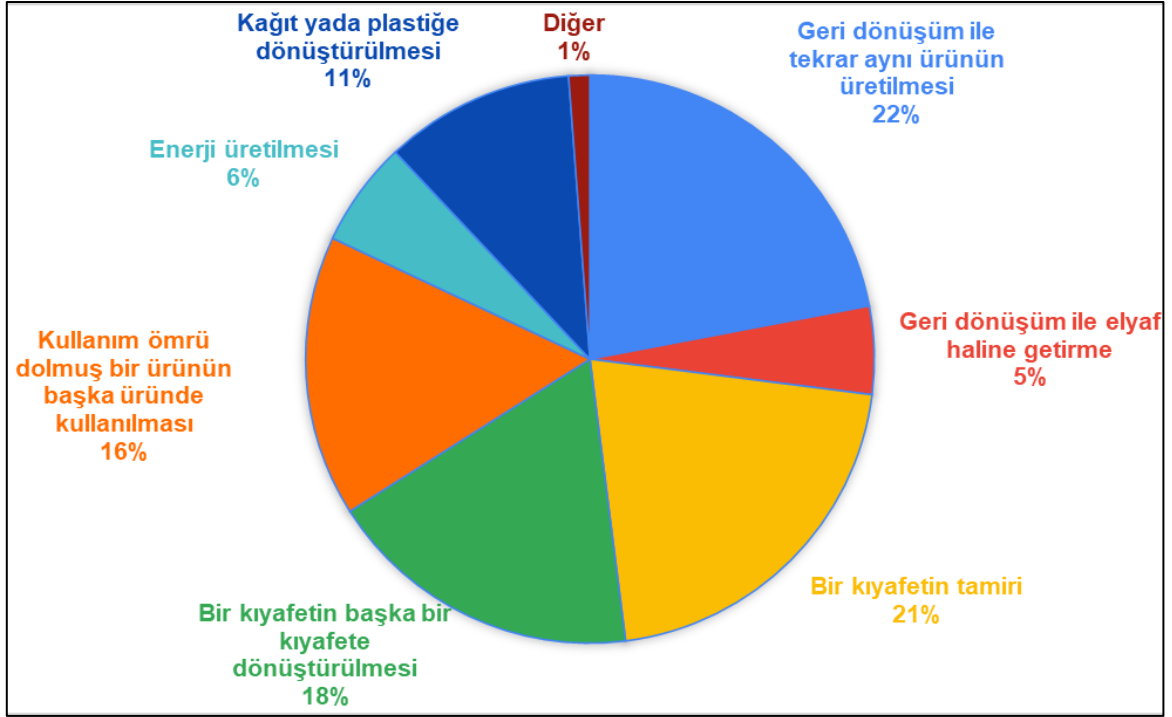
Katılımcıların ikinci el kıyafet kullanıp kullanmama yaklaşımlarının sorulduğu soruya verilen cevapların dağılımı Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. İkinci el kıyafet kullanımına yaklaşım

İkinci el kıyafet kullanımına yaklaşım ile ilgili soruya, katılımcıların sadece %29’u “ikinci el kıyafet kullanırım” cevabını vermiştir. Bu düşük oran gelişen ve değişen dünya, hızlı moda, alım gücü, popülerite gibi etkenler düşünüldüğünde beklenen bir durumdur. Bu soruya verilen yanıtlar demografik olarak detaylandırıldığında “vintage” moda akımı (eski ürünün çağa uygun halde kullanıldığı moda akımı), yaş, eğitim, geçmiş dönemlerden gelen alışkanlıklar, yetiştirilme koşulları, yaşanmış yokluk dönemleri gibi varsayımları düşünüldüğünde ikinci el kıyafete sıcak bakması beklenen 25-45 yaş aralığındaki katılımcıların %83,3 gibi bir oranla hayır cevabı vermesi çarpıcı bir sonuçtur. Pandemi döneminden geçtiğimiz bugünlerde bu kitlenin cevabının hijyenik nedenlerle olduğu düşünülmektedir. Bunun yanında, %66,7 gibi bir oranla 18 yaş altı ve 18-25 yaş aralığı genç katılımcılar evet cevabı vermiştir. Bu durum genç neslin tüketim konusunda belirli moda akımlarının dışında bilinçli tüketim potansiyelini göstermektedir.

Bu soruların devamında bu kez katılımcılara tekstilde geri dönüşüm denildiğinde akıllarına ne geldiği sorulmuş ve verilen cevaplar gruplanarak Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Katılımcıların tekstil geri dönüşümünü tanımlamaları

Şekil 4’te görüldüğü gibi, katılımcıların %22’si tekstil geri dönüşümünü aynı ürünün tekrar üretilmesi olarak tarif etmekte, yakın bir oranla kıyafetin tamiri olarak ifade etmektedir. Bu durum tüketicilerin öncelikle tekstil atıklarından aynı ürünü tekrar geri alma gibi bir yaklaşımda olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte çok çeşitli cevaplar verilmesi, tekstil geri dönüşümü kavramının tüketiciler de tam olarak anlaşılmadığını ortaya koymaktadır. Katılımcıların tekstil tüketim ve kullanım alışkanlıklarını ölçmek için birtakım sorular sorulmuştur. Tüketicilerin Tekstil ve hazır giyim ürünlerinin alışveriş sıklıkları ile ilgili sonuçlar Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2. Katılımcıların tekstil ürünü satın alma sıklığı

Satın Alma Davranışı	f	%
Günlük	2	0,4
Haftalık	6	1,2
Aylık	99	19,8
Yıllık	65	13
Mevsim geçişlerinde	21	4,2
Aklıma geldikçe	183	36,6
İndirimli ürün görünce	89	17,8
İhtiyaç duydukça	35	7

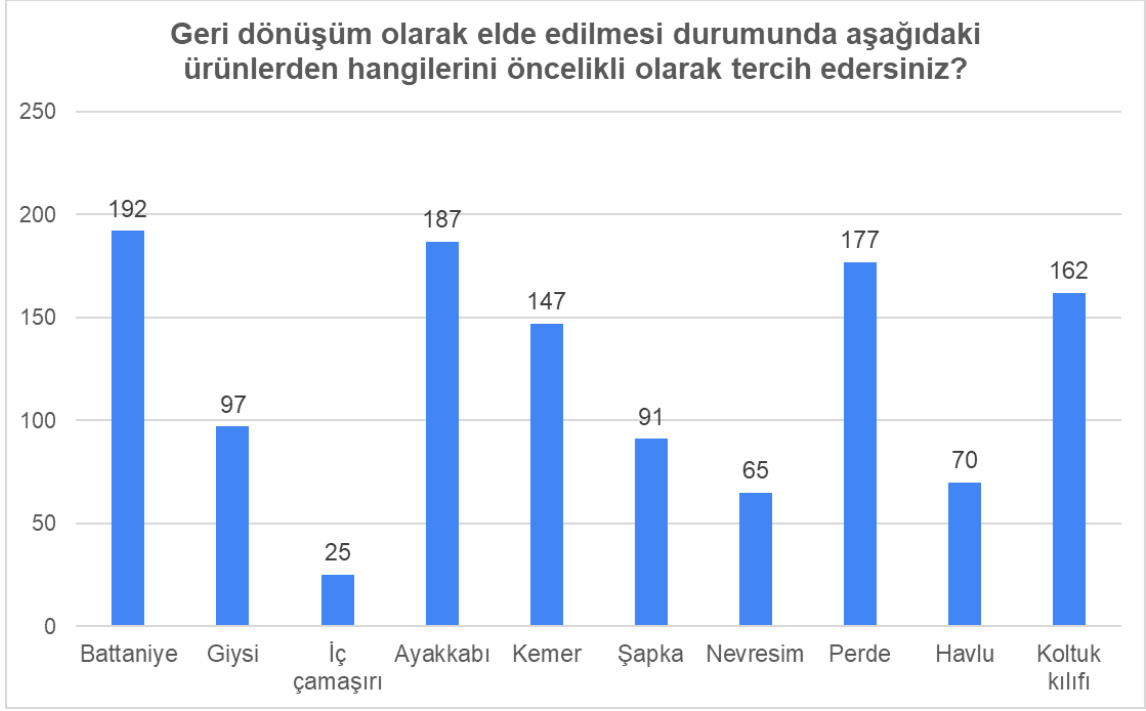
Tüketicilerin tekstil ürünlerini satın alma davranışları incelendiğinde %36,6 ile en büyük oranda akıllarına geldikçe satın aldıkları görülmektedir. Yine indirimli ürün görünce tekstil ürünü satın alan önemli bir kitle bulunmaktadır. Elde edilen bulgulara ankete katılan tüketicilerin büyük çoğunluğunun tekstil ürünü alışverişinde belirli bir plan yada program yapmadığı dikkat çekmektedir.

Ankete katılan tüketicilerin geri dönüşüm algılarının anlaşılabilmesi için belirli sorular sorulmuş ve alınan cevaplara göre dağılımlar Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** Katılımcıların geri dönüşüm algıları

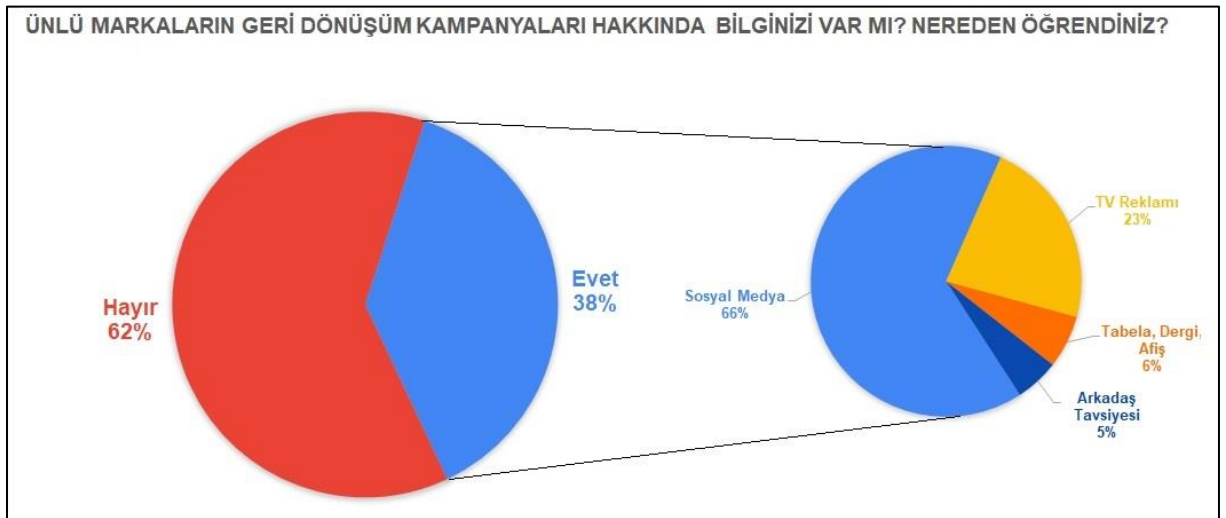
<b>Geri Dönüşüm Algısı</b>	<b>f</b>	<b>%</b>	
	Evet	391	78,2
<b>Geri dönüştürülmüş ürün kullanır mısınız?</b>	Hayır	65	13
	Kararsızım	44	8,8
	Evet	297	59,4
<b>Geri dönüştürülmüş ürünlerin sağlıklı olduğuna inanıyor musunuz?</b>	Hayır	39	7,8
	Kararsızım	164	32,8
	Evet	248	49,6
<b>Geri dönüştürülmüş ürünlerin kaliteli olduğuna inanıyor musunuz?</b>	Hayır	223	44,6
	Kararsızım	29	5,8
	Çevre duyarlılığı	292	58,4
<b>Geri dönüştürülmüş bir ürünü tercih etme sebebiniz öncelikle hangisi olur?</b>	Fiyat	65	13
	İyi hissetme	44	8,8
	Destek olma	99	19,8

Ankete katılan tüketicilerin büyük çoğunluğu geri dönüştürülmüş ürün kullanma konusunda olumlu bakmaktadır. Bu bulgu çevre ve sürdürülebilirlik açısından olumlu bir durumdur. Bunun yanında geri dönüştürülmüş ürünlerin sağlıklı yada kaliteli olup olmadığının sorulması üzerine kararsız kalan tüketicilerin sayısının bir hayli artması dikkat çekmektedir. Bu değerlendirme geri dönüşüm ürünlerini hakkında tüketicilerin bilgilendirilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır. Geri dönüşüm ürünleri tercih etme sebeplerinde ise doğaya ve sürdürülebilir bir yaşama destek amaçlı bir tercih sunulsa da ücret politikasının da öncelikler arasında olduğunu göstermiştir. Bu soruların devamında katılımcılara geri dönüşüm olarak elde edilmesi durumunda hangi tekstil ürünlerini tercih ettikleri sorulmuş ve değerlendirmeler Şekil 5'te verilmiştir.



**Şekil 5.** Geri dönüşüm tekstil ürünü tercihleri

Katılımcıların birden fazla seçeneği tercih edebildiği soruya ait elde edilen sonuçlar incelendiğinde insan derisine temas edeceği düşünülen ürünlerde sayılar düşerken, battaniye, perde, koltuk kılıfı gibi direk deriye temas etmeyecek ürünlerde tercih sayılarının arttığı görülmektedir. Bunun yanında katılımcıların büyük çoğunluğu geri dönüştürülmüş malzemeden üretilen iç çamaşırı ürünlerini kullanmak istememektedir. Bu durum geri dönüşüm tekstil ürünlerinde sağlıkla ilgili tereddütün varlığını göstermektedir. Geri dönüşüm algısı ölçülen katılımcılara ünlü markaların geri dönüşüm çalışmaları ile ilgili değerlendirmeleri sorulmuş ve sonuçlar Şekil 5’de gösterilmiştir.



**Şekil 6.** Katılımcıların geri dönüşüm reklam kampanyalarına ilgisi

Şekil 6’da görüldüğü gibi, katılımcıların büyük çoğunluğu ünlü markaların geri dönüşüm kampanyalarından habersizdir. Haberi olanların ise büyük çoğunluğunun sosyal medya aracılığıyla haberi olduğu görülmektedir. Bu sonuç, geri dönüşüm kampanyaları yapan tekstil ve hazır giyim markalarının sosyal medya ortamında daha etkin reklamlar yapması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu noktada katılımcıların kullandıkları tekstil ürünlerinin kullanım ömürlerini tamamladığında nasıl değerlendirdikleri üzerine sorular sorulmuş ve sonuçlar Tablo 4’de verilmiştir.

**Tablo 4.** Katılımcıların tekstil atıklarını değerlendirmeleri

<b>Tekstil atıklarının değerlendirilmesi</b>	<b>f</b>	<b>%</b>
	Kendim	424 84,8
	Annem	45 9
<b>Kullanım ömrü biten tekstil eşyalarınızı kim ayırır?</b>	Babam	1 0,2
	Eşim	25 5
	Personel	5 1
	İnternette bulunan uygulamalarla satarım	65 13
<b>Kullanmaktan vazgeçtiğiniz tekstil eşyalarınızı nasıl değerlendirirsiniz?</b>	Ücretsiz olarak başkalarına veririm	262 52,4
	Çöpe atarım	50 10
	Geri dönüşüm kumbaralarına atarım	123 24,6
	Yırtık oluştuğunda	144 28,8
	Rengi solduğunda	49 9,8
<b>Tekstil ürününüzü hangi durumda atmaya karar verirsiniz?</b>	Küçük veya büyük gelmesi durumunda	143 28,6
	Çıkarılamaz leke oluştuğunda	94 18,8
	Modası geçtiğinde	78 15,6

Elde edilen bulgular incelendiğinde katılımcıların büyük çoğunluğunun atılacak tekstil eşyalarını kendilerinin ayırdığı, kullanmaktan vazgeçtikleri tekstil eşyalarını büyük oranda ücretsiz olarak başkalarına verdikleri görülmektedir. Kullanmaktan vazgeçtiği tekstil eşyalarını çöpe atan yada internetten satan katılımcı sayıları daha düşük olmuştur. Bu durum tüketicilerin bilinçlenmesi durumunda, kullanım sonrası tekstil ürünlerini daha sürdürülebilir yollara başvurarak uzaklaştırabileceklerini göstermektedir. Katılımcıların tekstil ürünlerini hangi durumda atık olarak ayırdıkları sorusuna verilen yanıtlara göre, en yüksek oranlar tekstil ürününün deformasyona uğradığı durumlarda görülmüştür. Bu kullanım alışkanlığı, bir yandan hızlı moda akımını yavaşlatmak adına iyiyken, bir yandan bu ürünlerin geri dönüşümünü fiziksel performans kaybı öngörüsüyle zorlaştırmaktadır.

Bir sonraki bölümde ise katılımcıların tekstil atıklarının tekstil kumbaraları yada toplama merkezlerine yönlendirme durumları sorgulanmıştır. Bu değerlendirmelere ait sonuçlar Tablo 5’de verilmiştir.

**Tablo 5.** Katılımcıların tekstil toplama ünitelerine yaklaşımı

<b>Tekstil atıklarının toplanması</b>		<b>f</b>	<b>%</b>
<b>Tekstil kumbaralarından haberiniz var mı?</b>	Evet	406	81,2
	Hayır	94	18,8
<b>Bulduğunuz bölgede tekstil kumbarası var mı?</b>	Evet	381	76,2
	Hayır	55	11
	Kararsızım	64	12,8
<b>Kullanmaktan vazgeçtiğiniz tekstil ürünlerini kumbara yada toplama merkezlerine verir misiniz?</b>	Evet	391	78,2
	Hayır	84	16,8
	Kararsızım	25	5
<b>Tekstil atıklarınızı bir birime verirken karşılık bekler misiniz?</b>	Evet	70	14
	Hayır	362	72,4
	Kararsızım	68	13,6
<b>Tekstil atıklarınızı ayrıştırıp bir kuruma yada birime vermeniz için nasıl teşvik kampanyaları olsun istersiniz?</b>	Mağazalardan indirim kuponu verilmesi	155	31
	Atık teslimi karşılığı ücret verilmesi	90	18
	İnternet paketi hediyesi	22	4,4
	Alışveriş kuponu verilmesi	35	7
	E-ticaret sitelerinde indirim	20	4
	İhtiyaç sahibine ulaştırıldığının belgelenmesi	178	35,6

Katılımcıların tekstil atığı toplama üniteleri ile ilgili değerlendirmeleri incelendiğinde büyük çoğunluğunun tekstil kumbaralarından haberdar olduğu ve yaşadıkları bölgelerde tekstil kumbarası bulunduğu anlaşılmaktadır. Kullanmaktan vazgeçtikleri ürünleri tekstil kumbaralarına atmaya çoğunlukla olumlu yaklaşan katılımcılar yine büyük çoğunlukla tekstil atıklarından karşılık beklememektedir. Bunun yanında, tekstil atıklarını bir birime teslim etmeleri konusunda yapılabilecek kampanyalar dikkate alındığında, katılımcılar tarafından en yüksek oranda tekstil atığının ihtiyaç sahibine ulaştırıldığının belgelenmesi beklenmektedir. Bu durum tekstil geri dönüşümü ve sürdürülebilirlik çalışmalarında şeffaflığın, izlenebilirliğin ve belgelendirmenin önemini ortaya koymaktadır.

#### 4. Sonuç

Bu araştırmada dünya için önemli bir sorun olan tüketiciler sonrası tekstil atıklarının geri dönüşümü konusunda tüketici tutumlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Araştırma kapsamında dijital ortamda 500 kişiye anket uygulanmıştır. Anketlerden elde edilen veriler incelenmiş ve ortaya çıkan bulgular yorumlanmıştır.

Dijital ortamda gerçekleştirilen ankete çoğunlukla eğitim seviyesi yüksek tüketicilerin katılımı, eğitilmiş kişilerin dijital platformlara daha yatkın olmasıyla ilişkilendirilmiştir. Bunun yanında dijital platformda uygulanması sayesinde anket soruları Türkiye'nin birçok şehrinden katılıma imkan sağlamış ve genel durumu ortaya koymuştur.

Tüketicilerin büyük oranda geri dönüşüm konusunda bilgisi olduğu görülmesine rağmen, geri dönüşüm konusu bilgisi olmadığını belirten tüketicilerin çoğunluğunun kadın olduğu görülmüştür. Bununla birlikte müşteri sonrası atıkların geri dönüşümü konusunda bu farkındalık seviyesinin ciddi seviyede düştüğü dikkate çekmektedir. Tüketicilerin tekstil geri dönüşümünü tanımlamalarına ait değerlendirmeler dikkate alındığında tüketicilerin öncelikle tekstil atıklarından aynı ürünü tekrar geri alma gibi bir yaklaşımda olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte çok çeşitli cevaplar verilmesi, tekstil geri dönüşümü kavramının tüketicilerde tam olarak anlaşılmadığını ortaya koymaktadır. Bu durumun geri dönüşüm ve sürdürülebilirlik konusunda kavramların ve süreçlerin kadın tüketicileri öncelikle daha etkin duyurulması gerektiğini göstermektedir.

İkinci el kıyafet kullanımı konusunda orta yaş ve üzeri tüketicilerin çekimser yaklaştığı, buna karşın gençlerin daha talepkar olduğu görülmüştür. Avrupa Birliği Sürdürülebilir ve Döngüsel Tekstil Stratejisi'nde de belirlenen tekstil ürünlerinde Döngüsel Ekonomi Modellerinin yaygınlaştırılması (Kiralama, ikinci el vb.) çalışmalarını gibi stratejiler için genç kuşağın ikinci el kıyafetlere ulaşabileceği ortamların sağlanmasının olumlu sonuçlar doğuracağı anket değerlendirmelerine göre anlaşılmaktadır. Ankete katılan tüketicilerin büyük çoğunluğunun tekstil ürünü alışverişinde belirli bir plan yada program yapmadığı görülmüştür. Tüketicilerin dünyadaki hızlı moda trendine uygun olarak plan yapmadan ihtiyaç duyduğunda yada indirim olduğunda alışverişe yönelmesi bu çalışma sonuçlarında da bir kez daha görülmüştür.

Ankete katılan tüketicilerin büyük çoğunluğu geri dönüştürülmüş ürün kullanma konusunda olumlu bakmaktadır. Bu bulgu çevre ve sürdürülebilirlik açısından olumlu bir durumdur. Ancak tüketicilerin büyük çoğunluğu geri dönüşüm ürünlerini daha çok deriyle temas etmeyen ev tekstili yada aksesuar gibi ürünlerde tercih edeceklerini belirtmiştir. Bunun yanında geri dönüştürülmüş ürünlerin sağlıklı yada kaliteli olup olmadığının sorulması üzerine kararsız kalan tüketicilerin sayısının bir hayli artması dikkate çekmektedir. Bu değerlendirme geri dönüşüm ürünlerini hakkında tüketicilerin bilgilendirilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Tüketicilerin büyük çoğunluğu geri dönüşüm reklamlarını bilmediğini belirtmiş, bilenlerin de çoğunlukla sosyal medyadan öğrendiğini anlaşılmıştır. Geri dönüşüme öncülük eden markaların,

reklamlarını sosyal medya üzerinden özellikle duyurup bilinç oluşturmalarının, belli algoritmalarla insanların sosyal medyalarına reklam olarak düşmesini sağlamalarının gerekliliği görülmüştür.

Tüketicilerin tekstil atığı toplama ünitelerinden haberdar olduğu ve karşılık beklemeden tekstil atıklarını bu birimlere verebilecekleri anlaşılmıştır. Bunun yanında, tüketiciler tekstil atıklarını bir birime teslim etmeleri konusunda tekstil atığının ihtiyaç sahibine ulaştırıldığından emin olmak istemektedir. Bu durum tekstil geri dönüşümü ve sürdürülebilirlik çalışmalarında şeffaflığın, izlenebilirliğin ve belgelendirmenin önemini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada elde edilen bulguların ve değerlendirmelerin dünyada giderek daha fazla önemli hale gelen tekstilde geri dönüşüm ve sürdürülebilirlik çalışmalarına katkı sağlaması, bu alanda yapılacak araştırmalara öngörü oluşturması ve tekstil geri dönüşüm sektörüne veri tabanı oluşturması beklenmektedir.

### **Teşekkür**

Anket sorularının kişilere ulaştırılmasında destek olan Uşak Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü öğrencisi Esra KIR ÇALIŞKAN'a teşekkür ederim.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

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

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

### **Kaynakça**

- Atkar A., Pabba M., Sekhar S. C., Sridhar S. Current limitations and challenges in the global textile sector. In: Fundamentals of Natural Fibres and Textiles. Woodhead Publishing 2021; 741-764.
- Burçin E., Çelik P., Çay A., Akgümüş D. Tekstil ve konfeksiyon sektöründe sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm olanakları. Tekstil ve Mühendis. 2016; 23(101): 43-60.
- Çakır Aydın M., Sunerli Topan E. Sürdürülebilir moda anlayışı ile recycle kumaşlar üzerine ürün geliştirme. Sobider Sosyal Bilimler Dergisi 2019; 6(36): 267-276.
- Çetiner M., Oyman NR. Sürdürülebilir moda tasarımı ve çanta tasarım örneği. Sanat ve Yorum 2022; 40: 23-41.
- Çınar E., Dündar B., Şahin E. Cam tozu katkılı lifli harçların fiziksel ve mekanik özellikleri. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2020; 3(1): 17-23.
- Çoruh E., Değirmenci Z., Mutlu S. Denim kumaşlardan üretilen sürdürülebilir tasarımlar. Zeitschrift für die welt der Türken 2020; 12(3): 293-302.



- Dissanayake DGK., Weerasinghe D. Managing post-industrial textile waste: Current status and prospects for Sri Lanka. *The Journal of The Textile Institute* 2021; 112(11): 1804-1810.
- Domina T., Koch K. Consumer reuse and recycling of post-consumer textile waste. *Journal of Fashion Marketing and Management*. 1999; 3(4): 346–359.
- Global Fashion Agenda & The Boston Consulting Group. Pulse of the fashion industry 2017. <https://www.globalfashionagenda.com/report/pulse-2019-update/> [Erişim - Mart 2022].
- Hawley JM. Digging for diamonds: A conceptual framework for understanding reclaimed textile products. *Clothing and Textiles Research Journal* 2006; 24(3): 262–275.
- Kipöz Ş., Atalay D. Etik modanın temsiliyeti bağlamında vaatleri ve çelişkileri: ‘etik moda’ ne kadar etik sunuluyor?. *Yedi* 2015; 14: 101-115.
- Koç DD., Yılmaz K., Şener A. RF stalam drying automation. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5: 185-195.
- LE Katherine. Textile recycling technologies, colouring and finishing methods. Metro Vancouver, 2018.
- Nenckova L., Pecakova I., Sauer P. Disposal behaviour of Czech consumers towards textile products. *Waste Management, New York* 2020; 106: 71–76.
- Oner J., Ozdas F.. Taş mastik asfalt karışımlarında tekstil atığı kullanımının araştırılması. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5: 522-523.
- Ordu M., Korhan E. Simülasyon destekli tesis yerleşim tasarımı ve iyileştirme çalışmaları: Bir tekstil firması örneği. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5: 26-39.
- Rahman SS., Siddiqua S., Cherian C. Sustainable applications of textile waste fiber in the construction and geotechnical industries: a retrospect. *Cleaner Engineering and Technology* 2022, 100420.
- Sinha P., Dissanayke GK., Abeysooriya RP., Bulathgama BHN. Addressing post-consumer textile waste in developing economies. *The Journal of The Textile Institute* 2021; 1-21.
- Smith P. Global apparel market - statistics & facts. 2022. [Online]. Web: [https://www.statista.com/topics/5091/apparel-market-worldwide/#topicHeader\\_\\_wrapper](https://www.statista.com/topics/5091/apparel-market-worldwide/#topicHeader__wrapper). [Erişim - Mart 2022].
- Textile Exchange. Preferred fiber and materials market report. [textileexchange.org](https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2019/11/Textile-Exchange_PREFERRED-Fiber-Material-Market-Report_2019) 2019. [https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2019/11/Textile-Exchange\\_PREFERRED-Fiber-Material-Market-Report\\_2019](https://textileexchange.org/wp-content/uploads/2019/11/Textile-Exchange_PREFERRED-Fiber-Material-Market-Report_2019). [Erişim - Ağustos 2022].
- Tran NP., Gunasekara C., Law DW., Houshyar S., Setunge S., Cwirzen A. Comprehensive review on sustainable fiber reinforced concrete incorporating recycled textile waste. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials* 2022, 11(1): 41-61.
- Yücel S., Tiber B. Hazır giyim endüstrisinde sürdürülebilir moda. *Tekstil ve Mühendis* 2018; 25(112): 370-380.

## İnşaat Sektöründe Yalın İnşaatın ve Yapı Bilgi Modellemesinin Birlikte Kullanılmasının Atıklara Etkisi

İbrahim KARATAŞ<sup>1\*</sup>, Abdulkadir BUDAK<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 80000, Osmaniye

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0845-4536>

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6747-9103>

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

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 04.10.2022

Kabul tarihi:13.01.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Yalın inşaat

YBM sistemi

İnşaat yönetimi

Atık türleri

Yalın-YBM entegrasyonu

### ÖZ

İnşaat sektöründe her yapının kendine has özellikleri nedeniyle farklı üretim kaynakları kullanılmaktadır. Bu nedenle inşaat sektöründe çok fazla atık oluşmaktadır. Günümüzde atık türlerinin önlenmesi için Yalın İnşaat ve Yapı Bilgi Modelleme (YBM) sistemi gibi yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı Yalın İnşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanılması durumunun atık türlerine etkisinin irdelenmesidir. Literatüre göre belirlenen atık türleri esas alınarak anket oluşturulmuş ve Yalın ve YBM konusunda bilgi sahibi ve/veya deneyimli kişilere uygulanmıştır. Elde edilen veriler Göreceli Önem İndeksi (RII) analizi kullanılarak bu sistemlerin atık türlerine etkisi belirlenmiştir. Buna göre Yalın İnşaat ve YBM sistemi kullanılması durumunda şantiyelerde, tüm atık türlerinin RII değeri 0,80'den daha büyük bulunmuştur. Ancak en çok azalan atık türleri sırasıyla *fazla stoklamadan kaynaklı, gereksiz taşıma/aktarma ve hatalı/kusurlu üretim atıklarıdır*. Bu çalışmanın inşaat yönetimine, Yalın İnşaat ve YBM sistemi ile ilgili konularda çalışan özel sektör ve akademik camiaya atık değerlendirilmesi ve azaltılması hususunda bir temel oluşturacağı öngörülmektedir.

## The Effect of Using Lean Construction and BIM System Together on Waste in the Construction Industry

### Research Article

#### Article History:

Received: 04.10.2022

Accepted: 13.01.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Lean construction

BIM system

Construction management

Waste type

Lean-BIM integration

### ABSTRACT

Different production resources are used in the construction industry due to the unique characteristics of each construction. For this reason, several wastes occur in the construction industry. Today, approaches such as Lean construction and BIM system are used to prevent waste types. The aim of this study is to examine the effects of using Lean construction and BIM system together on waste types. Based on the waste types determined according to the literature, a survey was created and applied to participants with knowledge and/or experience in Lean and BIM. Using the obtained data, the effect of these systems on waste types was determined through RII analysis. Accordingly, in case of using Lean construction and BIM system, the RII value of all waste types was found to be greater than 0.80 at the construction sites. However, the most decreasing waste types are the unnecessary transportation/transfer by overstocking caused and defect/faulty production wastes, respectively. It is foreseen that this study will provide a basis for the evaluation and reduction of waste for the private sector and academic community working on issues related to construction management, Lean construction and BIM system.

**To Cite:** Karataş İ., Budak A. İnşaat Sektöründe Yalın İnşaatın ve Yapı Bilgi Modellemesinin Birlikte Kullanılmasının Atıklara Etkisi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 2023-2033.

## 1. Giriş

İnşaat endüstrisi, ülke ekonomilerini ve kalkınmalarını destekleyen en önemli sektörlerden birisidir. Bu yüzden bir ülkenin büyümesi için inşaat sektörünün gelişmesi ve diğer sektörlerle güçlü bir bağlantısı olması gerekmektedir (Dixit, 2018). Bununla birlikte inşaat sektöründe son on yılda dünya çapında yaklaşık %5'lik bir artış gözlenmektedir (Igwe ve ark., 2020). Bu artış ülke ekonomilerine katkı sağlasa da aynı zamanda inşaat proje yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkan fiziksel olmayan atıklar olarak bilinen katma değeri olmayan faaliyetlerin de artış göstereceği açıktır. İnşaat projelerinin artışı ile bu katma değeri olmayan faaliyetlerin azaltılması durumunun inşaat verimliliğini artırma, inşaat sürelerini kısaltma ve inşaat maliyetlerini azaltma konusunda temel bir husus olabileceği düşünülmektedir (Koskela, 2000). Katma değeri olmayan faaliyetler terimi, kaynakları tüketen ancak nihai ürüne hiçbir değer katmayan bir faaliyet olarak tanımlanmaktadır (Buzby ve ark., 2002). Yalın metodolojisi ile kullanımı daha da artan bu terim ile atıkların sadece malzeme kaynaklı değil aynı zamanda gereksiz işler, maliyet ve zaman aşımaları ve kalite kusurlarından da kaynaklı olabileceği anlamına gelmektedir (Bajjou ve Chafi, 2022). Christian ve Hachey (1995) yaptıkları çalışmada inşaat şirketlerinin çalışma sürelerinin %54'ünü katma değerli olmayan faaliyetler için harcadıklarını belirlemişlerdir. Ayrıca Khanh ve Kim (2014) ise yaptıkları çalışmada şantiyelerdeki çalışma sürelerinin %64'ünün katma değerli olmayan faaliyetler tarafından kullanıldığı sonucuna varmışlardır. 1970 ile 2000 yılları arasında küresel olarak yapılan bir araştırmaya göre ise katma değeri olmayan faaliyetlerin, tüm inşaat faaliyetlerinin %49,6'sını oluşturduğunu göstermektedir (Horman ve Kenley, 2005). İnşaat projelerinde katma değeri olmayan faaliyetlerin oldukça yüksek olması projelerin verimliliğini, maliyetini, süresini ve kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

Üretim alanında atığın ortadan kaldırılması ve değer üretilmesi amacıyla Yalın metodolojisi ortaya çıkmıştır (Holweg, 2007). İnşaat sektöründe ise 1992 yılında Yalın inşaat ismiyle inşaat endüstrisinde Yalın üretim felsefeleri kullanılmaya başlanmıştır (Koskela, 1992). Yalın inşaat ile inşaat projelerindeki atıkların azaltılarak inşaat verimliliğinin artırılması ve bunun sonucunda maliyetlerin ve sürelerinin kısaltılarak kalitenin artırılması amaçlanmaktadır. Bu felsefe, yönetim ve proje çıktıları açısından önemli gelişmelere yol açmıştır. Bu durum da yalın inşaat felsefesinin inşaat endüstrisinde kullanılmasına şiddetle ihtiyaç olduğunu göstermektedir (Tzortzopoulos ve ark., 2020). Yapılan çalışmalara bakıldığında ise Yalın inşaat konusunda son yıllarda yapılan yayın sayısında artış görülmektedir (Li ve ark., 2019). Literatürde yapılan araştırmalar incelendiğinde yalın inşaatın 4 ana hedefi üzerine odaklanıldığı görülmektedir (Erol ve ark., 2016; Tezel ve ark., 2018; Innella ve ark., 2019; Xing ve ark., 2021). (1) Proje yaşam döngüsü boyunca atıkları belirlemek ve bu atıkları azaltmak veya ortadan kaldırmak, (2) İnşaat süresince akışı iyileştirmek ve değişkenlikleri azaltmak, (3) Müşteri açısından nihai ürüne değer katmak, (4) Mükemmellik ve sürekli iyileştirme için çabalamak.

Yalın inşaattaki ilk hedef olan atıkların belirlenmesi hususunda, Toyota Üretim Sisteminde yedi atık türü belirlenmiştir (Ohno, 1988). Bu atık türlerinin şantiyelerde de meydana geldiği ve inşaat sektöründe de aynı şekilde tanımlanması gerektiği belirlenmiştir (Koskela, 2000). Yalın inşaat kapsamında belirlenen 7 atık türü (1) fazla üretim, (2) bekleme (boşa zaman geçirme), (3) gereksiz taşıma ya da aktarma, (4) fazla işlem ya da yanlış işlem yapma, (5) fazla stoklama, (6) gereksiz hareket ve (7) hatalı ya da kusurlu üretimdir. İnşaat sektöründe verimliliği artırmak için en önemli yollardan biri, belirlenen bu atık türlerinin azaltılmasıdır. Yalın inşaat felsefesi için

kullanılan son planlayıcı sistem, çekme sistemi, tam zamanında üretim, görsel yönetim, değer akış haritalama, A3 problem çözme metodu, kanban ve 5S metodu gibi birçok yalın araç ve tekniklerinin amacı ise bu atık türlerini azaltmaktır (Hossain ve ark., 2019).

İnşaat endüstrisinde Yalın inşaat aracılığıyla belirlenen bu atıkların azaltılabilmesi ve proje verimliliklerinin artırılması için yeni teknolojiler de ortaya çıkmaktadır. Bunlardan birisi Yapı Bilgi Modelleme (YBM) sistemidir. YBM kavramı ilk olarak 1970 yılında Charles M. Eastman tarafından ortaya atılmıştır (Eastman ve ark., 2008). İnşaat sektöründeki verimsizliği azaltmak için ortaya çıkan bu sistem 2000'li yıllardan itibaren ise inşaat endüstrisinde uygulanmaya başlanmıştır (Azhar ve ark., 2012). Eastman'a göre YBM tanımı proje yaşam döngüsü boyunca inşa edilecek yapının planlanma, inşaat, performans ve sonraki işletme bilgilerini dijital verilerle oluşturma ve yönetme süreci olarak tanımlanmaktadır (Eastman ve ark., 2008). İngiltere tarafından oluşturulan YBM standardına göre ise YBM sistemi bir yapının fiziksel ve işlevsel özelliklerinin dijital bir temsili olarak tanımlanmaktadır. YBM sistemi sadece nesnelerin 3D modelleneceği bir yazılım değil aynı zamanda tasarım sonrasındaki inşaat yönetim aşamasını da kapsayan tüm proje yaşam döngüsünü içeren bir süreçtir (Bryde ve ark., 2013; Budak ve Karataş, 2022). YBM sisteminin inşaat sektöründe kullanılması 3D görselleştirme ile tasarımın yanlış yorumlanmasını önleme, üretimi otomatik hale getirme ve kapasiteyi artırma, verilerin kolay ve eksiksiz paylaşımını sağlama, çakışma kontrolü ile hataların tasarım aşamasında belirlenip düzeltilmesini sağlama ve 4D planlama ile adam-saat tasarrufu sağlamak, kalite ve verimlilik artırmak ve atığı azaltmak gibi birçok faydası vardır (Eastman ve ark., 2008; Azhar, 2011; Arayıcı ve Coates, 2012; Dave ve ark., 2013; Sun ve ark., 2017; Borrmann ve ark., 2018; Budak ve Karatas, 2019; Schimanski ve ark., 2020; Sepasgozar ve ark., 2021).

Yalın inşaat ve YBM sisteminin ayrı ayrı uygulandıklarında inşaat endüstrisinde verimliliği önemli derecede artırdıkları görülmektedir. Bundan dolayı da bu iki sistem farklı alanlarda geliştirilmesine rağmen inşaat projelerinde birlikte kullanılacakları düşünülmüştür (Khanzode ve ark., 2006). Örneğin Türkiye'de çok nadir kullanım alanı olmasına rağmen Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanıldığı büyük projelerde yapılan çalışmalar da bu durumu desteklemektedir (Akarcalı ve Ergen, 2020; Köseoğlu ve ark., 2018). Ayrıca YBM sisteminin bir projenin inşaat verimliliğini artırmak ve atığı azaltmada Yalın inşaat ilkelerine ulaşmak için bir araç olarak kullanılacağı düşünülmektedir (Zhang ve ark., 2018). Yani yalın inşaatın proje verimliliğini daha da artırabilmesi ve atığı daha da azaltabilmesi için YBM sistemini dikkate alması gerekmektedir (Sacks ve ark., 2010; Heigermoser ve ark., 2019). YBM sistemi ayrıca daha iyi görselleştirme ve iş akışı sağlayarak değer katmayan aktiviteleri otomatikleştirme açısından Yalın inşaatı desteklemektedir (Bayhan ve ark., 2022). Bu durumlar dikkate alındığında Yalın inşaat ve YBM sistemi birlikte kullanıldığında proje yaşam döngüsü boyunca birçok sinerjinin ortaya çıkacağı düşünülmüştür. Bu konuda ilk çalışma Sacks ve ark. (2010) tarafından yapılmış ve bu iki sistem arasındaki sinerjileri belirlemek için YBM işlevlerinin ve Yalın ilkelerinin kombinasyonundan oluşan bir matris oluşturulmuştur (Sacks ve ark., 2010). Yapılan çalışmalara bakıldığında, elde edilen bu Yalın-YBM sinerjilerinin atık türlerine olan etkisi konusunda yapılan araştırma sayısı kısıtlıdır. Bu yüzden bu çalışmada Yalın inşaat ve YBM sistemi birlikte kullanıldığında oluşacak sinerjilerin literatürde belirlenen atık türlerine etkisi ve bu atık türlerini ne derece azaltılacağına ortaya konulması amaçlanmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışma kapsamında, inşaat sektöründe çalışan, Yalın inşaat ve YBM sistemi konusunda bilgi sahibi olan veya deneyimi olan katılımcılardan oluşan bir anket çalışması yapılmıştır. Yapılan anket çalışmasının ilk aşamasında öncelikle katılımcılardan hangi alanda çalıştıkları (akademisyen, özel sektör ve kamu sektörü), hangi ülkede çalıştıkları, hangi konuda veya konularda bilgi sahibi oldukları (Sadece Yalın inşaat, sadece YBM sistemi ve Yalın-YBM) ve bu konulardaki tecrübeleri (2 yıldan daha az, 2-5 yıl arası, 6-10 yıl arası, 11-15 yıl arası ve 16 yıldan daha fazla) sorulmuştur. Anketin ikinci aşamasında inşaat sektöründe Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanıldığında literatür kapsamında belirlenen bekleme (boşa zaman geçirme) (A1), gereksiz hareket (A2), gereksiz taşıma ya da aktarma (A3), fazla stoklama (A4), hatalı ya da kusurlu üretim (A5), fazla üretim (A6) ve fazla işlem ya da yanlış işlem yapma (A7) gibi atık türlerini azaltması konusunda katılımcılara 5’li Likert ölçeğinde sorular sorulmuştur.

Bu çalışmanın amacı Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanılması durumunda meydana gelen sinerjilerin atık türleri üzerindeki etkisini araştırmaktır. Bu amaç doğrultusunda oluşturulan anket çalışmasından toplanan verileri analiz etmek için istatistiki yöntemler kullanılmıştır. Bu analizler, IBM SPSS version 25 ve Microsoft Excel programları kullanılarak yapılmıştır. Öncelikle anket verilerinin güvenilirliğini ve iç tutarlılığını ölçmek için Cronbach’s  $\alpha$  güvenilirlik katsayısı aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır (Cronbach, 1951). Bu katsayı 0 ile 1 arasında değer almaktadır ve 0,6 dan daha büyük olması güvenilirlik açısından kabul edilebilir bir değer olarak görülmektedir (Nunnally, 1978).

$$\alpha = \frac{n}{n-1} \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}{\sigma_x^2} \right) \quad (1)$$

burada  $n$  madde sayısı,  $\sigma_i^2$  her bir madde varyansı ve  $\sigma_x^2$  her bir maddenin değerinin toplanması ile edilen varyans şeklinde ifade edilebilir.

Sonra elde edilen verilerin normal dağılım gösterip göstermediğini belirlemek için Shapiro-Wilk-W normallik testi kullanılmıştır (Shapiro ve Wilk, 1965; Yazıcı ve Yolacan, 2007). Bu testte  $H_0$  hipotezi verinin normal dağıldığını varsaymaktadır. Eğer hesaplanan p değeri 0.05’ten daha küçük ise  $H_0$  hipotezi reddedilir ve verilerin normal dağılmadığı düşünülür. Sonrasında ise bağımsız olarak örneklenen üç veya daha fazla grup arasındaki farklılıkları normal olarak dağılmayan bir sürekli değişken üzerinde değerlendiren parametrik olmayan istatistiksel bir test olan Kruskal-Wallis testi kullanılmıştır (Kruskal ve Wallis, 1952). Kruskal-Wallis testi, grupların yanıtlarının medyanlarının eşit olup olmadığını bildirir (Da Silva ve ark., 2022), bunun için hipotez testleri kullanılır.  $H_0$  hipotezi grupların medyanları aynı olduğunu ve  $H_1$  hipotezi ise grupların medyanlarının farklı olduğunu gösterir. Analiz sonucunda hesaplanan p değeri 0.05’ten daha küçük ise gruplar arasında fark vardır denilebilir. Bu çalışmada ise Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanılması durumunun atık türlerine etkisinin katılımcının deneyimi, çalışma grubu ve Yalın ya da YBM konusundaki bilgisi açısından farklı olup olmadığı araştırılmıştır. Bu çalışmada Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanılmasından meydana gelen atık türlerine etkisi ise birçok çalışmada kullanılan göreceli önem indeksi (RII) ile belirlenmiştir. RII, toplanan

verileri etki derecelerine göre sıralamak için kullanılır (Bajjou ve Chafi, 2020; Igwe ve ark., 2020; Aravindh ve ark., 2022). RII aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır.

$$RII = \frac{\sum w}{A * N} \quad (2)$$

burada w = katılımcıların her bir faktöre verdiği önem derecesi, A = en yüksek oran (bu çalışma için 5) ve N = toplam katılımcı sayısı, RII ise yanıtların sıklığına ve kullanılan Likert ölçeğine göre ağırlıklı toplamı ya da göreceli önem indeksini hesaplar.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışma inşaat sektöründe Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanılması durumunun şantiyelerde gerçekleşen atık türlerine etkisini araştırmayı amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda Yalın inşaat ve YBM sistemi konusunda çalışan ve bilgi sahibi olan kişilerden anket aracılığıyla veriler toplanmıştır. Elde edilen veriler yukarıda açıklanan metotlar kullanılarak analiz edilmiştir.

Türkiye’de bu konulardaki uygulamaların ve bilgi ve deneyim sahibi kişiler oldukça kısıtlıdır. Bu nedenle farklı ülkelerden de katılımcılara da yer verilmiştir. Bu çalışmada e-mail ve LinkedIn aracılığıyla toplam 78 katılımcıdan veriler toplanmıştır. %95 güven aralığında ve  $\pm\%12$  örneklem hatası ile  $n>67$  (Cochran, 2007) olduğundan bu örneklem büyüklüğünün mevcut popülasyonu temsili açısından kullanımı uygundur. Katılımcıların yaklaşık %40’ı Türkiye’de çalışmaktadır. Bunun yanında %10’u UK, katılımcıların geri kalanı ise sırasıyla Peru, Hindistan, Almanya, Suudi Arabistan, Katar, Polonya, Paraguay, Filistin, Yeni Zelanda, Hollanda, Kazakistan, İtalya, Fransa, Finlandiya, Mısır, Kolombiya, Çin ve Şili gibi ülkelerde çalışan katılımcılardan oluşmaktadır. Katılımcıların çalışma alanları, bilgi sahibi oldukları konular ve deneyimlerine göre bilgileri Tablo 1’de verilmiştir. Buna göre ankete katılanların yaklaşık %65’i özel sektörde, %27’si akademisyen olarak ve %8’i ise kamu sektöründe çalışmaktadır. Ayrıca bu katılımcıların %50’den fazlası Yalın-YBM konusunda bilgi sahibidir. %30’u sadece YBM sistemi konusunda, %18’i ise sadece Yalın inşaat konusunda bilgi sahibi olduklarını belirtmişlerdir. Katılımcıların Yalın-YBM konusundaki deneyimlerine bakıldığında %50’den fazlası 6 yıldan daha fazla deneyimlidir. %33’ü 2 ile 5 yıl arası deneyimli ve %13’ü ise 2 yıldan daha az deneyimlidir.

Tablo 1. Katılımcıların demografik bilgileri

Kategori	Tanımlama	Frekans	Yüzde (%)
Çalışma Alanları	Akademisyen	21	26,92
	Özel Sektör	51	65,38
	Kamu Sektörü	6	7,69
Bilgi Sahibi oldukları konular	Sadece Yalın İnşaat	14	17,95
	Sadece YBM sistemi	23	29,49
	Yalın-YBM	41	52,56
Yalın veya YBM konusundaki Deneyimleri	2 yıldan daha az	10	12,82
	2-5 yıl arası	26	33,33
	6-10 yıl arası	20	25,64
	11-15 yıl arası	18	23,08
	16 yıldan daha fazla	4	5,13

Bu çalışma kapsamında uygulanan anketin güvenilirliğini ve iç tutarlılığını değerlendirmek için Cronbach’s  $\alpha$  güvenilirlik testi uygulanmıştır. Analiz sonucuna göre  $\alpha$  katsayısı 0.776 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuca

göre bu değer 0,6'dan daha büyük olduğu için anketin güvenilirliğinin uygun olduğu kabul edilmiştir. Güvenilirlik testlerinin ardından anket verilerinin normal dağılım gösterip göstermediğini anlamak için Shapiro-Wilk-W normallik testi kullanılmıştır. Atık türlerinden oluşan toplam 7 faktörün anlamlılık düzeyi yani p değeri 0.05'ten daha küçük çıkmıştır. Bu sonuç ile anket verilerinin normal olmayan bir dağılım gösterdiği ve bundan dolayı da analizlerin parametrik olmayan istatistiksel testlerin kullanılarak yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anketin ilk bölümünde katılımcılara Yalın inşaat ya da YBM konusundaki deneyimleri (2 yıldan daha az, 2-5 yıl arası, 6-10 yıl arası, 11-15 yıl arası ve 16 yıldan daha fazla), çalışma durumları (akademisyen, özel sektör, kamu sektörü) ve hangi konular hakkında bilgi sahibi oldukları (Sadece Yalın inşaat, Sadece YBM sistemi, Yalın-YBM) hakkında bu 3 kategoriye göre sorular sorulmuştur. Parametrik olmayan Kruskal Wallis testi ile Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanılması durumunun atık türlerine etkisinin bu 3 kategorideki gruplara göre değişip değişmediği araştırılmıştır. Test sonuçları, eğer p değeri 0,05'ten daha küçükse kategorilerin grupları arasında önemli bir görüş farklılığı olduğunu, eğer p değeri 0,05'ten daha büyükse kategorilerdeki gruplar arasında önemli bir görüş farklılığı olmadığını göstermektedir. Analiz sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir. Buna göre çalışma durumları ve deneyim kategorilerindeki değerlerin tamamı 0,05'ten daha büyük olduğu için gruplar arası önemli bir görüş farklılığı olmadığı sonucuna varılmıştır. Ancak bilgi sahibi olunan konulara bakıldığında A1 ve A2 atık türlerinde gruplar arası bir görüş farklılığı olduğu görülmektedir. A1 atık türü için farklılık gösteren gruplar sadece YBM sistemi ile ilgili bilgi sahibi olanlar ile Yalın-YBM konusunda bilgi sahibi olanlar arasındadır. A2 atık türü için ise farklılık gösteren gruplar Sadece YBM sistemi konusunda bilgi sahibi olanlar ile Sadece Yalın inşaat konusunda bilgi sahibi olanlardır. Yani Yalın inşaat ve YBM sistemi birlikte kullanılması durumunda sadece A1 ve A2 atık türlerine etkisi için verilen cevaplar bilgi sahibi olunan konulara göre değişebilmektedir. Katılımcıların çalışma durumları ve deneyimleri bu sorulara verilen cevapları üzerinde bir görüş farklılığına neden olmamaktadır.

**Tablo 2.** Kruskal Wallis testi p değerleri

Atık Kodu	Kruskal Wallis test		
	Çalışma durumları	Bilgi sahibi olunan konular	Deneyim
A1	0,538	<b>0,022</b>	0,947
A2	0,389	<b>0,049</b>	0,889
A3	0,809	0,149	0,701
A4	0,327	0,809	0,421
A5	0,750	0,720	0,532
A6	0,944	0,077	0,804
A7	0,667	0,453	0,618

Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanılması durumunun atık türlerinden hangisini en fazla etkileyeceğini belirlemek için RII analizi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3'te belirtilmiştir. Buna göre Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanılması durumunda bütün atık türlerinin RII değerleri 0,80'den daha büyük olarak görülmektedir. Yani Yalın-YBM tüm atık türlerini azaltma potansiyeline sahip olduğu açıktır. Ancak en çok etkilenen atık türü fazla stoklamadan kaynaklı (A4) atık türü olduğu belirlenmiştir. Sonrasında ise gereksiz taşıma ya da aktarma (A3) ve hatalı ya da kusurlu üretim (A5)'den kaynaklı atık türleri gelmektedir. Daha sonra ise sırasıyla fazla üretim (A6), bekleme (boşa zaman geçirme) (A1), gereksiz hareket (A2) ve fazla işlem ya da yanlış işlem yapma (A7) atıkları gelmektedir.

**Tablo 3.** Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanılması atık türleri üzerindeki etkisinin RII ve Rank değerleri

Atık Türleri	RII	Rank
A1	0,8462	5
A2	0,8256	6
A3	0,8564	2
A4	0,8667	1
A5	0,8564	3
A6	0,8513	4
A7	0,8000	7

Analiz sonuçları, Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanılması ile şantiyelerde meydana gelen atıkların azalacağı ve bunun sonucunda inşaat sürelerinin kısılacağı, maliyetlerin azalacağı, kalitenin ve verimliliğin artacağı bir inşaat sürecinin meydana geleceğini göstermektedir. Çünkü belirlenen atıkların meydana gelmesi genellikle verimlilik kaybına, proje gecikmelerine ve maliyet aşımına sebep olmaktadır (Igwe ve ark., 2020). *Bekleme (Boşa zaman geçirme) (A1) atığı*; Hindistan'da yapılan bir araştırmada zaman ve maliyeti en çok etkileyen atık türleri arasında yer almıştır (Aravindh ve ark., 2022). Kazakistan'da yapılan araştırmada da en sık karşılaşılan atık türü olarak belirlenmiştir (Hossain ve ark., 2019). Bu çalışmada da Yalın-YBM sinerjisinin bu atık türünü azalttığı belirlenmiştir. *Gereksiz hareket (A2)*, *Fazla üretim (A6)* ve *Fazla işlem ya da yanlış işlem yapma (A7) atıkları*, inşaat projeleri üzerinde önemli derecede etkisi olduğu görülmektedir (Aravindh ve ark., 2022). Çalışma sonucuna göre Yalın-YBM sinerjileri bu atık türlerini azaltmakta ancak diğer atık türlerine göre daha az etkilediği belirlenmiştir. *Gereksiz taşıma ya da aktarma (A3)*, *Fazla stoklamadan kaynaklı (A4)* ve *Hatalı ya da kusurlu üretim (A5) atıkları*, projelerin dönüşüm, akış ve değeri açısından en önemli türleri olarak belirlenmiştir (Igwe ve ark., 2020). Bu atıkların, Yalın ve YBM sistemlerinin birlikte kullanılmasıyla en çok azaltılan atık türleri olmasından dolayı bir projenin dönüşümünü, akışını ve değerini artırmak için bu sistemlerin kullanılması önem arz etmektedir. Genellikle *bekleme* atığı ve *kusurlu üretim* geleneksel inşa süreçlerini en çok etkileyen atık türleri olarak belirlenmiştir. Ancak bu çalışmada, Yalın inşaat ve YBM sistemi birlikte kullanıldığında, *kusurlu üretim* ve *bekleme* atıklarından farklı olarak *fazla stoklamadan kaynaklı* ve *gereksiz taşıma* atıklarının daha çok azaltıldığı sonucuna varılmıştır. Bunun sebebi ise Yalın inşaat ve YBM araçları ile şantiyelerdeki ulaşım konusunda yapılan simülasyonlu yerleşim planlaması olarak görülebilir. Bir diğer önemli husus ise Yalın ve YBM ile elde edilen planlamanın görselleştirme ile etkileşimi sonucu denetimin daha etkin yürütülmesi *kusurlu üretimi* ve şantiyedeki iletişim ve koordinasyonun daha da güçlendirilmesi ise *bekleme* atığını ciddi derecede azaltacağı açıktır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda Yalın inşaat ve YBM sistemi birlikte kullanıldığında genel anlamda literatürde belirlenen atık türlerini oldukça azaltacağı sonucuna varılabilir.

#### 4. Sonuçlar

İnşaat projelerinin karmaşıklığından dolayı genellikle atıkların meydana geldiği ve bu atıklardan kaynaklı diğer sektörlere göre daha verimsiz bir süreç yaşanmaktadır. Bu yüzden bu çalışmada bu atıkları azaltmak için Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanılmasının atıkları azaltması açısından etkileri incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre tüm atık türlerinin, Yalın inşaat ve YBM sisteminin birlikte kullanılması durumunda oldukça azalacağını göstermektedir. En çok azalması düşünülen atık türü ise *fazla stoklamadan kaynaklı* atık türü olarak belirlenmiştir. Yalın inşaatın en önemli amaçlarından biri olan şantiyelerde kullanılacak malzemelerin düzenli ve planlı olmasını sağlamak ve şantiye ortamını olabildiğince yalın hale getirmeyi hedeflemektedir. YBM sistemi de



Yalın inşaatı yardımcı araçlarla desteklemektedir. Diğer taraftan şantiye ortamının düzenli olması *gereksiz taşımaların* da azalmasına yardımcı olacaktır. Bu atık türünün de Yalın-YBM sistemlerinin kullanılması ile azalacağı sonucuna varılmıştır. Diğer atık türü olan tamamlanan işi onarmak veya yeniden yapmak için eylemler gerektiren *kusurlu üretimden kaynaklı* atık türü, YBM sisteminin 4D planlaması ile yapılan çakışma kontrolleri ve Yalın inşaat planlama araçları ile önceden tespit edilip yapılan hatalar daha gerçekleşmeden önenebilecektir.

Genel anlamda bu çalışma ile Yalın inşaat ve YBM sisteminin inşaat sektöründe gerçekleşen atıkları azalttığı ve hangi atık türünü ne kadar azaltılacağı belirlenerek bir sıralama yapılmıştır. Bu sistemlerin yanı sıra bu atıkları daha da azaltmak için farklı sistemlerin ve araçların kullanılabilmesi düşünülmektedir. İnşaat sektöründe atıkları azaltarak maliyetleri düşürmek, proje süresini kısaltmak, verimlilikleri ve kaliteyi artırmak için bu sistemlerin benimsenmesi önem arz etmektedir. Ancak Yalın-YBM sisteminin etkin ve verimli bir şekilde kullanmak için bu yaklaşımları benimsenmesi ve gerekli tüm kültürel ve organizasyonel değişikliklerin önemli bir şekilde düşünülmesi gerekmektedir.

Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar literatürde inşaat yönetimi bilgi birikimini destekleyeceği düşünülmektedir. Ayrıca inşaat sektöründe özellikle inşaat uygulayıcıları ve profesyonellerin Yalın inşaat ve YBM sistemi benimsemeleri konusunda katkı sağlayacağı umulmaktadır. Bununla birlikte bu çalışma sonuçları ekonomik olarak, atıkların değerlendirilmesi ve azaltılmasına ilişkin bir temel oluşturacak, sürdürülebilir ve teknolojiye dayalı inşaat yönetimindeki mevcut bilgileri zenginleştirecektir.

### **Teşekkür**

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine desteği için teşekkür ederiz. (Proje No: OKÜBAP-2022-PT2-008).

### **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**

Akarcılı GZ., Ergen E. A Case study on common grounds of building information modelling (BIM) and lean construction: Dudullu–Bostancı Metro Line. 6th International Project and Construction Management Conference (IPCMC2020), 12-14 November 2020, 546-554, Istanbul, Turkey.

Aravindh MD., Nakkeeran G., Krishnaraj L., Arivusudar N. Evaluation and optimization of lean waste in construction industry. Asian Journal of Civil Engineering 2022; 23(5): 741–752.

- Arayici Y., Coates P. A system engineering perspective to knowledge transfer: A case study approach of BIM adoption. In: Tang, X.X. (ed.) *Virtual reality human computer interaction*. IntechOpen 2012; 179–206.
- Azhar S. Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering* 2011; 11(3): 241–252.
- Azhar S., Khalfan M., Maqsood T. Building information modeling (BIM): Now and beyond. *Australasian Journal of Construction Economics* 2012; 12(4): 15–28.
- Bajjou MS., Chafi A. Identifying and managing critical waste factors for lean construction projects. *Engineering Management Journal* 2020; 32(1): 2–13.
- Bajjou MS., Chafi A. Exploring the critical waste factors affecting construction projects. *Engineering, Construction and Architectural Management* 2022; 29(6): 2268–2299.
- Bayhan HG., Demirkesen S., Zhang C., Tezel A. A lean construction and BIM interaction model for the construction industry. *Production Planning and Control* 2022; 1–28.
- Borrmann A., König M., Koch C., Beetz J. *Building information modeling*. Springer International Publishing 2018. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3>
- Bryde D., Broquetas M., Volm JM. The project benefits of building information modelling (BIM). *International Journal of Project Management* 2013; 31(7): 971–980.
- Budak A., Karatas I. Danışmanın, tasarım öncesi, tasarım ve yapım öncesi aşamalarında BIM sistemindeki rolünün literatür kapsamında incelenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2019; 2(1): 89–96.
- Budak A., Karataş İ. Impact of the BIM system in construction management services in developing countries; Case of Turkey. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 2022; 28(6): 828-839.
- Buzby CM., Gerstenfeld A., Voss LE., Zeng AZ. Using lean principles to streamline the quotation process: a case study. *Industrial Management and Data Systems* 2002; 102(9): 513–520.
- Christian J., Hachey D. Effects of delay times on production rates in construction. *Journal of Construction Engineering and Management* 1995; 121(1): 20–26.
- Cronbach LJ. Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika* 1951; 16(3).
- Cochran WG. *Sampling Techniques*, John Wiley and Sons 2007.
- Da Silva EN., Brasil de Brito Mello LC., Pinto GO. Challenges for lean construction adoption in the Brazilian industry: a study in construction companies, universities, and class organizations. *Construction Innovation* 2022; Advance online publication. <https://doi.org/10.1108/CI-08-2021-0148>
- Dave B., Koskela L., Kiviniemi A., Tzortzopoulos P., Owen R. *Implementing lean in construction: Lean construction and BIM*. Queensland University of Technology 2013.
- Dixit S. Analysing enabling factors affecting the on-site productivity in Indian Construction industry. *Periodica Polytechnica Architecture* 2018; 49(2): 185–193.

- Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. Wiley 2008.
- Erol H., Dikmen I., Birgonul T. Measuring the impact of lean construction practices on project duration and variability: A simulation-based study on residential buildings. *Journal of Civil Engineering and Management* 2016; 23(2): 241–251.
- Heigermoser D., García de Soto B., Abbott ELS., Chua DKH. BIM-based last planner system tool for improving construction project management. *Automation in Construction* 2019; 104: 246–254.
- Holweg M. The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management* 2007; 25(2): 420–437.
- Horman MJ., Kenley R. Quantifying levels of wasted time in construction with meta-Analysis. *Journal of Construction Engineering and Management* 2005; 131(1): 52–61.
- Hossain MA., Bissenova A., Kim JR. Investigation of wasteful activities using lean methodology: In perspective of Kazakhstan’s construction industry. *Buildings* 2019; 9(5): 113.
- Igwe C., Hammad A., Nasiri F. Influence of lean construction wastes on the transformation-flow-value process of construction. *International Journal of Construction Management* 2020; 1–7.
- Innella F., Arashpour M., Bai Y. Lean methodologies and techniques for modular construction: Chronological and critical review. *Journal of Construction Engineering and Management* 2019; 145(12): 4019076.
- Khanh HD., Kim SY. Identifying causes for waste factors in high-rise building projects: A survey in Vietnam. *KSCE Journal of Civil Engineering* 2014; 18(4): 865–874.
- Khanzode A., Fischer M., Reed D., Ballard G. A guide to applying the principles of virtual design and construction (VDC) to the lean project delivery process. Stanford University. CIFE Center for Integrated Facility Engineering 2006.
- Koseoglu O., Sakin M., Arayici Y. Exploring the BIM and lean synergies in the Istanbul Grand Airport construction project. *Engineering, Construction and Architectural Management* 2018; 25(10): 1339–1354.
- Koskela L. Application of the new production philosophy to construction. Stanford: Stanford University 1992.
- Koskela L. An exploration towards a production theory and its application to construction. VTT-publications 2000; 408. Technical Research Centre of Finland.
- Kruskal WH., Wallis WA. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association* 1952; 47(260): 583–621.
- Li, L., Li, Z., Li, X., Wu G. A review of global lean construction during the past two decades: analysis and visualization. *Engineering, Construction and Architectural Management* 2019; 26(6): 1192–1216.
- Nunnally JC. Psychometric theory (2nd edition). New York: McGraw 1978.
- Ohno T. Toyota production system: Beyond large-scale production. Productivity Press 1988.

- Sacks R., Koskela L., Dave B. A., Owen R. Interaction of lean and building information modeling in construction. *Journal of Construction Engineering and Management* 2010; 136(9): 968–980.
- Schimanski CP., Marcher C., Monizza GP., Matt DT. The last planner® system and building information modeling in construction execution: From an integrative review to a conceptual model for integration. *Applied Sciences* 2020; 10(3): 821.
- Sepasgozar SME., Hui FKP., Shirowzhan S., Foroozanfar M., Yang L., Aye L. Lean practices using building information modeling (BIM) and digital twinning for sustainable construction. *Sustainability* 2021; 13(1): 161.
- Shapiro SS., Wilk MB. An analysis of variance test for normality (Complete samples). *Biometrika* 1965; 52(3/4): 591–611.
- Sun C., Jiang S., Skibniewski MJ., Man Q., Shen L. A literature review of the factors limiting the application of BIM in the construction industry. *Technological and Economic Development of Economy* 2017; 23(5): 764–779.
- Tezel A., Koskela L., Aziz Z. Lean thinking in the highways construction sector: motivation, implementation and barriers. *Production Planning and Control* 2018; 29(3): 247–269.
- Tzortzopoulos P., Koskela L., Kagioglou M. *Lean construction: Core concepts and new frontiers*. Routledge 2020.
- Xing W., Hao JL., Qian L., Tam VW., Sikora KS. Implementing lean construction techniques and management methods in Chinese projects: A case study in Suzhou, China. *Journal of Cleaner Production* 2021; 286: 124944.
- Yazici B., Yolacan S. A comparison of various tests of normality. *Journal of Statistical Computation and Simulation* 2007; 77(2): 175–183.
- Zhang X., Azhar S., Nadeem A., Khalfan M. Using building information modelling to achieve lean principles by improving efficiency of work teams. *International Journal of Construction Management* 2018; 18(4): 293–300.

## Düşük Frekanslarda Ag/ GO-NiO /p-Si/Al Yapısının Frekans ve Voltaja Bağlı Özellikleri

Halil ÖZERLİ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Düziçi Meslek Yüksek Okulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, Düziçi, Osmaniye, 80600, Türkiye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-7484-2962>

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

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 16.12.2022

Kabul tarihi: 26.03.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Metal Oksit Yarıiletken (MOS)

GO-NiO

Arayüzey tabakası

### ÖZ

Bu çalışmada, sol-jel yöntemi ile p-tipi silisyum (Si) üzerinde nikel oksit (NiO) katkılı grafen oksit (GO) ince film kaplanmıştır. Ag/GO-NiO/p-Si/Al Metal Oksit Yarıiletken (MOS) yapısının dielektrik özellikleri oda sıcaklığında ve karanlıkta, 10 kHz-50 kHz-100 kHz düşük frekans aralığında iletkenlik-voltaj ( $G/\omega$ -V) ölçümleri ve kapasitans-voltaj (C-V) ölçümlerinden yararlanılarak araştırılmıştır.  $G/\omega$ -V ölçümleri ve C-V ölçümlerinden elde edilen deneysel sonuçlardan, Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının seri dirençleri ( $R_s$ ) ve arayüzey durum yoğunlukları ( $N_{ss}$ ) hesaplanmıştır. Artan frekansla  $N_{ss}$  ve  $R_s$  değerlerinin azaldığı görülmüştür. Çıkan sonuçlara göre elde edilen Ag/GO-NiO/p-Si/Al yapısının diyot özelliği gösterdiği görülmüştür. Çıkan sonuçlar göz önüne alınarak Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının dielektrik parametreleri; dielektrik sabiti ( $\epsilon'$ ), dielektrik kaybı ( $\epsilon''$ ), kayıp tanjantı ( $\tan\delta$ ) ve alternatif akım (AC) elektrik iletkenliği ( $\sigma_{AC}$ ) hesaplanmıştır. Sonuçlara göre  $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$ ,  $\tan\delta$  ve  $\sigma_{AC}$  değerleri düşük frekanslarda artan frekansla azalmıştır. Elde edilen bulgular,  $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$ ,  $\tan\delta$  ve  $\sigma_{AC}$ 'nin frekansa bağlı olduğunu güçlü bir şekilde göstermiştir. Elde edilen sonuçların tamamı literatür çalışmalarıyla uyum içinde olduğu görülmüştür.

## Frequency and Voltage Dependent Properties of Ag/GO-NiO/p-Si/Al Structure at Low Frequencies

### Research Article

#### Article History:

Received: 16.12.2022

Accepted: 26.03.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Metal Oxide semiconductor (MOS)

GO-NiO

Interfacial layer

### ABSTRACT

In this study, nickel oxide (NiO) doped graphene oxide (GO) thin film was coated on p-type silisium (Si) by sol-gel method. The dielectric properties of Ag/GO-NiO/p-Si/Al Metal Oxide Semiconductor (MOS) structure were determined from conductivity-voltage ( $G/\omega$ -V) measurements and capacitance-voltage (C-V) measurements in the low frequency of 10 kHz-50 kHz-100 kHz at room temperature and in the dark. The interfacial state densities ( $N_{ss}$ ) and series resistances ( $R_s$ ) were investigated using of Ag/ GO-NiO /p-Si/Al MOS structure were calculated from the experimental results obtained from C-V measurements and  $G/\omega$ -V measurements. It has been observed that  $N_{ss}$  and  $R_s$  values decrease with increasing frequency. According to the results, it was seen that the Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS

structure produced showed diode properties. Besides, the dielectric parameters, dielectric constant ( $\epsilon'$ ), dielectric loss ( $\epsilon''$ ), loss tangent ( $\tan\delta$ ), and alternating current (AC) electrical conductivity ( $\sigma_{AC}$ ) values of the Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS structure were calculated. According to the results,  $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$ ,  $\tan\delta$  and  $\sigma_{AC}$  values decreased with the increment of frequency values at low frequencies. Experimental results showed that  $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$ ,  $\tan\delta$  and  $\sigma_{AC}$  were strongly dependent on frequency, and all of the results obtained were found to be in agreement with the literature studies.

---

**To Cite:** Özerli H. Düşük Frekanslarda Ag/ GO-NiO /p-Si/Al Yapısının Frekans ve Voltaja Bağlı Özellikleri. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 2034-2045.

## 1. Giriş

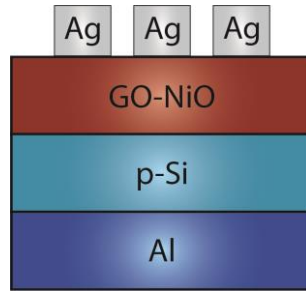
Teknolojinin her geçen gün hızla ilerlemesi ve insan popülasyonunun her gün artması günümüz sanayisini daha dayanıklı ve üstün özellikli malzemeler üretmeye yöneltmektedir. Son yıllarda keşfedilen grafen iki boyutlu malzeme olarak bilinmektedir. Ayrıca sahip olduğu üstün özelliklerden dolayı dikkatleri üzerine çekmektedir. Grafenin göstermiş olduğu yüksek elektrik iletkenliği, yüksek mekanik mukavemet ve geniş yüzey alanı gibi olağanüstü özellikleri sebebiyle bilim insanlarının ilgi odağı haline gelmiştir (Pumera 2010; Li ve ark., 2013). Ayrıca grafen, ultrakapasitör (Stoller ve ark., 2008) ve elektriksel olarak iletken esnek nanokompozit için filtreler olarak (Avouris ve ark., 2007) kullanımı gibi potansiyel uygulamaları sebebiyle dikkat çeken alternatif bir madde olmuştur. Grafenin mükemmel özellikleri ve teknolojilerde uygulama için umut verici potansiyeli, bu maddeyi bilimdeki en ideal malzemelerden biri haline gelmiştir. Ayrıca, grafen oksit (GO), son yıllarda grafene alternatif bir yol sağlayan yeni bir karbon bazlı nano ölçekli malzeme olarak ortaya çıkmıştır (Stankovi ve ark., 2006). Son zamanlarda elektronik cihazların performansları için nanokompozitler geliştirilmiştir. Özellikle GO bazlı nanokompozit, elektrikli cihazlarda yüksek elektrik/termal iletkenlik ve mükemmel fotoelektrik özellikler göstermiştir (Cao ve ark.,2015; Karteri ve ark., 2016). Son çalışmalarda, GO ve grafen bazlı nanokompozitlerin, SiC, GaAs ve Si gibi geleneksel yarı iletkenlerle MOS yapılarda ve benzer diyot yapılarında çalışıldığı görülmüştür (Tongay ve ark.,2012; Liu ve ark., 2012; Wageh ve ark., 2015).

Bu çalışmanın temel amacı Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının elektriksel ve dielektrik özelliklerini incelemektir. Bu amaçla Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısı, GO-NiO'nun p-Si üzerine döndürülerek kaplanması ve film üzerinde Ag'nin buharlaştırılmasıyla üretilmiştir. Ayrıca, bu çalışma sadece grafen tabanlı yeni bir MOS yapı formunu elde etmeyi değil, aynı zamanda düşük frekanslarda elektriksel ve dielektrik özelliklerini de açıklamak amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada öncelikle grafen yapısını sentezlemek için Modifiye Hummers metodu kullanılmıştır (Karteri ve ark., 2014). Grafen katkılı kompozitleri hazırlamak için ihtiyaç duyulan malzemelerden potasyum permanganat ( $KMnO_4$ ) ve sodyum nitrat ( $NaNO_3$ ) gibi kimyasallar ise Merck işletmesinden alınmış ve grafit tozu ( $<20 \mu m$ ), sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) ve hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) Sigma Aldrich

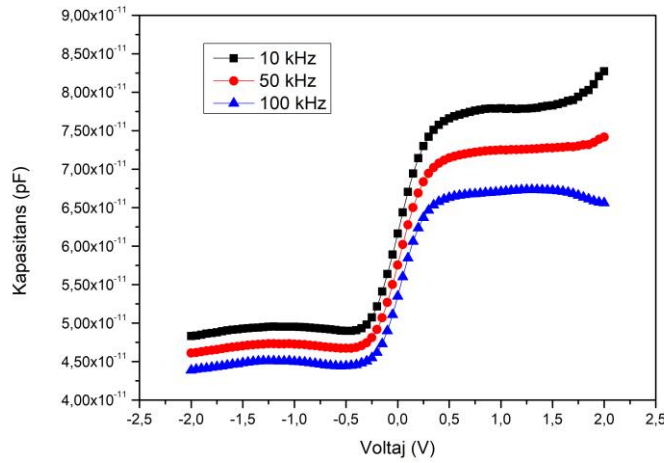
işletmesinden temin edilmiş. GO sentezinin ardından Nikel Oksit (NiO) –Grafen Oksit (GO) kompozitinin üretilmesine geçilmiştir. Kompoziti üretmek için gerekli olan Nickel (II) Nitrate Hexahydrate ( $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) tuzu Merck işletmesinden temin edilmiştir. Kompozit üretiminde birinci olarak 0,5 gr  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ve 0,5 gr GO farklı kaplarda 100 ml elektrik iyonlarından arınmış, nötr (deiyonize) suda 6 saat elektromanyetik karıştırıcıyla karıştırılmıştır. Bu işlemin ardından ortaya çıkan karışımlar birbiri içerisine eklenmiştir. Birbiri içerisine eklenen karışımlar 6 saat boyunca karıştırılmaya bırakılmıştır. Bu işlem sonrasında, karışım  $90^\circ\text{C}$  sıcaklıkta 12 saat süreyle karıştırılmıştır. Üretilen numuneler defalarca deiyonize suyla yıkanmış ve filtrelenmiştir. Filtreleme işleminin ardından numune oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kompozitin hazır edilmesinden sonra Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısını elde etmek için kaplama işlemine geçilmiştir. Kaplama işleminden bor katkılı (100) doğrultusunda genişletilmiş, 400  $\mu\text{m}$  kalınlığında ve 2-8  $\Omega\text{-cm}$  direncinde *p*-tipi silisyum (*p*-Si) alttaş olarak kullanılmıştır. Alttaş olarak kullanılacak olan silisyum (Si) pul üretilecek olan diyottan daha iyi sonuç almak için, organik ve mekanik kirlere arındırmak adına “Radio Corporation of America” (RCA) yöntemiyle (Michigan Üniversitesi,2021) kimyasal olarak temizlenmiştir (Özmen,2014). Temizlenen Si alttaşın alt yüzeyine omik kontak yapmak için %99,99 saflıktaki alüminyum (Al) termal buharlaştırma cihazı kullanılarak yüzeye buharlaştırılmıştır. Buharlaştırma işlemi, termal buharlaştırma cihazında  $2.1 \times 10^{-5}$ Torr basınç altında yapılmıştır. Omik kontak oluşturulduktan sonra Spin Coater (Döndürerek kaplama) cihazı GO-NiO kompozitini Si yüzeyine kaplamak için kullanılmıştır. 5 ml deiyonize suda önceden ürettiğimiz GO-NiO kompozitinden 0,02gr. olarak 80 dakika magnetik karıştırıcıda karıştırılarak çözelti haline getirilmiştir. Oluşturulan çözeltiyi Si alttaş üzerine spin coater cihazıyla döndürerek 3000 rpm hızında 30 saniye boyunca kaplanmıştır. Sonrasında Si alttaşı  $60^\circ\text{C}$ 'de 20 dakika sıcak yüzey üstünde tutularak kurutulmuş ve GO-NiO /*p*-Si/Al yapısı oluşturulmuştur. Bu işlem sonrasında da doğrultucu kontak yapmak için yüzeyine GO-NiO tabakası oluşturulmuş kısım, üzerine yüzey çapı 1 mm olan maske konulmuştur. Doğrultucu gümüş (Ag) kontak yaparken kaplama basıncı  $2.1 \times 10^{-5}$ Torr ayarlanmıştır ve termal buharlaştırma cihazı sayesinde kaplanmıştır. Bu işlem sonrasında doğrultucu kontak kısmı da yapılmıştır ve Ag/GO-NiO/*p*-Si/Al MOS yapısı elde edilmiştir. Ortaya çıkan MOS yapısının şeması Şekil 1’de verilmiştir.



**Şekil 1.** Ag/GO-NiO/*p*-Si/Al MOS yapısının şematik gösterimi

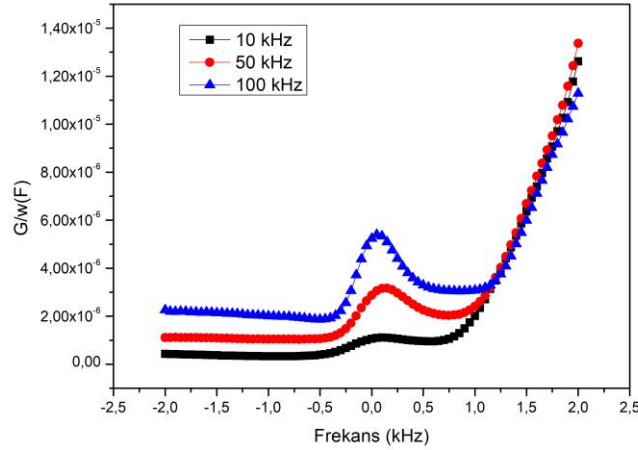
### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde elde ettiğimiz Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının elektriksel özelliklerini düşük frekanslarda araştırmak için, 10kHz-50kHz-100kHz frekanslarında iletkenlik-voltaj  $G/\omega$ -V ve kapasitans-voltaj C-V ölçümleri kullanılmıştır. C-V ölçümleri ST2826/A High Frequency LCR Meter cihazıyla, -2V' tan +2V' a arasında 0.1V'luk adımlarla ters ve doğru beslemde, 10 kHz-50 kHz-100kHz frekanslarında ölçümler yapılmıştır. Bu sayede,  $G/\omega$ -V ve C-V grafikleri elde edilmiştir. Bu şekilde diyotun oda sıcaklığında ara yüzey hallerine ve seri dirence etkilerini tanımlamak adına, grafiklerdeki güçlü yığılma bölgelerine denk gelen iletkenlik ve kapasitans verileri tespit edilmiştir. Deneysel  $G/\omega$ -V ve C-V ölçümlerinden yararlanılarak Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının bazı elektriksel özellikleri; seri direnç ve ara yüzey halleri gibi parametreleri hesaplanmıştır. MOS yapısının seri direnç ve ara yüzey hallerine etkilerini tetkik etmek için Şekil 2'de görüldüğü gibi MOS yapısının güçlü birikme yerine kadar C-V grafiği oda sıcaklığında yapılmıştır. Elde edilen ölçümlerde, genellikle birikim ve tükenim bölgelerinde kapasitans verileri frekansın artmasıyla azalma göstermiştir (Aras,2015). Bunun yanı sıra artan frekansla beraber iletkenliğinin de arttığı Şekil 3'te görülmektedir. Bu durum beklenen bir davranıştır (Karataş,2008).



Şekil 2. Oda sıcaklığında Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının 10 kHz-100 kHz frekans aralığındaki kapasitans-voltaj (C-V) grafiği





Şekil 3. Oda sıcaklığında Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının 10 kHz-100 kHz frekans aralığındaki iletkenlik-voltaj (G/w-V) grafiği

C-V ve G/ω-V grafiklerindeki güçlü birikme bölgesine denk gelen iletkenlik ve kapasitans değerleri, Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının, seri direnç ve ara yüzey hallerini oda sıcaklığında hesaplamak için belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler Denklem 1’de yerine yazılarak seri dirençler ( $R_s$ ) hesaplanmıştır.

$$R_s = \frac{\left(\frac{G_{ma}}{\omega C_{ma}}\right)^2}{\left[1 + \left(\frac{G_{ma}}{\omega C_{ma}}\right)\right] G_{ma}} \quad (1)$$

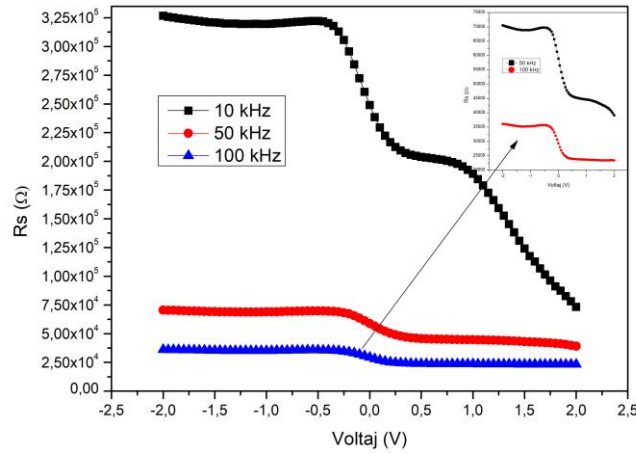
Burada  $G_{ma}$  ve  $C_{ma}$  kuvvetli birikim bölgesine karşılık gelen iletkenlik ve kapasitans değerleri ve  $\omega$  ise açısal frekans ( $2\pi f$ ) değeridir. Şekil 4’te Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının frekansa bağlı  $R_s$ -V grafiği görülmektedir. Şekilde de görüldüğü üzere artan frekansla  $R_s$  değerleri azalmıştır. Bu durum, doğru beslem altında kapasitansının azalmasından dolayı daha iyi iletim oluşması, seri direncin azalması, beklenen bir davranıştır. Aynı zamanda arayüzey durumlarının azaldığını da gösteren sonuçlardan birisidir (Aydemir,2009; Demirezen ve ark.,2012). Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının ara yüzey durumlarını hesaplamak için Hill-Coleman yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem Denklem 2’de verilmiştir.

$$N_{SS} = \frac{2}{qA} \frac{(G_m/\omega)_{max}}{((G_m/\omega)_{max} C_{ox})^2 + (1 - C_m/C_{ox})^2} \quad (2)$$

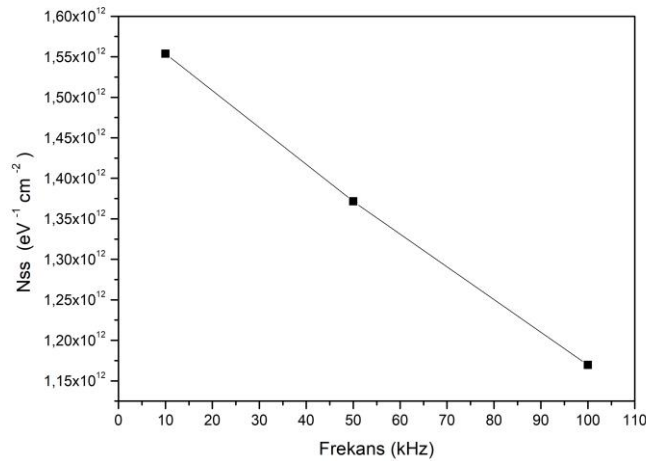
Yukarıda verilen denklemden A doğrultucu kontakın yüzey alanı, q elementer yük,  $\omega$  açısal frekans ( $2\pi f$ ),  $G_{max}$ , G/ω-V grafiğinde iletkenliğin maksimum olduğu noktadaki değeri,  $C_m$  iletkenliğin tepe değere denk gelen kapasitans değeridir ve  $C_{ox}$  yalıtkan tabakanın kapasitansıdır.  $C_{ox}$  Denklem 3’teki gibi (Nicollian ve ark.,1982) hesaplanmıştır;

$$C_{ox} = \frac{\epsilon_i \epsilon_0 A}{d_{ox}} = C_{ma} \left( 1 + \frac{G_{ma}^2}{\omega^2 C_{ma}^2} \right) \quad (3)$$

Aynı zamanda Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının  $N_{ss}$ -f grafiği Şekil 5'te verilmiş olup,  $N_{ss}$  değerleri artan frekansla azalmıştır.  $N_{ss}$  değerlerindeki azalmanın sebebi, yarıiletken ile arayüzey arasındaki bariyer yüksekliğinin azalması ve yük taşıyıcılarının yapı içindeki mobilitelerindeki artıştan kaynaklandığına atfedilmiştir (Karasu ve ark.,2016). Arayüz durumlarının bu mevcut davranışı literatüre uygundur (Karataş ve ark.,2010). Şekil 5'te  $N_{ss}$ -f grafiği verilmiştir.



Şekil 4.Oda sıcaklığında Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının 10 kHz-100 kHz frekans aralığındaki  $R_s$ -V grafiği



Şekil 5.Oda sıcaklığında Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının 10 kHz-100 kHz frekans aralığındaki  $N_{ss}$  – Frekans değişim grafiği

### 3.1. Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS Yapısının Frekansa Bağlı Dielektrik Özellikleri

Bu bölümde amacımız Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının dielektrik sabiti ( $\epsilon'$ ), dielektrik kayıp ( $\epsilon''$ ), kayıp açısı ( $\tan\delta$ ), ac elektriksel iletkenliği ( $\sigma_{AC}$ ) gibi dielektrik özelliklerinin frekansa bağlılığını oda

sıcaklığında ve 10 kHz-50 kHz-100 kHz frekanslarında incelemektir. Bu özellikler C-V ve G/ω-V ölçümlerinden faydalanılarak analiz edilmiştir.

Kompleks permitivite ( $\epsilon^*$ ) diyotun kalitesinin yani elektriksel ve dielektriksel özelliklerinin fiziksel tutumları hakkında bilgi vermek için kullanılır. Kompleks permitivite ( $\epsilon^*$ ) Denklem 4 'teki gibi tanımlanmıştır (Karataş,2008) .

$$\epsilon^*(\omega) = \epsilon'(\omega) - i\epsilon''(\omega) \quad (4)$$

Burada,  $\epsilon'$  (dielektrik sabiti) ve  $\epsilon''$  (dielektrik kayıp) sırasıyla kompleks permitivitenin gerçel ve hayali (sanal) kısımlarıdır.  $i = (-1)^{1/2}$  ve  $\omega$  açısal frekanstır ( $\omega=2\pi f$ ). Aynı zamanda  $\epsilon'$  depolanan enerjiyi,  $\epsilon''$  tüketilen enerjiyi göstermektedir. Farklı frekans değerlerinde  $\epsilon^*$ 'ın gerçel kısmını ( $\epsilon'$ ) kuvvetli yığılım bölgesinde ( $V>0$ ) hesaplamak için Denklem 5'ten yararlanılmıştır (Cheng,1989; Pissis ve ark.,1997).

$$\epsilon' = \frac{C_m}{C_0} \quad (5)$$

Burada  $C_0=(\epsilon_0 A/d_{ox})$ ; A, numunenin yüzey alanıdır,  $d_{ox}$ , arayüzey yalıtkan katman kalınlığıdır ve  $\epsilon_0$ , boş alan yükünün geçirgenliğidir ( $8,85 \times 10^{-14}$  F/cm) ve  $C_m$ , güçlü birikim bölgesinde ölçülen kapasitans değerleridir (Tataroğlu,2006; Yucedag ve ark.,2007).  $\epsilon^*$  'ın hayali (sanal) kısmı  $\epsilon''$  ise iletkenlik ölçümlerinden faydalanılarak Denklem 6'daki gibi belirlenmiştir (Chelkowski,1980).

$$\epsilon'' = \frac{G_m d_{ox}}{A \epsilon_0 \omega} \quad (6)$$

Burada  $G_m$ , cihazın iletkenliği ve  $\omega$  açısal frekanstır. Sanal kısım,  $\epsilon''=\epsilon' \tan \delta$  olarak ifade edilir. Böylece, kayıp tanjant ( $\tan \delta$ ) Denklem 7'deki gibi ifade edilebilir;

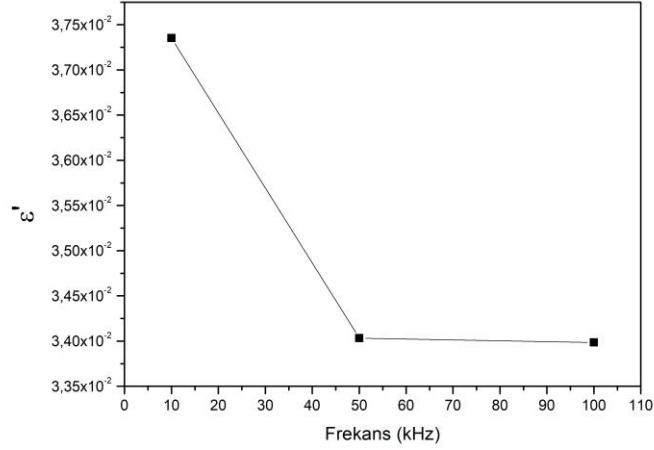
$$\tan \delta = \epsilon''/\epsilon' \quad (7)$$

Ayrıca AC elektriksel iletkenliği  $\sigma_{AC}$  üretilen MOS yapısı hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlayan önemli parametrelerden biridir.  $\sigma_{AC}$  elektriksel iletkenlik dağılımı Denklem 8'deki gibi hesaplanmıştır.

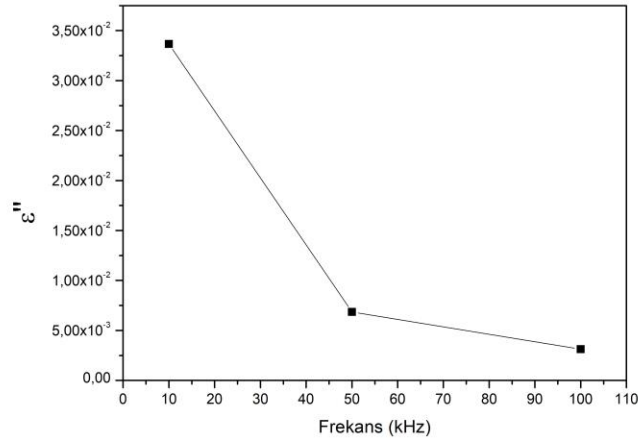
$$\sigma_{AC}(\omega) = \omega \epsilon_0 \epsilon' \tan \delta \quad (8)$$

Denklem 7'de görüldüğü gibi  $\tan \delta$ ,  $\epsilon''$  ve  $\epsilon'$  değerlerine bağlıdır. Dolayısı ile  $\tan \delta$  de meydana gelen değişimleri etkileyen durum,  $\epsilon''$  ve  $\epsilon'$  değerlerindeki değişimlerdir. Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de sırasıyla  $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$  ve  $\tan \delta$ 'nın frekansla ilintili değişim grafikleri gösterilmiştir. Her üç şekilde de görüldüğü gibi artan frekansla birlikte  $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$  ve  $\tan \delta$  değerlerinde azalma görülmüştür. Düşük frekanslı bölgelerdeki dielektrik özelliklerdeki ( $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$ ,  $\tan \delta$ ) artış, arayüzey polarizasyon mekanizmasının

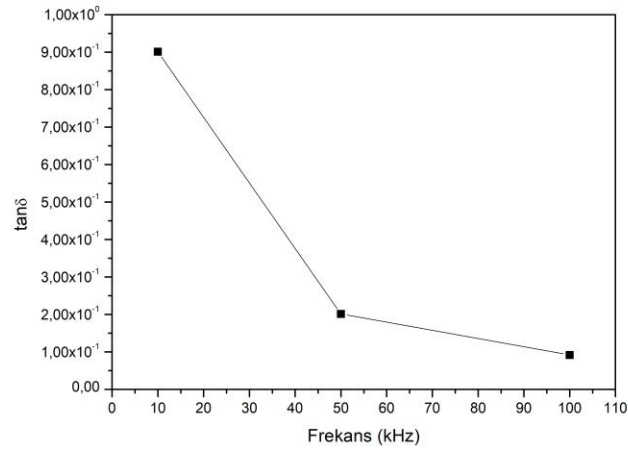
varlığına bağlanabilir ve düşük frekanslarda etkili olabilir (Rajaseker ve ark.,2006; Yucedag ve ark.,2007). Şekil 9’da AC elektriksel iletkenliği  $\sigma_{AC}$ -frekans grafiği verilmiştir. Şekil 9’daki grafikte görüldüğü üzere  $\sigma_{AC}$  artan frekansla önce artıp sonra azaldığı görülmüştür. Bu davranış düşük frekanslarda beklenen bir durumdur. Bu durum literatürde çoğu kez gözlenmiştir (Moon ve ark.,2000; Jiwei ve ark.,2001).



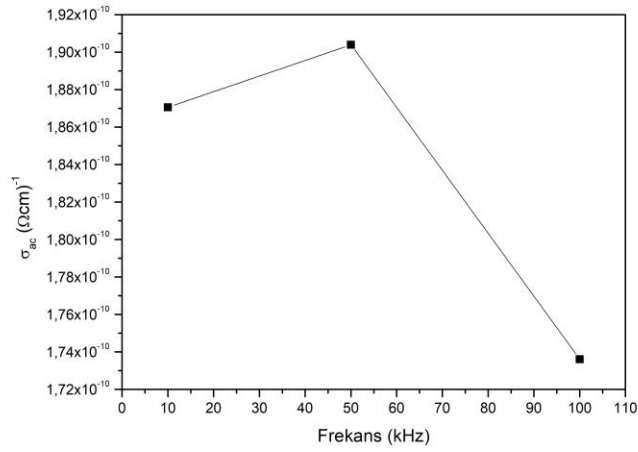
**Şekil 6.**Oda sıcaklığında Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının 10 kHz-100 kHz frekans aralığındaki dielektrik sabit ( $\epsilon'$ ) değişim grafiği



**Şekil 7.** Oda sıcaklığında Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının 10 kHz-100 kHz frekans aralığındaki dielektrik kayıp ( $\epsilon''$ ) değişim grafiği



**Şekil 8.** Oda sıcaklığında Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının 10 kHz-100 kHz frekans aralığındaki kayıp açısı (tanδ) değişim grafiği



**Şekil 9.** Oda sıcaklığında Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının 10 kHz-100 kHz frekans aralığındaki ac elektriksel iletkenliği (σ<sub>AC</sub>) değişim grafiği

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının 10 kHz- 50 kHz- 100 kHz düşük frekans aralığında ve oda sıcaklığında, iletkenlik-gerilim ( $G/\omega-V$ ) ve kapasitans-gerilim ( $C-V$ ) ölçümlerinden faydalanılarak elektriksel ve dielektrik özelliklerinin frekansa bağlılığını araştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, artan frekansla  $C-V$  eğrilerinde kapasitans değerlerinin düştüğü gözlenmiştir. Bunun tam zıttına  $G/\omega-V$  eğrilerinde artan frekansla iletkenliğin arttığı gözlenmiştir. Bu durum artan frekansla seri direncin azalması anlamına gelir. Seri direnç-voltaj ( $R_s-V$ ) eğrilerinin de artan frekansla azaldığı görülmüştür. Bu durumlar, doğru beslem altında kapasitansın azalmasından dolayı daha iyi iletim oluşması, seri direncin düşmesi, olası bir durumdur. Tüm bu sayılanlar da ara yüzey durumlarının ( $N_{ss}$ ) azaldığında gösteren sonuçlardan biridir.

Ayrıca çalışmada, Ag/GO-NiO/p-Si/Al MOS yapısının  $G/\omega-V$  ve  $C-V$  ölçümlerinden faydalanılarak dielektrik sabiti ( $\epsilon'$ ), dielektrik kayıp ( $\epsilon''$ ), kayıp açısı ( $\tan\delta$ ), ac elektriksel iletkenliği ( $\sigma_{AC}$ ) gibi dielektrik özelliklerinin frekansa bağlılığını oda sıcaklığında ve 10 kHz-50 kHz-100 kHz frekans aralığında incelenmiştir.

Artan frekansla  $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$  ve  $\tan\delta$  değerlerinin azaldığı görülmüştür. Bu davranış arayüzey polarizasyon mekanizmasının varlığına bağlanabilir ve düşük frekanslarda etkili olabilir.  $\sigma_{AC}$  ergilerinde görüldüğü üzere,  $\sigma_{AC}$  değerlerinin artan frekansla önce artıp sonra azaldığı görülmektedir. Bu davranış düşük frekanslarda olası bir durumdur. Bu durum literatürde çoğu kez gözlenmiştir.

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

Yazar makaleye %100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

### **Kaynakça:**

- Aras FG. Al/Poly(Methyl Methacrylate)/P-Si organik schottky diyotların üretimi, elektrik ve dielektrik özelliklerinin incelenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi. Sayfa no: 69,Erzurum,Türkiye, 2015.
- Avouris P., Chen Z., Perebeinos V. Carbon-based electronics. Nature Nanotechnology 2007; 2(10): 605–615.
- Aydemir U. Au/SrTiO<sub>3</sub>/n-Si (Mfs) Schottky diyotların elektriksel parametrelerinin I-V, C-V ve Dlts metodu ile incelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans tezi. Sayfa no:23 ,Ankara,Türkiye 2009.
- Cao P., Wang L., Xu Y., Fu Y., Ma X. Facile hydrothermal synthesis of mesoporous nickel oxide/reduced graphene oxide composites for high performance electrochemical supercapacitor. Electrochimica Acta 2015; 157: 359-368.
- Cheng D. Field and wave electromagnetics. 2nd ed. NewYork: Addison-Wesley; 1989.
- Chelkowski A. Dielectric physics. 6th ed.Amsterdam: Elsevier; 1980.
- Demirezen S., Sönmez Z., Aydemir U., Altındal Ş. Effect of series resistance and interface states on the  $I-V$ ,  $C-V$  and  $G/\omega-V$  characteristics in Au/Bi-doped polyvinyl alcohol (PVA)/n-Si Schottky barrier diodes at room temperature.Current Applied Physics 2012; 12(1): 266-272.
- Jiwei Z., Xi Y., Mingzhong W., Liangying Z. Preparation and microwave characterization of PbTiO<sub>3</sub> ceramic and powder. Journal of Physics 2001; 34(9): 1413.
- Karataş Ş. Studies on electrical and the dielectric properties in MS structures. Journal of non-crystalline solids 2008; 354(30): 3606-3611.
- Karataş Ş., Türüt A. The frequency-dependent electrical characteristics of interfaces in the Sn/p-Si

- metal semiconductor structures. *Microelectronics Reliability* 2010; 50(3): 351-355.
- Karasu S., Öztürk A., Şağban HM., Özmen ÖT. Au/P3HT: PCBM/n-Si Schottky bariyer diyotlarda PCBM konsantrasyonunun kapasitans-voltaj (CV) ve iletkenlik-voltaj (G/wV) karakteristiklerine etkisi ve dielektrik özelliklerin incelemesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2016; 4(1): 55-66.
- Karteri I., Karataş Ş., Yakuphanoglu F. Photosensing properties of pentacene thin film transistor with solution-processed silicon dioxide/graphene oxide bilayer insulators. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 2016; 27(5): 5284-5293.
- Karteri I., Karataş Ş., Yakuphanoglu F. Electrical characterization of graphene oxide and organic dielectric layers based on thin film transistor. *Applied Surface Science* 2014; 318: 74-78.
- Li W., Bu Y., Jin H., Wang J., Zhang W., Wang S. The preparation of hierarchical flowerlike NiO/reduced graphene oxide composites for high performance supercapacitor applications. *Energy & Fuels* 2013; 27(10): 6304-6310.
- Liu J., Xue Y., Gao Y., Yu D., Durstock M., Dai L. Hole and electron extraction layers based on graphene oxide derivatives for high-performance bulk heterojunction. *Advanced Materials* 2012; 24(17): 2228-2233.
- Michigan Üniversitesi. RCA Clean. LNF Wiki, 9.02.2021, Erişim Adresi: [https://inf-wiki.eecs.umich.edu/wiki/RCA\\_Clean](https://inf-wiki.eecs.umich.edu/wiki/RCA_Clean), Erişim Tarihi, 25.01.2023
- Moon KS., Choi HD., Lee AK., Cho KY., Yoon HG., Suh KS. Dielectric properties of epoxy-dielectrics-carbon black composite for phantom materials at radio frequencies. *Journal of Applied Polymer Science* 2000; 77(6): 1294-1302.
- Nicollian EH., Brews JR. *Metal oxide semiconductor physics and technology*. New York: Wiley; 1982.
- Tongay S., Lemaitre M., Miao X., Gila B., Appleton BR., Hebard AF. Rectification at graphene-semiconductor interfaces: zero-gap semiconductor-based diodes. *Physical Review X* 2012; 2(1): 011002.
- Özmen ÖT. Effects of PCBM concentration on the electrical properties of the Au/P3HT:PCBM/n-Si (MPS) Schottky barrier diodes. *Microelectronics Reliability* 2014; 54(12): 2766-2774.
- Pissis P., Kyritsis A. Electrical conductivity studies in hydrogels. *Solid State Ionics* 1997; 97(1-4): 105-113.
- Pumera M. Graphene-based nanomaterials and their electrochemistry. *Chemical Society Reviews* 2010; 39(11): 4146-4157.
- Rajaseker K., Subbarayan A. Sathyamoorthy R. AC and dielectric properties of thermally evaporated p-type (Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>)<sub>70</sub> (Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>)<sub>30</sub> thin films. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 2006; 90(15): 2515-2522.
- Stankovi S., Dmitriy AD., Dommet HBG., Kohlhaas KM., Zimney EJ., Stach EA., Piner RD., SonBinh TN., Ruoff RS. Graphene-based composite materials. *Nature* 2006; 442(7100): 282–286.

- Stoller MD., Park SY., Zhu RS. Graphene-based ultracapacitors. *Nano Letters* 2008; 8(10): 3498–3502.
- Tataroğlu A. Electrical and dielectric properties of MIS Schottky diodes at low temperatures. *Microelectronic Engineering* 2006; 83(11-12): 2551-2557.
- Wageh S., Al-Ghamdi AA., Al-Turki Y., Dere A., Tjong SC., El-Tantawy F., Yakuphanoglu F. Electrical and photoresponse properties of Au/ reduced graphene:poly(3-hexylthiophene) nanocomposite /p-Si photodiodes. *Optical and Quantum Electronics* 2015; 47(7): 1779-1789.
- Yucedag I., Altındal S., Tataroğlu A. On the profile of frequency dependent series resistance and dielectric constant in MIS structure. *Microelectronic Engineering* 2007; 84(1): 180-186.



## Bioprocesses Modeling of Acidolysis and Redoxolysis Activities of $[Fe^{+3}]$ and $[Fe^{+2}]$ Iron by *Saccharomyces cerevisiae* and *Acetobacter aceti*

Yakup ERMURAT<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Bolu Abant İzzet Baysal University, Department of Chemical Engineering, Engineering Faculty, Bolu, Türkiye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-0159-5283>

\*Corresponding author: yakupermurat@ibu.edu.tr

### Research Article

#### Article History:

Received: 06.06.2022

Accepted: 27.03.2023

Published online:04.12.2023

#### Keywords:

Bioprocess modeling  
Ferric and ferrous iron  
*Saccharomyces cerevisiae*  
*Acetobacter aceti*  
Acidolysis and redoxolysis

### ABSTRACT

The acidolysis and redoxolysis reactions regulate the oxidation and reduction of ferric  $[Fe^{+3}]$  and ferrous iron  $[Fe^{+2}]$  which are vital for living organisms. Bioprocesses modeling of the acidolysis along with redoxolysis activities of ferric to ferrous iron ratio  $\left[\frac{Fe^{+3}}{Fe^{+2}}\right]$  by *Saccharomyces cerevisiae* and *Acetobacter aceti* was studied. The bioprocess experiments were carried out for eight weeks at different temperatures as 25°C, 30°C and 35°C. Glucose, ascorbic acid, acetic acid, ethyl alcohol and vinegar were used in cultivation media as substrate and acidic purposes. The  $\left[\frac{Fe^{+3}}{Fe^{+2}}\right]$  ratios were determined from pH and Nernst equation, and the modeling of the bioprocesses was accomplished by employing the specific iron utilization rate  $[q_{Fe^{+2}}]$  from Michaelis-Menten equation. The oxidation results of  $[Fe^{+2}]$  ions were found noticeable at 35°C in the microbial environment.

## $[Fe^{+3}]$ ve $[Fe^{+2}]$ Demirin Asidoliz ve Redoksoliz Aktivitelerinin *Saccharomyces Cerevisiae* ve *Acetobacter Aceti* ile Biyoproses Modellemesi

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 06.06.2022

Kabul tarihi:27.03.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Biyoproses modelleme  
Ferrik ve ferröz demir  
*Saccharomyces cerevisiae*  
*Acetobacter aceti*  
Asidoliz ve redoksoliz

### ÖZ

Asidoliz ve redoksoliz reaksiyonları, canlı organizmalar için hayati önem taşıyan ferrik  $[Fe^{+3}]$  ve ferröz demirin  $[Fe^{+2}]$  oksidasyonunu ve indirgenmesini düzenler. *Saccharomyces cerevisiae* ve *Acetobacter aceti* tarafından ferrikten ferros demire oranı  $\left[\frac{Fe^{+3}}{Fe^{+2}}\right]$  redoksoliz aktiviteleri ile birlikte asidolizin biyoproses modellemesi incelenmiştir. Biyoproses deneyleri, sekiz hafta boyunca 25°C, 30°C ve 35°C farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. İnkübasyon ortamında substrat ve asidik amaçlarla glukoz, askorbik asit, asetik asit, etil alkol ve sirke kullanılmıştır.  $\left[\frac{Fe^{+3}}{Fe^{+2}}\right]$  oranları pH ve Nernst denklemlerinden belirlenmiş ve biyoproseslerin modellenmesi Michaelis-Menten denkleminde spesifik demir kullanım oranı  $[q_{Fe^{+2}}]$  kullanılarak yapılmıştır.  $[Fe^{+2}]$  iyonların oksidasyon sonucu, mikrobiyal ortamda 35°C'de fark edilebilir bulunmuştur.

**To Cite:** Ermurat Y. Bioprocesses modeling of acidolysis and redoxolysis activities of  $[Fe^{+3}]$  and  $[Fe^{+2}]$  iron by *Saccharomyces cerevisiae* and *Acetobacter aceti*. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 2046-2062.

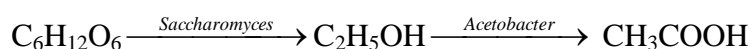
## 1. Introduction

The bioprocesses of reduction, solubility, absorption, and uptake of the ferric [ $Fe^{+3}$ ] and ferrous [ $Fe^{+2}$ ] iron ion minerals straight dependent on the acidolysis and redoxolysis reactions, which are vital for living organisms. The gastric acid lowers the pH in the stomach, and [ $Fe^{+2}$ ] is oxidized to the insoluble [ $Fe^{+3}$ ] form and resulting anemia or iron overloads in disorderly cases. The nutrition such as dietary glucose and ascorbic acid (vitamin C) can stimulate reduction, solubilization, absorption and uptake of [ $Fe^{+3}$ ] ions. The nutrition sourced iron is primarily in the insoluble [ $Fe^{+3}$ ] state, so must be reduced to the [ $Fe^{+2}$ ] state for absorption. There is microbial reduction of iron mechanism from the insoluble [ $Fe^{+3}$ ] to the soluble [ $Fe^{+2}$ ] form in yeasts (Yiannikourides and Latunde-Dada, 2019; Abbaspour et al., 2014; Sukru et al., 2014).

*S. cerevisiae* is amongst the massively used industrial microorganisms for single-cell protein and alcohol productions, and *A. aceti* is considered to be the major producer of organic acid, acetic acid, the main component of vinegar (Askwith et al., 1996; Pas et al., 2007; Peter and Goranovič, 2008).

Consequence of the preliminary literature searches for employing of *S. cerevisiae* and of *A. aceti* as bioprocess microorganisms has led to design experimental set up in cooperation with symbiotic relations of *S. cerevisiae* with the company of *A. aceti*. The key inspiring idea to design and prepare *S. cerevisiae* and *A. aceti* microbial cultures was based on the symbiotic relations between the employed microorganisms and the substrate mixtures which are employed in conjunction with microbial bioprocess studies. The point of the experimental set up *S. cerevisiae* and *A. aceti* incubation process was to have *S. cerevisiae* produce ethyl alcohol ( $C_2H_5OH$ ) from glucose ( $C_6H_{12}O_6$ ), and in nature to have *A. aceti* produce acetic acid ( $CH_3COOH$ ) from the produced alcohol. *A. aceti* maintains a proton [ $H^+$ ] motivating force for production of  $CH_3COOH$  in microbial system (Matsushita et al., 2005).

Symbiotic work between *S. cerevisiae* and *A. aceti* and glucose conversion to alcohol ending acetic acid:



The acidolysis and redoxolysis studies as part of the [ $H^+$ ] and the dissolved [ $Fe^{+3}$ ] researches included pH and Oxidation Reduction Potential (ORP) analysis. The main chemical reactions, acidolysis and redoxolysis reactions are frequently used for monitoring the biochemical processes. Microorganisms supply [ $H^+$ ] and [ $Fe^{+3}$ ] ions by acidolysis and redoxolysis reactions in the bioprocess. The protons reduce the pH of the bioprocess media and [ $Fe^{+3}$ ] ions produce ORP proportion with [ $Fe^{+3}$ ] in mV unit. ORP (mV) is the strong function of pH as well as mineral ion concentrations. In most bioprocesses, the ORP increases with decrease of pH values. Surveys of pH and ORP measurements in biooxidation process studies have confirmed that the low pH and high ORP

observations are favorable to  $[Fe^{+3}]$  and  $[Fe^{+2}]$  iron included bioprocess efficiency (Plumb et al., 2008).

Biooxidation of  $[Fe^{+3}]$  and  $[Fe^{+2}]$  ions involves primary acidic reactions, so that the bioprocess studies have been accomplished by employing acidophilic microorganisms that provide protons  $[H^+]$  and  $[Fe^{+3}]$  to reach sufficient ORP level. The biochemistry and electrochemistry of the iron minerals have been studied and significant progresses were developed to understand the modeling the mechanisms of the  $[Fe^{+3}]$  and  $[Fe^{+2}]$  iron bioprocess practices (Ojumu et al., 2009).

Biooxidation process of  $[Fe^{+3}]$  and  $[Fe^{+2}]$  iron includes acidolysis and redoxolysis reactions where  $[Fe^{+3}]$  is generated through the chemical and biooxidation of  $[Fe^{+2}]$  by proton production. The observed pH and ORP changes by time can be used for the extracting polynomial equations which can be after derivation, applied to pH and Nernst equations to get the  $\left[ \frac{Fe^{+3}}{Fe^{+2}} \right]$  ratios that were used in

Michaelis-Menten type growth equation to model the bioprocess. Integration of the derivative equations can be used to get the predictive  $\left[ \frac{Fe^{+3}}{Fe^{+2}} \right]$  ratio and the specific growth rate,  $q_{Fe^{+2}}$  according to the modeling methods used in previous studies (Boon and Heijnen 1998, Ermurat 2013).

## 2. Materials and Methods

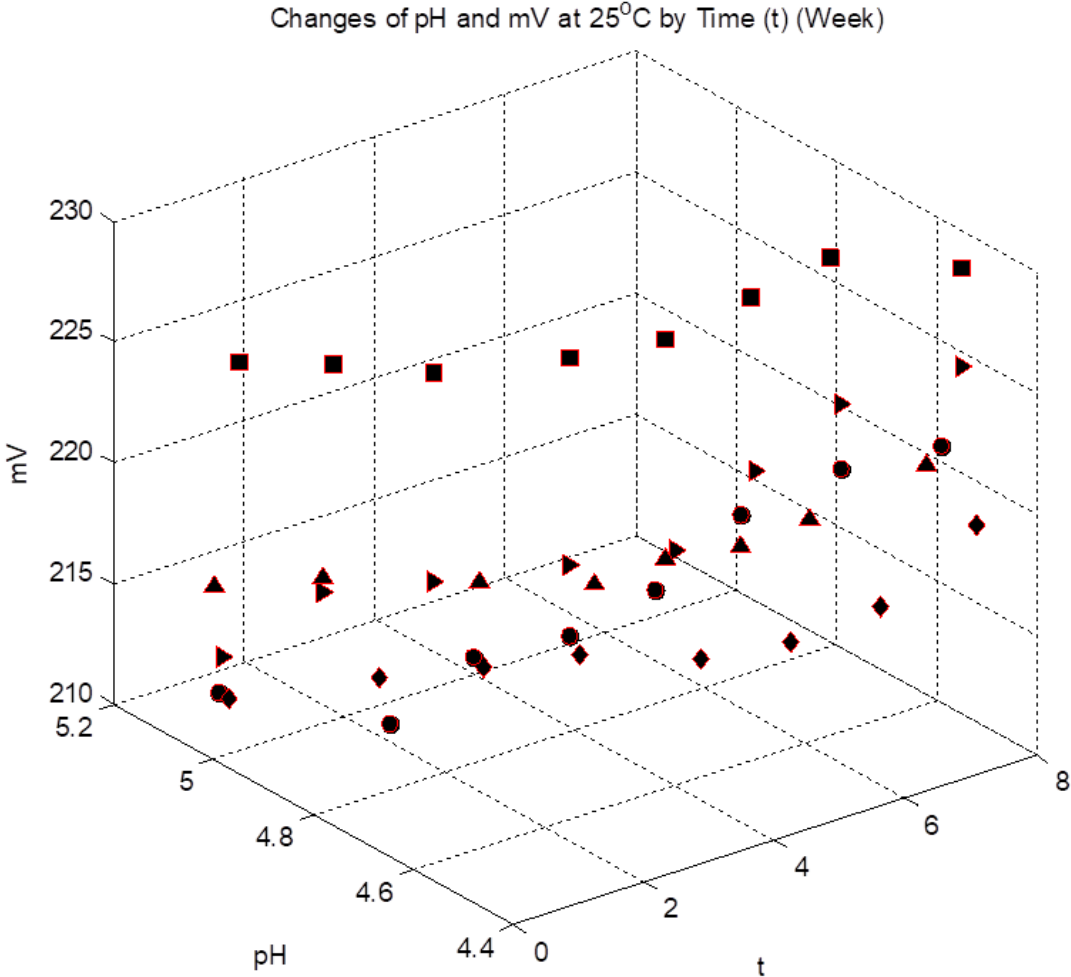
*S. cerevisiae* of commercial baker's yeast and *A. aceti* of traditional vinegar strains were used for the cultivations. The  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  and  $FeCl_3$  were used to prepare  $\left[ \frac{Fe^{+3}}{Fe^{+2}} \right]$  mineral iron solutions in the bioprocess experiments. Besides the mineral iron solutions, ascorbic acid (vitamin C), acetic acid, ethyl alcohol, glucose and vinegar, and controlled amount of corn steeping liquor and grape and apple syrups were used as substrates for incubation, which were carried out for eight weeks at different temperatures as 25°C, 30°C and 35°C in batch type liquid state bioreactor in an incubator. Experimental combination set up of pH and mV determinations for  $\left[ \frac{Fe^{+3}}{Fe^{+2}} \right]$  bioprocess prepared as follows:

- ▶ Glucose+Ascorbic acid+Alcohol+Vinegar+Acetic acid
- ◀ Glucose+Ascorbic acid+*S. cerevisiae*+Acetic aceti
- ▲ Glucose+Ascorbic acid+Alcohol+*S. cerevisiae*+*A. aceti*
- Glucose+Ascorbic acid+Vinegar+ Acetic acid+*S. cerevisiae*+*A. aceti*
- ▼ Glucose+Ascorbic acid+Alcohol+Vinegar+ Acetic acid+*S. cerevisiae*+*A. Aceti*

The pH and mV measurements were performed during eight weeks incubation. Matrix laboratory (MATLAB) software was used for calculation and plotting.

**3. Results**

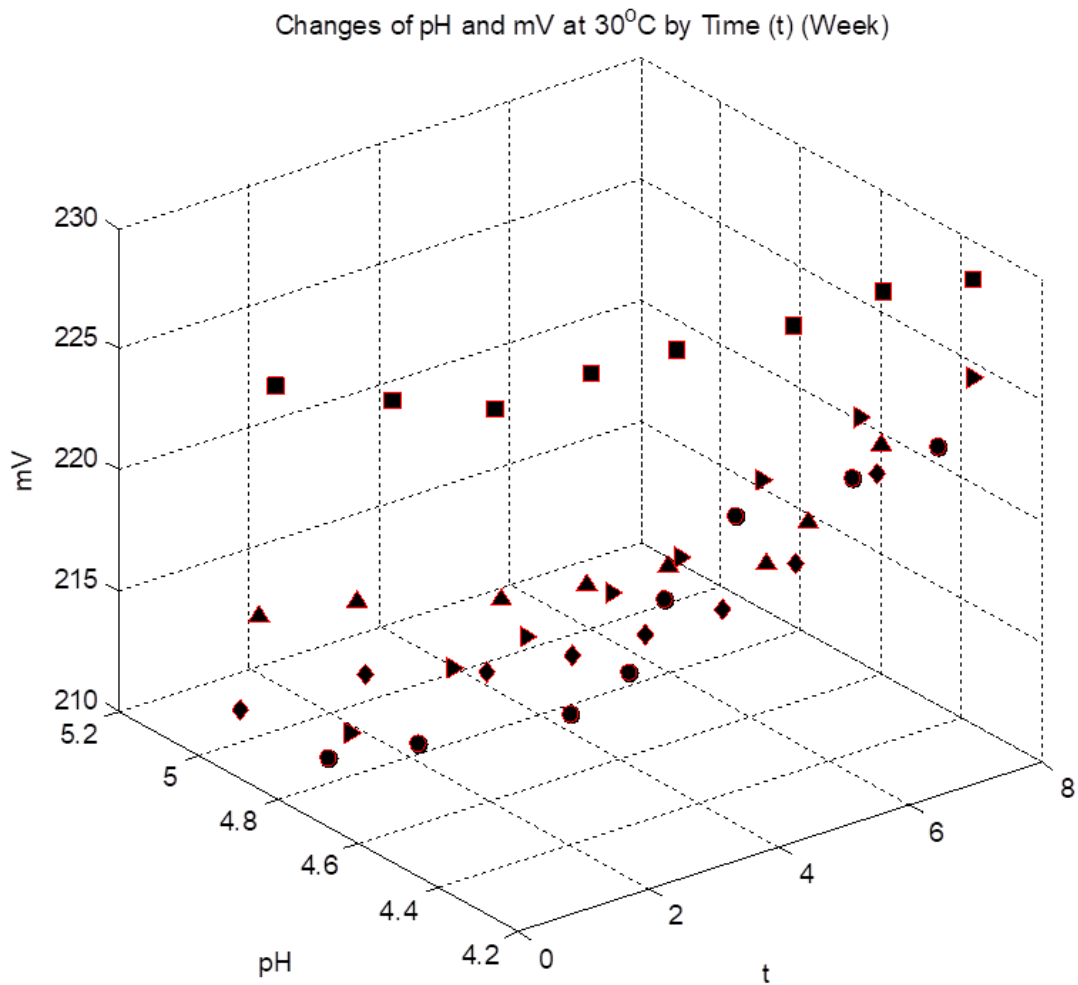
The observational results of pH and mV vs. time were graphed to get polynomial equations and their derivatives, which were equalized to the derivatives of Nernst equation and adjusted in Michaelis-Menten model. The derivatives were integrated back to estimate  $\left[ \frac{Fe^{+3}}{Fe^{+2}} \right]$  ratio and the specific growth rate ( $q_{Fe^{+2}}$ ). Figures 1-3 present the plots of pH and mV, and tables 1-3 present the polynomial equations for pH and mV changes by time (week) at 25°C, 30°C and 35°C respectively.



**Figure 1.** Changes of pH and mV by time (week) at 25°C

**Table 1.** The polynomial equations for pH and mV changes by time (week) at 25°C

Glucose+Ascorbic acid+Alcohol+Vinegar+Acetic acid	
pH	$y=0.00399x^2-0.115x+5.23$
mV	$y=-0.21x^2+4.22x+207$
Glucose+Ascorbic acid+S. cerevisiae+Acetic aceti	
pH	$y=0.00631x^2-0.0135x+5.21$
mV	$y=-0.00714x^2+1.27x+205$
Glucose+Ascorbic acid+Alcohol+S. cerevisiae+A. aceti	
pH	$y=0.0101x^2-0.157x+5.28$
mV	$y=-0.0333x^2+1.51x+204$
Glucose+Ascorbic acid+Vinegar+ Acetic acid+S. cerevisiae+A. aceti	
pH	$y=0.005x^2-0.11x+5.17$
mV	$y=-0.00893x^2+1.07x+215$
Glucose+Ascorbic acid+Alcohol+Vinegar+ Acetic acid+S. cerevisiae+A. Aceti	
pH	$y=0.00196x^2-0.0914x+5.18$
mV	$y = 0.0292 x^2 + 0.529x + 217$



**Figure 2.** Changes of pH and mV by time (week) at 30°C

**Table 2.** The polynomial equations for pH and mV changes by time (week) at 30°C

Glucose+Ascorbic acid+Alcohol+Vinegar+ Acetic acid

pH  $y = -0.00381x^2 + 0.0155x + 4.77$

mV  $y = 0.0952x^2 + 0.812x + 212$

Glucose+Ascorbic acid+S. cerevisiae+A. aceti

pH  $y = 0.0109x^2 - 0.155x + 5.18$

mV  $y = 0.0905x^2 + 0.0167x + 211$

Glucose+Ascorbic acid+Alcohol+S. cerevisiae+A. aceti

pH  $y = 0.014x^2 - 0.185x + 5.2$

mV  $y = 0.0411x^2 + 0.141x + 215$

Glucose+Ascorbic acid+Vinegar+ Acetic acid+S. cerevisiae+A. aceti

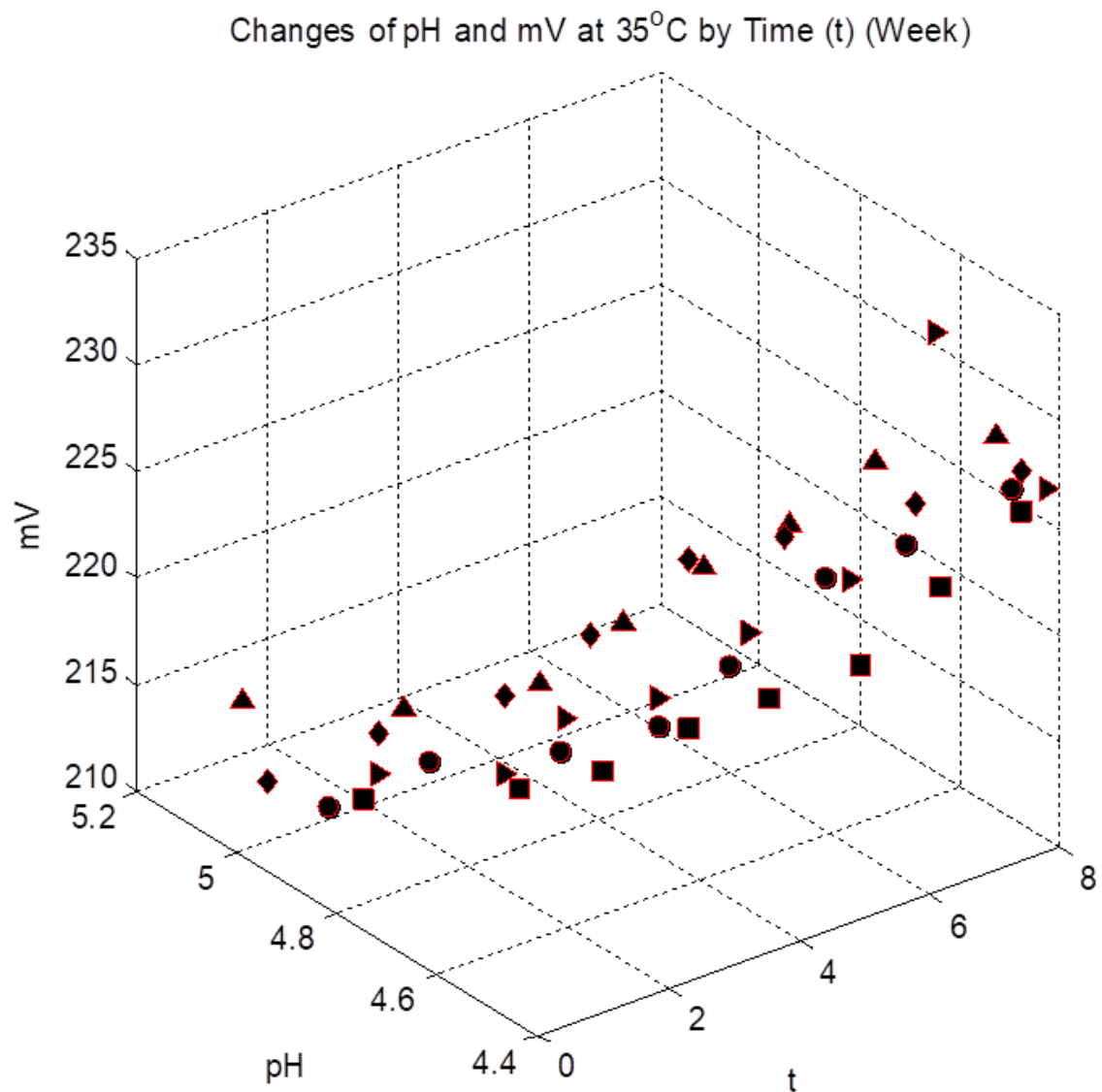
pH  $y = 0.00381x^2 - 0.0783x + 4.88$

mV  $y = 0.0607x^2 + 1.03x + 209$

Glucose+Ascorbic acid+Alcohol+Vinegar+ Acetic acid+S. cerevisiae+A. Aceti

pH  $y = 0.00286x^2 - 0.11x + 5.06$

mV  $y = 0.0208x^2 + 1.139x + 211$



**Figure 3.** Changes of pH and mV by time (week) at 35°C

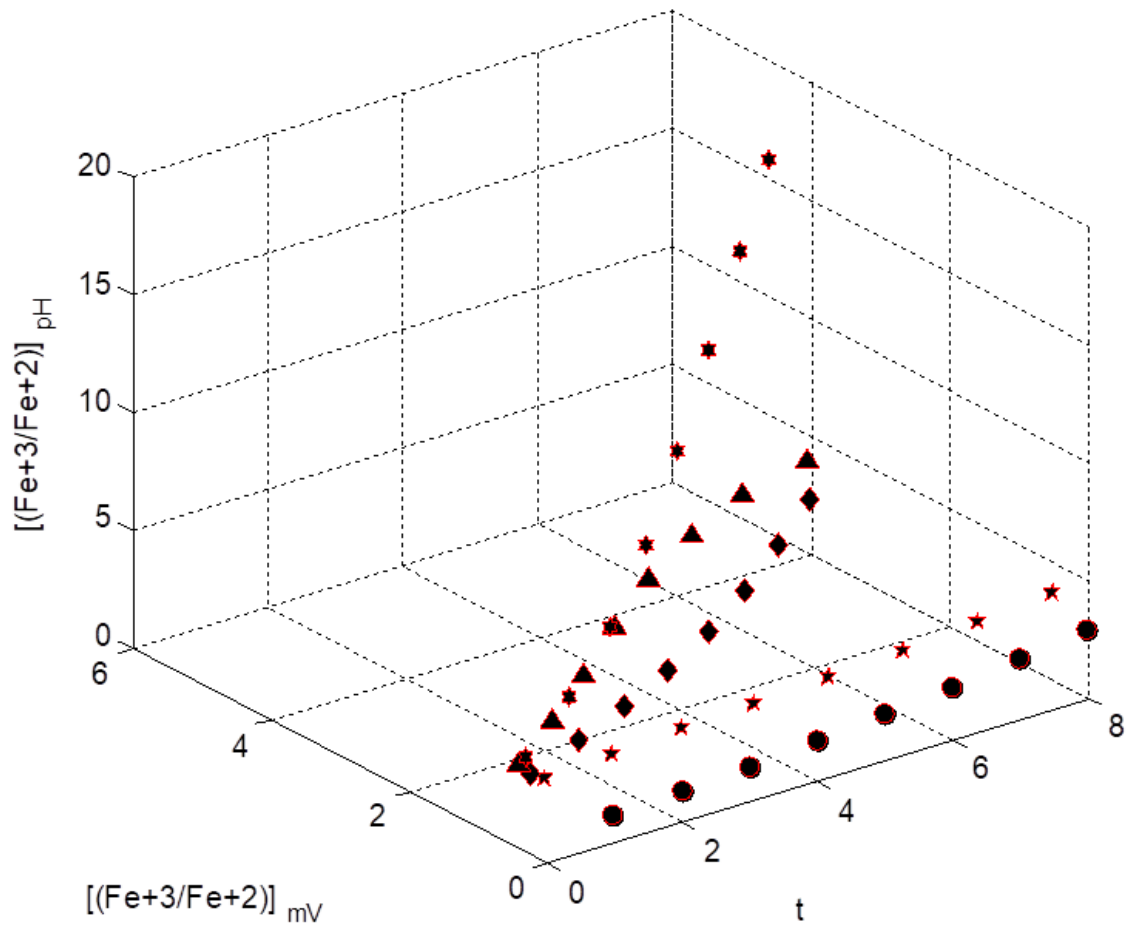
**Table 3.** The polynomial equations and their derivatives for pH changes by time (week) at 35°C

Glucose+Ascorbic acid+Alcohol+Vinegar+Acetic acid	
pH	$y = -0.00143x^2 - 0.0417x + 4.87$
mV	$y = 0.0863x^2 + 0.848x + 213$
Glucose+Ascorbic acid+S. cerevisiae+Acetic aceti	
pH	$y = -0.000655x^2 - 0.0752x + 5.13$
mV	$y = -0.0869x^2 + 3.02x + 208$
Glucose+Ascorbic acid+Alcohol+S. cerevisiae+A. aceti	
pH	$y = 0.0181x^2 - 0.144x + 5.21$
mV	$y = 0.00714x^2 + 1.87x + 212$
Glucose+Ascorbic acid+Vinegar+ Acetic acid+S. cerevisiae+A. aceti	
pH	$y = 0.00464x^2 - 0.102x + 5.04$
mV	$y = 0.0899x^2 + 1.14x + 211$
Glucose+Ascorbic acid+Alcohol+Vinegar+ Acetic acid+S. cerevisiae+A. Aceti	
pH	$y = 0.00643x^2 - 0.107x + 4.94$
mV	$y = 0.158x^2 + 0.798x + 214$

Figures 4-6 show the plots of changes of  $\left[ \frac{Fe^{+3}}{Fe^{+2}} \right]_{pH}$  vs.  $\left[ \frac{Fe^{+3}}{Fe^{+2}} \right]_{mV}$  by time (week) at 25°C, 30°C and 35°C respectively.

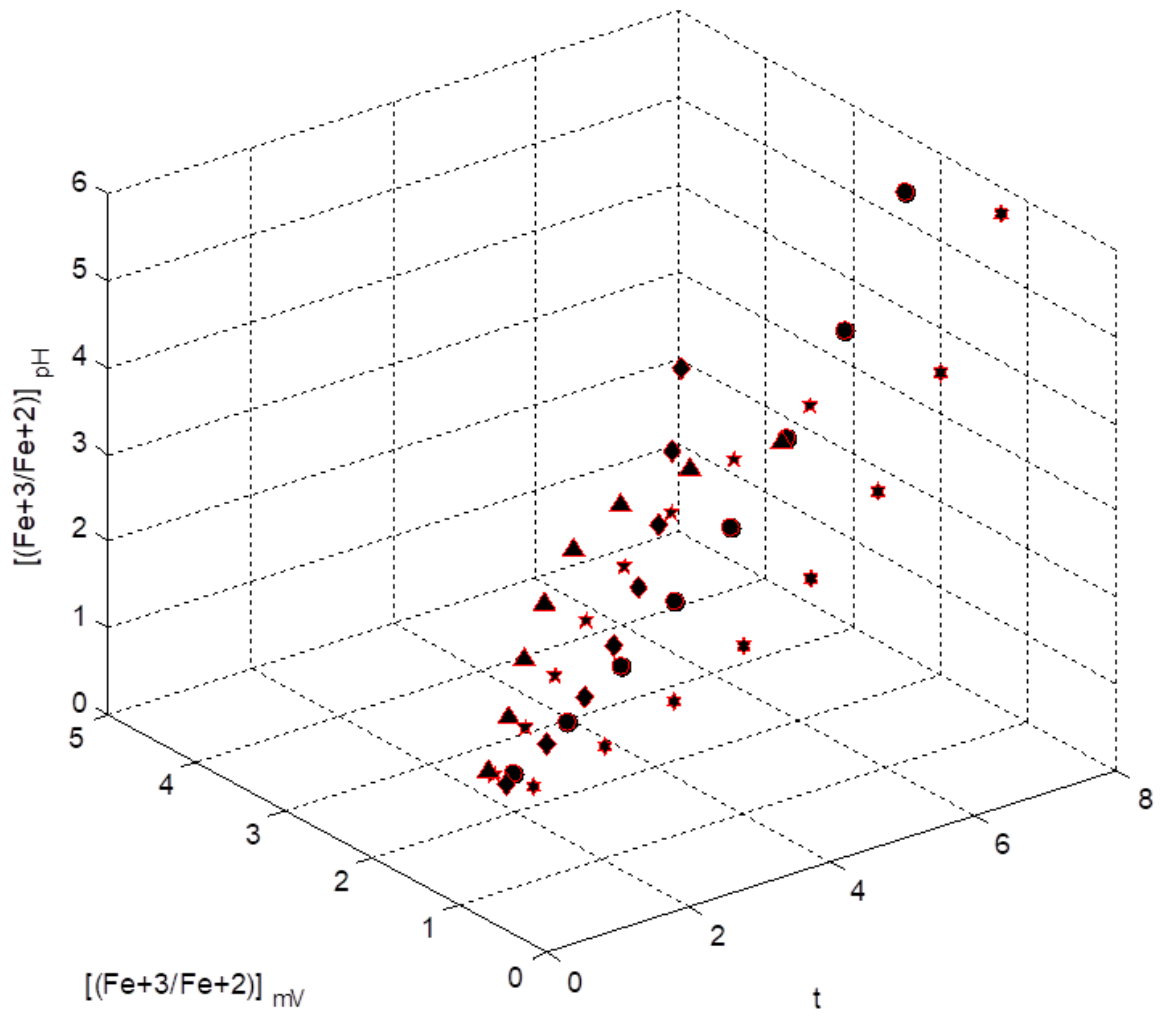


Changes of  $[(Fe+3/Fe+2)]_{pH}$  vs  $[(Fe+3/Fe+2)]_{mV}$  at 25°C by Time (t) (Week)



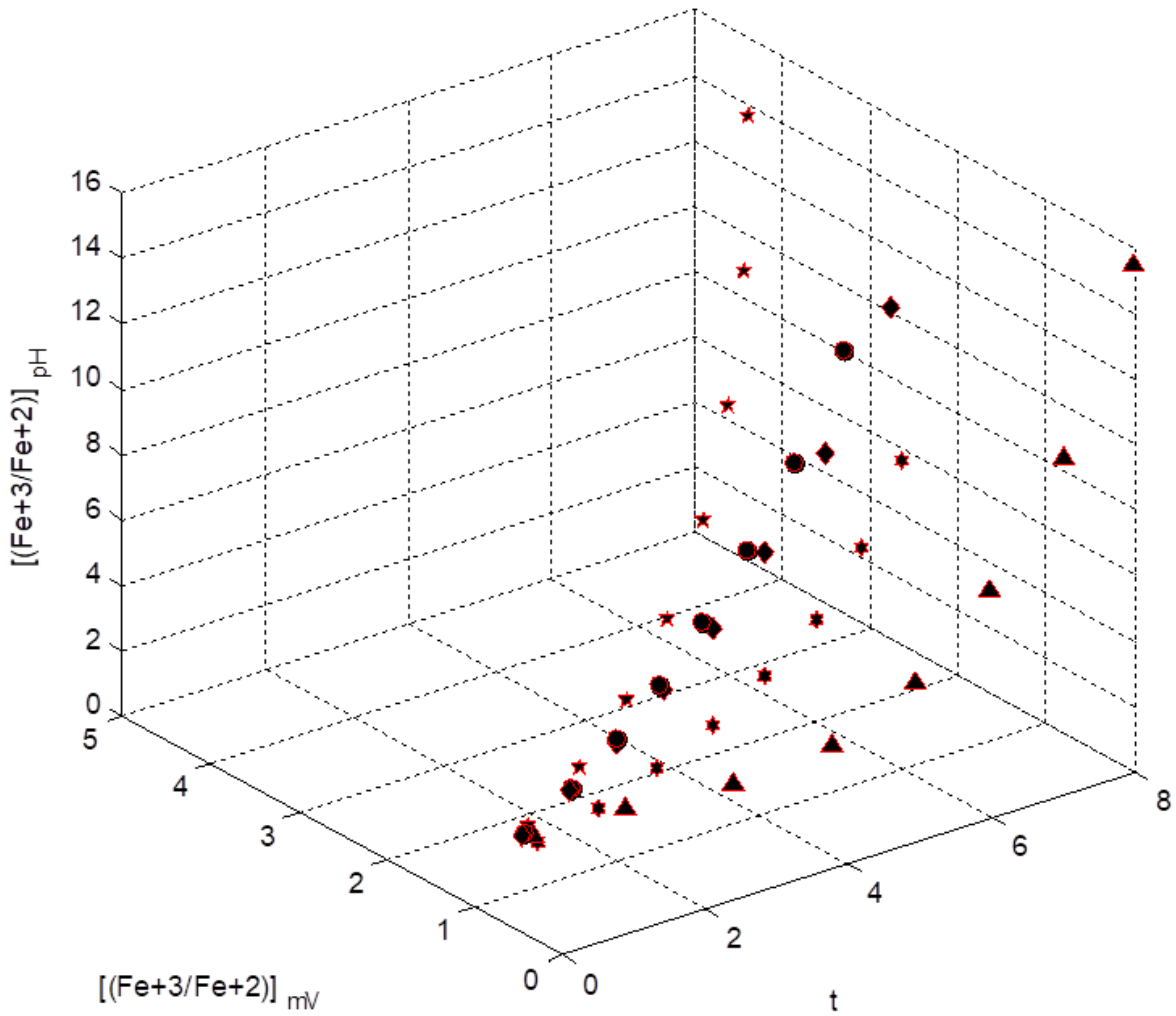
**Figure 4.** Changes of  $\left[ \frac{Fe^{+3}}{Fe^{+2}} \right]_{pH}$  vs.  $\left[ \frac{Fe^{+3}}{Fe^{+2}} \right]_{mV}$  by time (week) at 25°C

Changes of  $[(Fe+3/Fe+2)]_{pH}$  vs  $[(Fe+3/Fe+2)]_{mV}$  at 30°C by Time (t) (Week)



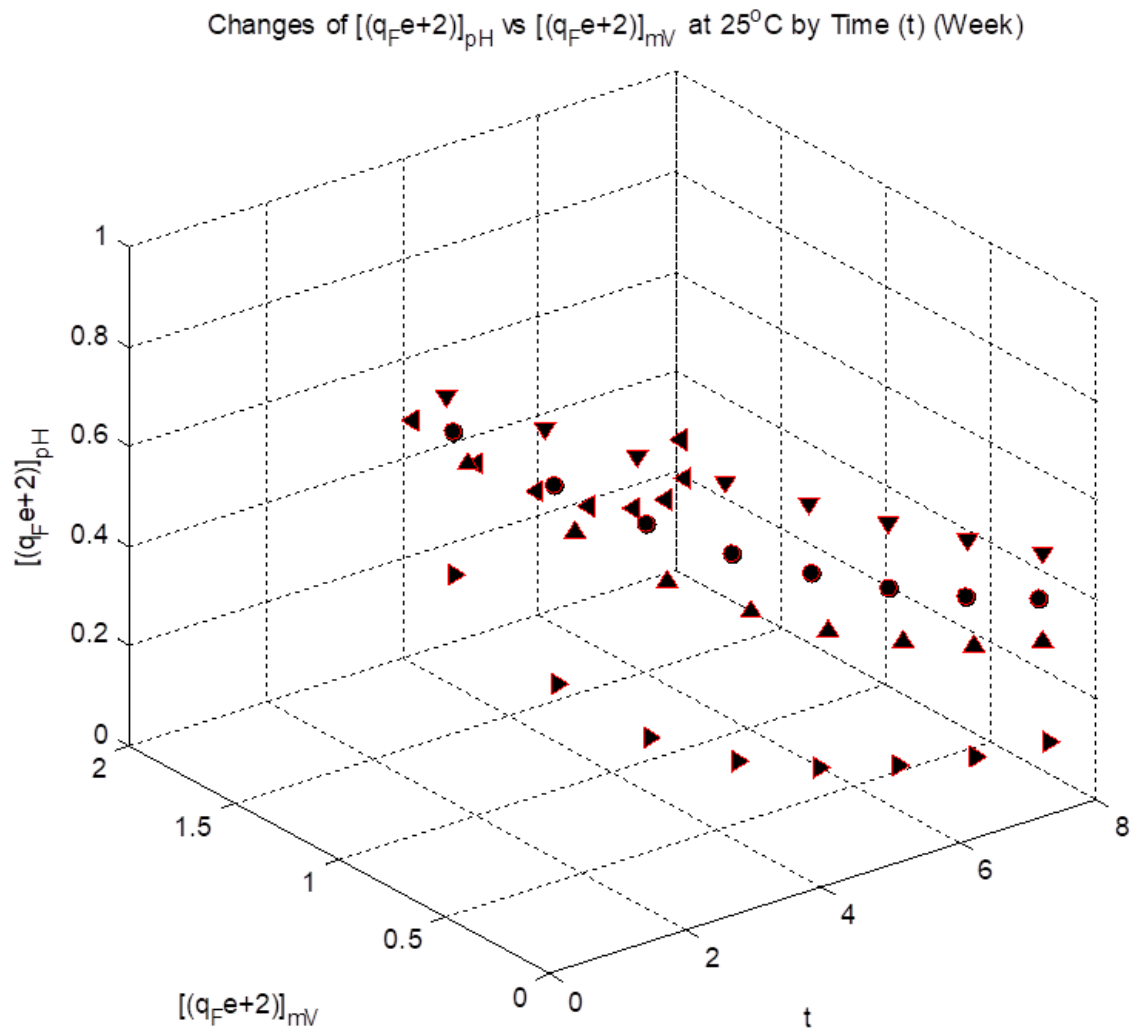
**Figure 5.** Changes of  $\left[ \frac{Fe^{+3}}{Fe^{+2}} \right]_{pH}$  vs.  $\left[ \frac{Fe^{+3}}{Fe^{+2}} \right]_{mV}$  by time (week) at 30°C

Changes of  $\left[\frac{Fe^{+3}}{Fe^{+2}}\right]_{pH}$  vs  $\left[\frac{Fe^{+3}}{Fe^{+2}}\right]_{mV}$  at 35°C by Time (t) (Week)

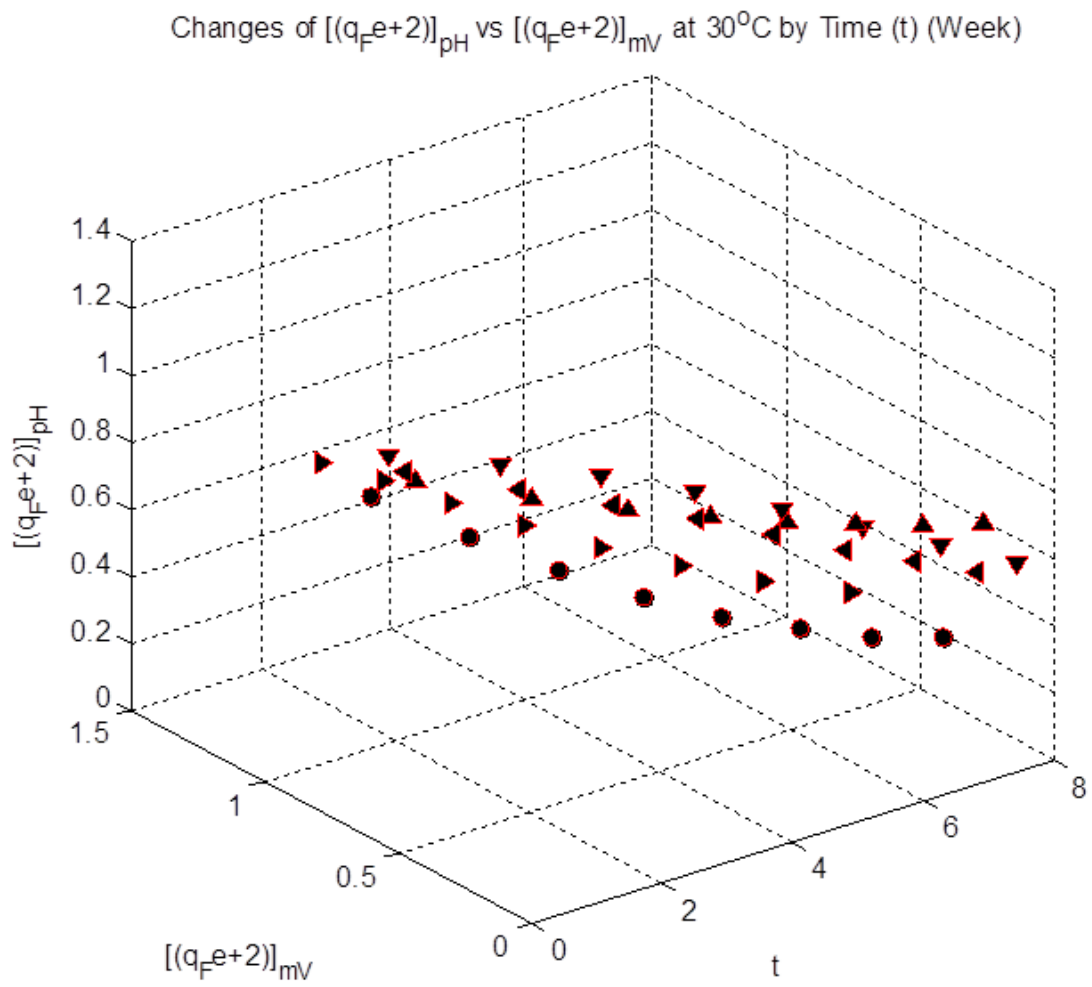


**Figure 6.** Changes of  $\left[\frac{Fe^{+3}}{Fe^{+2}}\right]_{pH}$  vs.  $\left[\frac{Fe^{+3}}{Fe^{+2}}\right]_{mV}$  by time (week) at 35°C

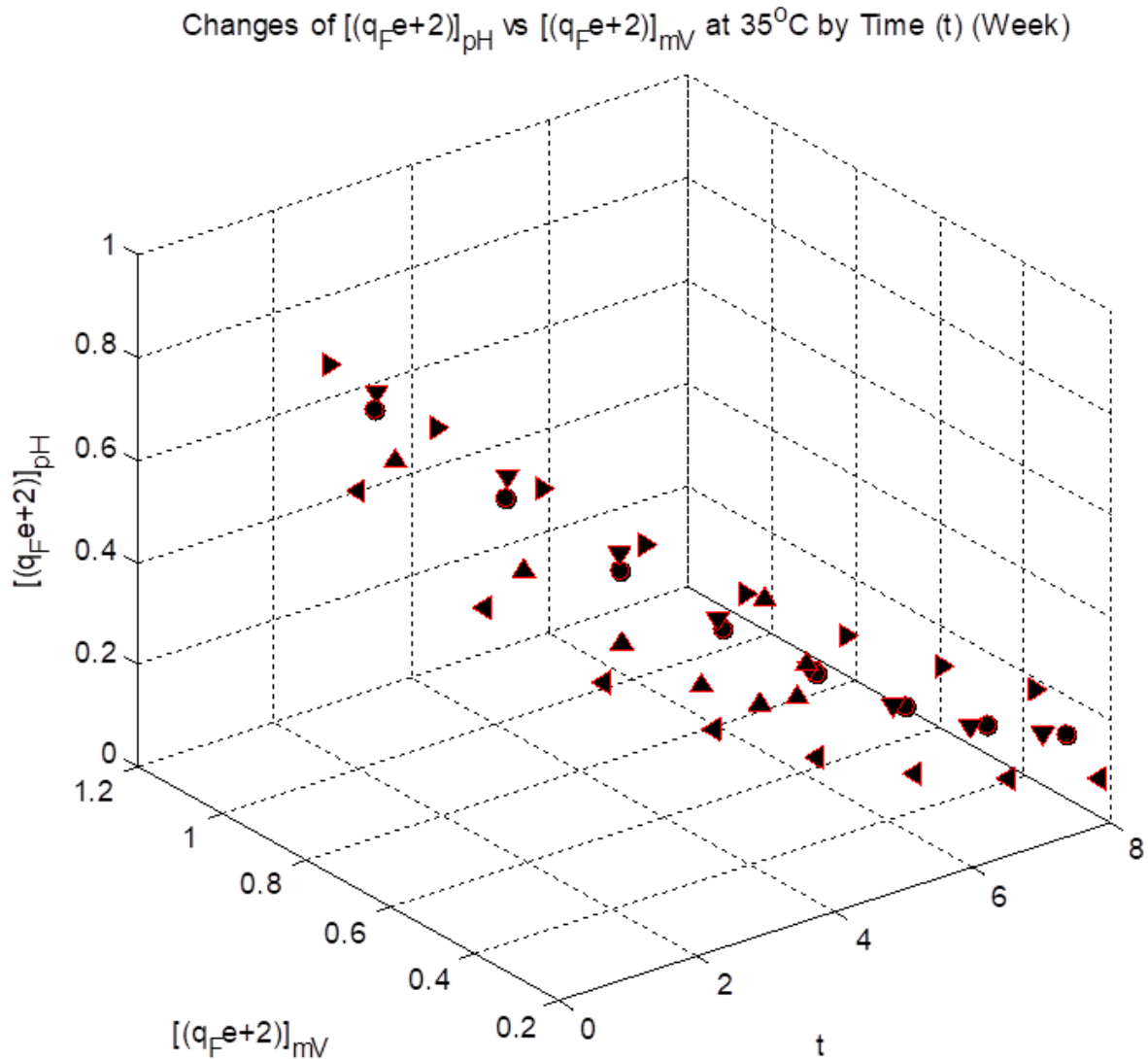
Figures 7-9 present the graphs of the predicted  $\left[q_{Fe^{+2}}\right]_{pH}$  vs.  $\left[q_{Fe^{+2}}\right]_{mV}$  changing by time (week) at 25°C, 30°C and 35°C respectively.



**Figure 7.** Changes of  $[q_{Fe^{+2}}]_{pH}$  vs.  $[q_{Fe^{+2}}]_{mV}$  by time (week) at 25 °C



**Figure 8.** Changes of  $[q_{Fe^{+2}}]_{pH}$  vs.  $[q_{Fe^{+2}}]_{mV}$  by time (week) at  $30^{\circ}C$



**Figure 9.** Changes of  $[q_{Fe^{+2}}]_{pH}$  vs.  $[q_{Fe^{+2}}]_{mV}$  by time (week) at 35°C

#### 4. Discussion

The acidolysis and redoxolysis reactions of the  $[Fe^{+3}]$  and  $[Fe^{+2}]$  iron minerals in bioprocess of *S.cerevisiae* and *A. aceti* have shown that the chosen experimental parameter conditions offer promising potentials for the microbial growth with the iron minerals. It has been shown experimentally in this study that the cultivability of *S. cerevisiae* and *A. aceti* was successfully observed in relation with the the  $[Fe^{+3}]$  and  $[Fe^{+2}]$  minerals through the experiment. The mixed cultures of *S. cerevisiae*+*A. aceti* in the iron mineral bioprocess displayed a cooperative symbiotic living and no notice of lethal effect was recorded.

There was no notice of microbial colonization of *S. cerevisiae* and *A. aceti* however some of the microorganisms were well immobilized on the surface of substrate particles. The bioprocess

consequently was presented three defined categories of bioprocess with no lethal harmful results, that one of them was direct bioprocess by immobilization of *S. cerevisiae* on the surface of the substrate particles, another was indirect bioprocess by no attachment of *A. aceti* to the particles and cooperative the bioprocess by symbiotic living of *S. cerevisiae* and *A. aceti*. The most part of the glucose as main substrate was supposed to be consumed by the microorganisms and by the iron ions oxidation.

The initial pH of the bioprocess medium, in the presence of the acetic acid and vinegar was decreased to about 5, besides the acetic acid secretion, further lowering the pH 5 to 4. The initial ORP of the medium was above 200 mV than was raised to around 240 mV during the bioprocess in relation with the decrease in pH values. The inconsequential changes in pH and mV show a few reductions of iron ions and consequently sulfur elements.

The observed pH and mV data of the  $[Fe^{+2}]$  to  $[Fe^{+3}]$  iron bioprocess expectedly have shown mild conditions like common bioprocesses that primarily results acidic (pH>4) with redox potential (mV<240) conditions. Therefore, it has been shown that the *S. cerevisiae*+*A. aceti* microbial bioprocesses had the capability of the acidolysis tendency. Briefly, it has been indicated that the controlled number of microbial mixtures might be used as pH lowering agents due to their acidolysis capacity and nontoxic aspects, instead of using chemical neutralizing agents in every stage of the related fermentation processes. Though the used microorganisms *S. cerevisiae* with *A. aceti* were recognized as effective in the bioprocess, inconsistently the pure or mixed cultures of the bioprocess have displayed likewise less effective function in  $[Fe^{+3}]$  iron conversion. This is primarily liable to having very limited oxygen in the incubation media, yet the bioreactors had not been shaken or mixed

through the experimental observations. Regarding the  $\left[ \frac{Fe^{+3}}{Fe^{+2}} \right]$  bioprocess medium where there was no manually aeration or mixing, the foremost result of the neutralizing pH and lessening mV is likely consequence of the very limited quantity of oxygen naturally dissolved as a result of less mixing in the bioprocess media, therefore the less chemical interactions occurred between the  $[Fe^{+3}]$  and  $[Fe^{+2}]$  ions and sulfur and oxygen molecules. As all other microorganisms, *S. cerevisiae* and *A. aceti* have affinity of heavy metals, so that most possibly some of  $[Fe^{+3}]$  and  $[Fe^{+2}]$  ions were adsorbed by the microorganisms.

The effect of the glucose in some biobatches had not confidently shown on the extent of iron oxidation results. In some extend, the increase in the bioprocess temperature had shown encouraging results for iron immobilization in this study. As far as the trivial changes in pH and mV measurements were recorded, the selected parameters of the bioprocess were encountered as the other accountable constraints.

Figures 5-7 show that the pH and mV originated predictive  $\left[ \frac{Fe^{+3}}{Fe^{+2}} \right]$  ratios were found numerically comparable by the variation of log constant 2,303 in mV originated oxidation ratio as presented in the

plots of  $\left[ \frac{Fe^{+3}}{Fe^{+2}} \right]_{pH}$  vs.  $\left[ \frac{Fe^{+3}}{Fe^{+2}} \right]_{mV}$  changes by time (week) at 25°C, 30°C and 35°C temperatures respectively.

Figures 7-9, the ratios of the pH and mV originated predictive specific growth rates  $q_{Fe^{+2}}$  consequently have presented the depiction of the slight amount of oxidation of  $[Fe^{+2}]$  ion in the microbial environment as shown in the plots of changes of  $\left[ q_{Fe^{+2}} \right]_{pH}$  vs.  $\left[ q_{Fe^{+2}} \right]_{mV}$  by time (week) at 25°C, 30°C and 35°C respectively.

## 5. Conclusions

The acidolysis and redoxolysis mechanisms consist of biochemical reactions for the reduction, solubility, absorption and uptake of the  $[Fe^{+3}]$  and  $[Fe^{+2}]$  ions by living organisms. The microbial processes of *S.cerevisiae* and *A. aceti* with the selected parameters have shown that the acidolysis and redoxolysis mechanisms of the  $[Fe^{+3}]$  and  $[Fe^{+2}]$  offered some promising potentials for biooxidation process of the iron minerals, microbial growth and subsequently sulfur conversion. The observed changes in pH and the ORP of the bioprocesses present insignificant decrease in pH, and a quantity of rise in redox potential. The models provided approvable prediction of  $\left[ \frac{Fe^{+3}}{Fe^{+2}} \right]$  and  $\left[ q_{Fe^{+2}} \right]_{pH}$  vs.  $\left[ q_{Fe^{+2}} \right]_{mV}$  sourcing from pH and the ORP observations with minor amount of oxidation of  $[Fe^{+2}]$  ions in the microbial environment.

## Conflict of Interest

There is no conflict of authors in this work.

## References

- Abbaspour N., Hurrell R., Kelishadi R. Review on iron and its importance for human health. J. Res. Med. Sci. 2014; 19(2): 164-174.
- Askwith CC., De Silva D., Kaplan J. Molecular biology of iron acquisition in *Saccharomyces cerevisiae*. Mol. Microbiol., 1996; 20: 27-34.
- Boon M., Heijnen JJ. Chemical oxidation kinetics of pyrite in bioleaching processes. Hydrometallurgy 1998; 48(1): 27-41.
- Ermurat Y. Modeling the kinetics of pyrite ash biodesulfurization by *Saccharomyces cerevisiae* and *Acetobacter aceti* in liquid state bioreactors. Electron. J. Biotech., 2013; 16(2): 4-4.



- Matsushita K., Inoue T., Adachi O., Toyama H. *Acetobacter aceti* possesses a proton motive force-dependent efflux system for acetic acid. *J. Bacteriol.*, 2005; 187: 4346–4352.
- Pas M, Piskur B., Sustaric M., Raspor P. Iron enriched yeast biomass - a promising mineral feed supplement. *Bioresour. Technol.* 2007; 98: 1622–1628.
- Peter R., Goranovič D. Biotechnological applications of acetic acid bacteria. *Crit Rev Biotechnol*, 2008; 28: 101-124.
- Plumb JJ., Muddle R., Franzmann PD. Effect of pH on rates of iron and sulfur oxidation by organisms. *Eng.*, 2008; 21: 76-82.
- Sukru G., Anderson GJ., Collins JF. Mechanistic and regulatory aspects of intestinal iron absorption. *Am. J. Physiol. Gastrointest Liver Physiol.*, 2014; 307: G397–G409.
- Yiannikourides A., Latunde-Dada GO. A short review of iron metabolism and pathophysiology of iron disorders. *Medicines* 2019; 6: 85.

## Bazı Şeker Pancarı (*Beta vulgaris* L.) Çeşitlerinde Farklı Tuz Konsantrasyonlarının Çimlenme ve Erken Gelişim Dönemine Etkisi

Nazlı AYBAR YALINKILIÇ<sup>1\*</sup>, Şilan ÇİÇEK<sup>2</sup>, Sema BAŞBAĞ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Muş Alparslan Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Bitkisel Üretim ve Teknolojileri Bölümü, 49100, Muş

<sup>2</sup>Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, 21070, Diyarbakır

<sup>3</sup>Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, 21000, Diyarbakır

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-7462-775X>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-9324-5175>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-4486-7322>

\*Sorumlu yazar: na.yalinkilic@alparslan.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 23.05.2022

Kabul tarihi:20.11.2022

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Şeker Pancarı

Çimlenme

Tuzluluk

*Beta vulgaris* L.

### ÖZ

Şeker pancarı kök gövdesinin içerdiği yüksek orandaki şeker (sakkaroz) içeriği itibarı ile insan beslenmesi açısından son derece önemli olan bir endüstri bitkisidir. Ülkemizde bitkisel kaynaklı şeker üretiminin ana kaynağı olan şeker pancarının birden fazla kullanım alanı vardır ve bu açıdan önemli bir bitkidir. Farklı tuz dozlarının şeker pancarı tohumlarında çimlenme ve erken gelişim dönemlerine olan etkisinin araştırıldığı bu çalışma tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre 3 tekerrürlü olacak şekilde kontrollü koşullarda yürütülmüştür. Çalışmada ülkemizde ticari olarak tarımı yapılan; Calixta, Valentina, Diamenta, Sentinel ve Agnessa çeşitleri materyal olarak kullanılmış olup tuzluluk dozları ise 4, 8, 12 ve 16 dS/m olacak şekilde ayarlanmış ve kontrol grubuna ise sadece saf su ilave edilip 12 gün boyunca karanlık ortamda bitkiler çimlenmeye bırakılmıştır. Araştırmada kök uzunluğu, sap uzunluğu, fide boyu, çimlenme hızı, ortalama çimlenme süresi, çimlenme gücü, çimlenme oranı, tohum güç indeksi ve çimlenme indeksi özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen verilere göre incelenen birçok özellik açısından çeşit ve dozlar arasında istatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli farklılıklar bulunduğu, en yüksek doz olan 16 dS/m'de bazı çeşitlerde hiç çimlenme görülmediği ve en iyi değerlerinin kontrol grubundan alındığı sonucuna varılmıştır.

## The Effect of Different Salt Concentrations on Germination and Early Development of Some Sugar Beet (*Beta Vulgaris* L.) Cultivars

### Research Article

#### Article History:

Received: 23.05.2022

Accepted: 20.11.2022

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Sugar beet

Germination

Salinity

*Beta vulgaris* L.

### ABSTRACT

Sugar beet root stem is an industrial plant that is extremely important for human nutrition due to its high sugar (sucrose) content. Sugar beet, which is the main source of plant-based sugar production in our country, has multiple uses and is an important plant in this respect. This study, which investigated the effects of different salt doses on the germination and early development periods of sugar beet seeds, was carried out in randomized plots according to factorial experimental design with 3 replications, under controlled conditions. Calixta, Valentina, Diamenta, Sentinel and Agnessa varieties were used as materials, and the salinity doses were adjusted to be 4, 8, 12 and 16 dS/m, and only pure water was added to the control group. Seeds were

under germinate in 12 days. Root length, stem length, seedling length, germination rate, mean germination time, germination power, germination percentage, vigor index and germination index properties were investigated in the study. According to the data obtained as a result of the study, it was determined that there were statistically significant differences at the level of 1% between the varieties and doses in terms of all the examined characteristics. It was concluded that there was no germination in some cultivars at the highest dose of 16 dS/m, and the best values were obtained from the control group in terms of the traits examined.

---

**To Cite:** Aybar Yalınkılıç N., Çiçek Ş., Başbağ S. Bazı Şeker Pancarı (*Beta vulgaris* L.) Çeşitlerinde Farklı Tuz Konsantrasyonlarının Çimlenme ve Erken Gelişim Dönemine Etkisi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(3): 2063-2075.

## 1. Giriş

Şeker dünyada insan beslenmesi ve sanayi sektörünün birçok farklı alanında kullanılan ekonomik değeri yüksek bir endüstri bitkisidir. İnsan beslenmesi açısından son derece önemli ürünlerden biri olan şeker, vücudun temel fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için gerekli olan kalorisi yüksek, nispeten daha ucuz bir gıda maddesidir. Dünya genelinde şeker kamışından sonra en büyük şeker kaynağı olan şeker pancarının yıllık milyon ton bazında yapılan üretimi insan beslenmesi ve hayvan yemi için yaygın olarak kullanılmaktadır (Barsan ve ark., 2015). Şeker pancarının kökünden şeker elde edildikten sonra açığa çıkan posası ise selüloz (%20-24), hemiselüloz (%25-36) ve pektin (%15-25) gibi polisakkaritlerce zengindir (Adina ve ark., 2011).

Çeşitli kullanım alanlarına sahip olan şeker pancarı, kök bölgesinden ana ürün olan şeker elde edildikten sonra geriye kalan küspesi hayvan yemi olarak değerlendirilmekte melası ise fermantasyon hammaddesi ve etil alkol üretimi, sirke ve hamur mayasında, kozmetik ve ilaç sanayi gibi birçok farklı alanda değerlendirilebilmektedir (Anonim, 2021). İki yıllık bir bitki olan şeker pancarının, ilk yıl şeker üretimi, ikinci yıl ise tohum üretimi için tarımı yapılmakta olup tarımının yapıldığı alanlarda geniş bir istihdam alanı oluşturan katma değeri yüksek bir üründür.

Bitkilerde büyümenin en erken aşaması olan tohum çimlenmesi, bitkinin fide oluşturması ve gelişmesi açısından en kritik evre olup büyümenin ileriki aşamalarında verimli bir üretim için son derece önemli bir parametredir (Bhattacharjee, 2008). Khajeh-Hosseini ve ark., (2003) bitkilerden etkin bir şekilde mahsul almanın tohumun çimlendiği ortam ve tohum kalitesi arasındaki etkileşime bağlı olduğunu bildirmiştir. Önemli bir stres faktörü olan tuzluğun yaşandığı alanlarda; başarılı bir üretim için bitkilerin erken fide aşamalarında tuzluluğa karşı olan hassasiyet ve tolerans düzeylerinin bilinmesi gereklidir (Hakim ve ark., 2010).

Abiyotik stres faktörlerinden biri olan tuzluluk, toprakta yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu zaman bitki tohumlarının zarar görmesine neden olarak bitkilerin çimlenme gücünü zayıflatır ve bu durum bitkinin verim potansiyelini düşürür (Carvalho ve ark., 2011). Dünya genelinde tarımsal üretimin yapıldığı kurak ve yarı kurak alanlarda giderek artan tuzluluk problemi, toprakta özellikle bitkilerin kök bölgesinde çözülebilir tuzların birikmesiyle ozmotik basıncın artması sonucu bitkinin büyümesini

olumsuz bir şekilde etkileyerek su alabilme ve kullanabilme potansiyelini azaltır (Moreno ve ark., 2018). Dünya nüfusunun sürekli olarak artması sonucu artan gıda ihtiyacı tarımsal üretimin önemini artırmış ve tarım topraklarının en etkin bir şekilde kullanılması amacı ile araştırmacıların, özellikle tuzluluktan etkilenerek verimsizleşen topraklarda yetişen bitkilerin tuz stresine karşı verdikleri tepkileri ile ilgili çalışmalar son yıllarda hızla genişlemiştir (Rao ve ark., 2006). Bitkiler tuz stresinden gelişmelerinin tüm aşamalarında özellikle de çimlenme ve fide çıkışı gibi büyümenin erken evrelerinde olumsuz şekilde etkilenirler (Feghhenabi ve ark., 2020).

Bitki tohumlarının *in-vitro* koşullar altında ön çimlendirme çalışmaları, tohumların çimlenme ve çıkış gücünü tayin edebilmek amacıyla araştırmacılar tarafından yaygın olarak yapılmaktadır (Paparella ve ark., 2015). Uygun koşullar altında birçok bitkide ön çimlendirme testleri yapılarak tohumların; çimlenme hızı, çimlenme gücü, çimlenme yüzdesi ve çimlenme oranı gibi metabolik aktiviteleri hakkında fikir sahibi olunabilir (Mosavikia ve ark., 2020). Uygun sıcaklık ve nem koşullarında tuzluluk, bitki besin elementleri ve hormon uygulamalarının bitkilerin çimlenme üzerine etkilerini incelemek amacıyla yapılan ön çimlendirme çalışmaları sonucunda çimlenme parametreleri ve radikula uzunluğu, plumula uzunluğu, fide yaş ve kuru ağırlığı gibi özellikler incelenerek bitkilerin bu uygulamalara olan tepkileri değerlendirilmeye çalışılır (Subramanyam ve ark., 2019).

İşlenmekte olan tarım arazilerinin yaklaşık olarak %3,8'inde tuzluluk probleminin görüldüğü ülkemizde tuz stresi özellikle ekonomik olarak tarımı yapılan bitkiler için büyük sorun oluşturmaktadır (Karaoğlu ve Yalçın, 2018). Şeker pancarı, tuza nispeten dayanıklı bitkilerden biri olmasına rağmen özellikle çimlenme ve erken fide gelişim dönemlerinde tuzluluğa daha az toleranslı olduğu bilinmektedir (Jami ve ark., 2006). Bu çalışma ülkemizde yaygın olarak tarımı yapılan bazı şeker pancarı çeşitlerinin çimlenme ve erken fide gelişim dönemlerinde farklı tuz konsantrasyonlarına karşı olan duyarlılıklarını ve tuz stresinin çeşitler üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla yürütülmüştür.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışma bazı şeker pancarı çeşitlerinde farklı tuz konsantrasyonlarının çimlenme ve erken gelişim dönemlerine olan etkisini incelemek amacıyla kontrollü koşullarda yürütülmüştür. Çalışmada materyal olarak Diamenta, Agnessa, Sentinel, Calixta ve Valentina şeker pancarı çeşitleri kullanılmış olup deneme tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme deseni uyarınca 3 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür.

Çalışmada materyal olarak kullanılan şeker pancarı tohumlarının sterilizasyonu için her bir çeşitten 25 adet tohum ayrı ayrı sayılmış ve beherlere yerleştirilmiştir. Tohumların üzerine bütün tohumların üstünü kaplayacak şekilde % 5'lik sodyum hipoklorit çözeltisi eklenmiş ve 5 dakika boyunca tohumların steril olması sağlanmıştır (Mostafavi, 2012). Sterilizasyon işleminden sonra tohumlar 3 defa saf su ile yıkanmış ve sonrasında 9 cm çapındaki petri kaplarına yerleştirilmiştir. Petri kapları öncesinde etüvde sterilize edilmiş ve içlerine çift katlı Whatman filtre kâğıdı yerleştirilmiştir. Petri kaplarının içine yerleştirilen tohumların üzerine kontrol grubuna 12 ml saf olacak şekilde tuzluluk konsantrasyonları ise önceki çalışmalara dayanarak belirlenen 4, 8, 12 ve 16 dS/m olacak şekilde

(Mostafavi, 2012) 12 ml olarak uygulanmıştır (Shokouhian ve Omid, 2021). Tuzluluk konsantrasyonlarında saf sodyum klorit (NaCl) kullanılmış olup uygulamaların sonunda çimlenme sırasında meydana gelebilecek nem kayıplarının önlenmesi amacıyla petri kaplarının etrafı parafilm ile sarılmıştır. Petri kapları ISTA (1996)'nın şeker pancarı çimlenme protokolü uyarınca 25 °C'de %65 nispi nemde 12 gün boyunca karanlık ortamda çimlenmeye bırakılmıştır. 12 gün boyunca her gün (24 saatte 1) çimlenen tohumlar sayılarak kayıt altına alınmıştır (Bilgili ve ark., 2011). Çalışmanın yürütüldüğü 12 günlük periyodun sonunda tohumların çimlenme hızı, çimlenme gücü, çimlenme indeksi, çimlenme oranı, ortalama çimlenme süresi ve tohum güç indeksi, elde edilen fidelerden ise rastgele seçilen 10 tanesinin kök uzunluğu, sap uzunluğu ve fide uzunluğu değerleri incelenmiştir (Mathews ve KhajehHosseini, 2007; Mostafavi, 2012; Shokouhian ve Omid., 2021).

Denemede sayımlar günlük olarak yapılmış ve ISTA (Uluslararası Tohum Test Birliği) kurallarına göre 2 mm kökçük çıkışı görülen tohumlar çimlenmiş olarak kabul edilmiştir (ISTA, 2003). 12 günlük test süresi sonucunda; bitkilerde kök, sap uzunluğu ve fide boyu milimetrik cetvelle ölçülerek belirlenmiştir. Çimlenme Oranı (%): 10. gün sonunda çimlenen tohumlar sayılarak, (çimlenen tohum sayısı/toplam tohum sayısı) x 100 formülü ile çimlenme oranı % olarak hesaplanmıştır (Akıncı ve Çalışkan, 2010). Ortalama çimlenme süresi; Ellis ve Roberts, (1980) 'dan yararlanılarak Çimlenen tohum sayısı (f) ile çimlenme gün sayısı (x) çarpımları toplamının toplam çimlenen tohum sayısına bölünmesi ( $MGT = \frac{\sum(fx)}{\sum f}$ ) formülü yardımıyla hesaplanmıştır. Çimlenme İndeksi: (GI) =  $(10 \times n_1 + 9 \times n_2 + \dots + 1 \times n_{10}) / (\text{toplam çimlendirme gün sayısı} \times \text{çimlendirmede kullanılan tohum sayısı})$  formülüyle hesaplanmıştır (Mares ve Mrva, 2001). Formülde n1, n2, n3...n10, 1. gün, 2. gün 3. gün...10. günde çimlenen tohum sayısını ifade etmektedir. Tohum güç indeksi (TGI) ise: kök uzunluğunun çimlenme yüzdesi ile çarpılması ile hesaplanmıştır (Dhanda ve ark., 2004). Elde edilen veriler; JMP istatistik paket programından faydalanılarak varyans analizleri yapılmış ve ortalamalar arasındaki farklılıklar LSD testine göre hesaplanmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Farklı tuz konsantrasyonlarının bazı şeker pancarı (*Beta vulgaris* L.) çeşitlerinde çimlenme ve fide gelişim dönemlerine etkisinin araştırıldığı bu çalışmada incelenen özelliklere ilişkin; kök uzunluğu, sap uzunluğu, fide boyu, çimlenme hızı ve ortalama çimlenme süresi özellikleri bakımından çeşitler, dozlar ve çeşit x doz interaksyonu arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli olduğu görülmektedir. Çalışmada materyal olarak kullanılan şeker pancarı çeşitlerinin farklı tuz konsantrasyonlarında çimlenme oranı, çimlenme indeksi yönünden çeşit, doz ve çeşit x doz interaksyonunun istatistiksel olarak % 1 düzeyinde önemli olduğu, çimlenme gücü yönünden ise çeşit x doz interaksyonunun önemli olmadığı görülmektedir.

Tablo 1'de çalışmada materyal olarak kullanılan çeşitlerin kök uzunluğu, sap uzunluğu, fide boyu, çimlenme hızı ve ortalama çimlenme süresi özelliklerine ilişkin çoklu karşılaştırmalar ve ortalamalar verilmiştir. Tablo incelendiğinde kök uzunluğu bakımından en yüksek değerler kontrol (saf su)

uygulamalarından elde edilirken 16 d/S doz grubunda ise en düşük kök uzunluğu değerleri görülmüştür. Kontrol grubu ve artan doz uygulamalarına bakıldığında kök uzunluğunun tuzluluk konsantrasyonları arttıkça azaldığı ve tablo çeşitler bazında incelendiğinde ise en yüksek kök uzunluğunun Sentinel çeşidinde görülmesine karşılık Calixta ve Valentina çeşitlerinin en yüksek tuzluluk dozu uygulamasında 0 (sıfır) değeri aldıkları görülmektedir. Bu bağlamda anılan özellik açısından artan tuz dozlarından en az etkilenen çeşidin Sentinel, en fazla etkilenen çeşitlerin ise Calixta ve Valentina olduğu aynı tablodan izlenebilmektedir. Haileselasie and Gselasie (2012), kökçük ve sapçık uzunluklarının tuz stresi açısından önemli parametreler olduğunu, kökçüklerin toprak ve su ile direk temas ederek bitkiye alındığını ve sapçık gelişimine katkısı olduğunu bildirmişlerdir.

Çalışmada ele alınan çeşitlerin sap uzunluğu yönünden kontrol ve doz uygulamalarının karşılaştırmaları ve ortalamaları Tablo 1'de verilmiştir. Tablo incelendiğinde çeşitlerin incelenen özellik yönünden birbirlerinden farklı gruplara ayrıldığı ve en yüksek sap uzunluğu değerinin kontrol grubundan alındığı tuz stresinin dozu arttıkça sap uzunluğunda azalma görüldüğü ve en düşük sap uzunluğu değerinin de 16 dS/m dozundan alındığı görülmektedir. Bu bağlamda sap uzunluğunun tuz stresinden olumsuz etkilendiği Sentinel çeşidinin tuzluluğa karşı diğer çeşitlere oranla daha toleranslı olduğu, Calixta ve Valentina çeşitlerinin ise en hassas çeşitler olduğu çalışma sonucunda elde edilen verilere göre değerlendirilmektedir. Mostafavi (2012) bazı şeker pancarı genotiplerinde tuz stresinin çimlenme üzerine etkisini araştırdığı çalışmada sap uzunluğu bakımından en yüksek değeri veren grubun kontrol grubu, en düşük değerlerin ise en yüksek tuz konsantrasyonu olan 16 dS/m grubundan alındığını bildirmiştir.

Fide boyu yönünden denemeye alınan çeşitlerin çoklu karşılaştırma ve ortalamaları tablo 1'de verilmiştir. Tablo incelendiğinde en yüksek fide boyu değerlerinin kontrol grubunda görüldüğü, fide boyu yönünden en düşük değerlerin ise çalışmada en yüksek tuz konsantrasyonu olarak belirlenen 16 d/S grubunda görüldüğü ve anılan özellik yönünden farklı tuz konsantrasyonlarının birden fazla grup oluşturduğu görülmektedir. Aynı tablodan tuz stresine karşı Sentinel ve Diamanta çeşitlerinin diğer çeşitlere oranla daha toleranslı olduğu tuz stresinin şiddeti arttıkça çeşitlerin fide boylarında azalma olduğu izlenebilmektedir. Shokouihan ve Omid (2021) yaptıkları çalışmada fide boyu yönünden çeşit x doz interaksyonunun önemli olduğunu ve 12 dS/m tuz konsantrasyonunda fide boyunun en düşük değeri verdiğini bildirmiştir.

**Tablo 1.** Farklı tuzluluk stresi uygulanan şeker pancarı çeşitlerinde belirlenen kök uzunluğu, sap uzunluğu, fide boyu, çimlenme hızı değerleri

Tuzluluk stres düzeyi	Şeker Pancarı Çeşitleri					Tuzluluk ortalaması
<b>Kök uzunluğu (mm)</b>						
<b>Doz</b>	<b>Sentinel</b>	<b>Diamenta</b>	<b>Agnessa</b>	<b>Calixta</b>	<b>Valentina</b>	
<b>Kontrol</b>	50,20 <sup>A</sup>	49,27 <sup>A</sup>	44,17 <sup>B</sup>	40,67 <sup>C</sup>	37,80 <sup>D</sup>	44,42 <sup>A</sup>
<b>4</b>	29,13 <sup>E</sup>	28,00 <sup>EF</sup>	26,97 <sup>F</sup>	26,80 <sup>F</sup>	24,77 <sup>G</sup>	27,13 <sup>B</sup>
<b>8</b>	14,80 <sup>H</sup>	16,47 <sup>H</sup>	15,23 <sup>H</sup>	12,07 <sup>I</sup>	9,40 <sup>J</sup>	13,59 <sup>C</sup>
<b>12</b>	8,70 <sup>J</sup>	8,67 <sup>J</sup>	5,50 <sup>K</sup>	4,67 <sup>K</sup>	2,37 <sup>L</sup>	5,98 <sup>D</sup>
<b>16</b>	1,63 <sup>LM</sup>	1,27 <sup>LM</sup>	0,57 <sup>M</sup>	0 <sup>M</sup>	0 <sup>M</sup>	0,69 <sup>E</sup>
<b>Çeşit Ortalaması</b>	20,89 <sup>A</sup>	20,73 <sup>A</sup>	18,49 <sup>B</sup>	16,84 <sup>C</sup>	14,87 <sup>D</sup>	
<b>CV</b>	5,808					
<b>LSD</b>	Çeşit : 1,105**	Doz : 0,787**	Çeşit*Doz:1,760**			
<b>Sap uzunluğu (mm)</b>						
<b>Kontrol</b>	44,93 <sup>A</sup>	47,53 <sup>A</sup>	48,40 <sup>A</sup>	42,13 <sup>C</sup>	40,57 <sup>C</sup>	44,71 <sup>A</sup>
<b>4</b>	31,00 <sup>D</sup>	31,37 <sup>D</sup>	28,73 <sup>E</sup>	28,20 <sup>E</sup>	24,80 <sup>F</sup>	28,82 <sup>B</sup>
<b>8</b>	15,33 <sup>H</sup>	17,77 <sup>G</sup>	15,47 <sup>H</sup>	12,27 <sup>I</sup>	10,60 <sup>JK</sup>	14,29 <sup>C</sup>
<b>12</b>	13,07 <sup>I</sup>	13,50 <sup>HI</sup>	9,93 <sup>K</sup>	5,40 <sup>L</sup>	1,93 <sup>M</sup>	8,77 <sup>D</sup>
<b>16</b>	1,60 <sup>M</sup>	1,40 <sup>M</sup>	0,73 <sup>M</sup>	0 <sup>M</sup>	0 <sup>M</sup>	0,75 <sup>E</sup>
<b>Çeşit Ortalaması</b>	21,19 <sup>AB</sup>	22,31 <sup>A</sup>	20,65 <sup>B</sup>	17,60 <sup>C</sup>	15,58 <sup>D</sup>	
<b>CV</b>	7,035					
<b>LSD</b>	Çeşit: 1,453**	Doz: 1,010**	Çeşit*Doz:2,260**			
<b>Fide Boyu (mm)</b>						
<b>Kontrol</b>	95,13 <sup>AB</sup>	96,80 <sup>A</sup>	92,57 <sup>B</sup>	82,80 <sup>C</sup>	78,37 <sup>C</sup>	89,13 <sup>A</sup>
<b>4</b>	60,13 <sup>E</sup>	59,37 <sup>E</sup>	55,70 <sup>F</sup>	55,00 <sup>F</sup>	49,57 <sup>G</sup>	55,95 <sup>B</sup>
<b>8</b>	30,13 <sup>I</sup>	34,23 <sup>H</sup>	34,23 <sup>I</sup>	24,33 <sup>J</sup>	20,00 <sup>K</sup>	27,88 <sup>C</sup>
<b>12</b>	21,77 <sup>JK</sup>	22,17 <sup>JK</sup>	15,43 <sup>L</sup>	10,07 <sup>M</sup>	4,30 <sup>N</sup>	14,75 <sup>D</sup>
<b>16</b>	3,23 <sup>NO</sup>	2,67 <sup>NOP</sup>	1,23 <sup>OP</sup>	0 <sup>P</sup>	0 <sup>P</sup>	1,43 <sup>E</sup>
<b>Çeşit Ortalaması</b>	42,08 <sup>A</sup>	43,05 <sup>A</sup>	39,13 <sup>B</sup>	34,44 <sup>C</sup>	30,45 <sup>D</sup>	
<b>CV</b>	4,718					
<b>LSD</b>	Çeşit: 1,729**	Doz: 1,317**	Çeşit*Doz:2,945**			
<b>Çimlenme hızı</b>						
<b>Kontrol</b>	0,20 <sup>A</sup>	0,12 <sup>BCD</sup>	0,16 <sup>AB</sup>	0,11 <sup>CDE</sup>	0,13 <sup>BC</sup>	0,14 <sup>A</sup>
<b>4</b>	0,16 <sup>AB</sup>	0,09 <sup>CDEF</sup>	0,13 <sup>BC</sup>	0,07 <sup>EFG</sup>	0,05 <sup>FGH</sup>	0,10 <sup>B</sup>
<b>8</b>	0,08 <sup>DEF</sup>	0,11 <sup>CDE</sup>	0,09 <sup>CDEF</sup>	0,01 <sup>HI</sup>	0,00 <sup>I</sup>	0,06 <sup>C</sup>
<b>12</b>	0,03 <sup>GHI</sup>	0,07 <sup>EFG</sup>	0,07 <sup>EFG</sup>	0,00 <sup>I</sup>	0,00 <sup>I</sup>	0,03 <sup>D</sup>
<b>16</b>	0,00 <sup>I</sup>	0,00 <sup>I</sup>	0,00 <sup>I</sup>	0,00 <sup>I</sup>	0,00 <sup>I</sup>	0,00 <sup>E</sup>
<b>Çeşit Ortalaması</b>	0,09 <sup>A</sup>	0,09 <sup>A</sup>	0,08 <sup>A</sup>	0,04 <sup>B</sup>	0,04 <sup>B</sup>	
<b>CV</b>	16,95					
<b>LSD</b>	Çeşit : 0,020**	Doz: 0,020**	Çeşit*Doz:0,045**			
<b>Ortalama çimlenme süresi (gün)</b>						
<b>Kontrol</b>	6,73 <sup>I</sup>	7,08 <sup>HI</sup>	6,73 <sup>I</sup>	7,68 <sup>EFG</sup>	7,30 <sup>GHI</sup>	7,10 <sup>C</sup>
<b>4</b>	7,38 <sup>FGH</sup>	7,77 <sup>EFG</sup>	7,40 <sup>FGH</sup>	7,89 <sup>EF</sup>	7,95 <sup>DEF</sup>	7,68 <sup>B</sup>
<b>8</b>	7,56 <sup>EFGH</sup>	7,51 <sup>EFGH</sup>	7,49 <sup>EFGH</sup>	8,90 <sup>BC</sup>	8,47 <sup>CD</sup>	7,99 <sup>A</sup>
<b>12</b>	8,06 <sup>DE</sup>	7,53 <sup>EFGH</sup>	7,30 <sup>GHI</sup>	9,03 <sup>BC</sup>	8,04 <sup>DE</sup>	7,99 <sup>A</sup>
<b>16</b>	8,89 <sup>BC</sup>	9,42 <sup>B</sup>	10,17 <sup>A</sup>	0,00 <sup>J</sup>	0,00 <sup>J</sup>	9,49 <sup>D</sup>
<b>Çeşit Ortalaması</b>	7,72 <sup>D</sup>	7,86 <sup>C</sup>	7,82 <sup>C</sup>	8,37 <sup>A</sup>	7,94 <sup>B</sup>	
<b>CV</b>	4,782					

LSD	Çeşit:	Doz:	Çeşit*Doz:0,575**
	0,153**	0,257**	

\*: %5 seviyesinde önemli, \*\*: %1 seviyesinde önemli \*: Significant at 5%, \*\*: significant at 1%

Çalışmada materyal olarak kullanılan genotiplerin farklı tuz konsantrasyonlarındaki çimlenme hızı değerleri tablo 1’de verilmiştir. Tablo incelendiğinde denemede kullanılan tüm çeşitlerin tuzluluk dozları arttıkça çimlenme hızı değerlerinin azaldığı en yüksek çimlenme hızı değerinin kontrol grubunda olduğu en yüksek tuz konsantrasyonu olan 16 dS/m dozunda çimlenme hızının 0 (sıfır) olduğu görülmektedir. Aynı tablodan çalışmanın materyalini oluşturan çeşitlerin tuz dozları arttıkça çimlenme hızı değerlerinin düştüğü fakat Diamenta çeşidinin 4 dS/m dozuna oranla 8 dS/m dozunda daha yüksek çimlenme hızı değeri aldığı izlenebilmektedir. Nejadhabibvash ve Bagher Rezaee (2021) şeker pancarı genotiplerinde tuz stresinin etkilerini araştırdığı çalışmalarında en yüksek çimlenme hızı değerinin kontrol grubunun aldığını ve tuz konsantrasyonu arttıkça çimlenme hızı değerinin düştüğünü bildirmişlerdir. Benzer şekilde yapılan bir çalışmada araştırmacılar en yüksek tuz konsantrasyonunda (12 dS/m) çimlenme hızının en düşük değer aldığı ve anılan özelliğe ilişkin çeşit x doz interaksyonunun ise önemli olduğunu savunmuşlardır (Shokouihan ve ark., 2021).

Farklı tuz konsantrasyonlarının şeker pancarı çeşitlerinde ortalama çimlenme süreleri 7,10-9,49 gün arasında değiştiği Tablo 1’den izlenebilmektedir. Tablo incelendiğinde tuz dozlarının arttıkça ortalama çimlenme süresinin de arttığı en yüksek ortalama çimlenme süresi değerinin (9,49 gün) 16 dS/m dozunda, en düşük ortalama çimlenme süresi değerinin ise kontrol grubundan elde edildiği görülmektedir. Çeşitler ortalama çimlenme süresi değerlerine göre kıyaslandığında anılan özellik yönünden en düşük değeri alan çeşidin Sentinel (kontrol) olduğu bunu sırasıyla Agnessa ve Diamenta çeşitlerinin izlediği, ortalama çimlenme süresinin en uzun olduğu çeşidin ise Calixta olduğu aynı tablodan izlenebilmektedir.

Tablo 2’de denemede ele alınan şeker pancarı çeşitlerinin Çimlenme gücü özelliği yönünden ortalama ve çoklu karşılaştırmaları verilmiştir. Anılan özelliğe ilişkin çeşitlerin farklı tuz konsantrasyonlarına karşı etkileri incelendiğinde çimlenme gücünün ortalama % 0.67 ile 0,03 arasında değiştiği en yüksek çimlenme gücü değerinin kontrol, en düşük değerin ise 16 dS/m dozunda görüldüğü izlenebilmektedir. Aynı zamanda dozların şiddeti arttıkça çimlenme gücünün düştüğü ve Agnessa, Calixta ve Valentina çeşitlerinin anılan özellik yönünden sıfır (0) değeri aldıkları aynı tablodan incelebilmektedir.



**Tablo 2.** Farklı tuzluluk stresi uygulanan şeker pancarı çeşitlerinde belirlenen Çimlenme gücü, çimlenme oranı, tohum güç indeksi, çimlenme indeksi değerleri

Tuzluluk stres düzeyi	Şeker Pancarı Çeşitleri					Tuzluluk ortalaması
	Çimlenme gücü (%)					
Doz	Sentinel	Diamenta	Agnessa	Calixta	Valentina	
<b>Kontrol</b>	0,71	0,72	0,69	0,57	0,68	0,67 <sup>A</sup>
<b>4</b>	0,53	0,49	0,47	0,36	0,47	0,46 <sup>B</sup>
<b>8</b>	0,40	0,41	0,35	0,21	0,25	0,33 <sup>C</sup>
<b>12</b>	0,28	0,28	0,24	0,15	0,15	0,22 <sup>D</sup>
<b>16</b>	0,09	0,07	0,00	0,00	0,00	0,03 <sup>E</sup>
<b>Çeşit Ortalaması</b>	0,40 A	0,39 A	0,35 B	0,26 D	0,31 C	
<b>CV</b>	14,997					
<b>LSD</b>	Çeşit: 0,034**	Doz: 0,037**	Çeşit*Doz:Ö.D			
Çimlenme oranı (%)						
<b>Kontrol</b>	93,33 <sup>A</sup>	92,00 <sup>A</sup>	92,00 <sup>A</sup>	87,33 <sup>B</sup>	88,00 <sup>A</sup>	90,53 <sup>A</sup>
<b>4</b>	68,00 <sup>C</sup>	68,00 <sup>C</sup>	62,67 <sup>CD</sup>	60,00 <sup>F</sup>	61,33 <sup>D</sup>	64,00 <sup>B</sup>
<b>8</b>	50,67 <sup>EF</sup>	53,33 <sup>E</sup>	45,33 <sup>F</sup>	32,00 <sup>GH</sup>	36,00 <sup>G</sup>	43,47 <sup>C</sup>
<b>12</b>	34,67 <sup>GH</sup>	37,33 <sup>G</sup>	29,33 <sup>HI</sup>	24,00 <sup>IJ</sup>	20,00 <sup>J</sup>	29,07 <sup>D</sup>
<b>16</b>	12,00 <sup>K</sup>	8,00 <sup>KL</sup>	4,00 <sup>LM</sup>	0,00 <sup>M</sup>	0,00 <sup>M</sup>	4,80 <sup>E</sup>
<b>Çeşit Ortalaması</b>	51,73 <sup>A</sup>	51,73 <sup>A</sup>	46,67 <sup>B</sup>	38,67 <sup>C</sup>	41,07 <sup>C</sup>	
<b>CV</b>	7,227					
<b>LSD</b>	Çeşit: 3,855**	Doz: 2,452**	Çeşit*Doz:5,4830**			
Tohum güç indeksi (%)						
<b>Kontrol</b>	4680,80 <sup>A</sup>	4531,73 <sup>A</sup>	4063,33 <sup>B</sup>	3144,53 <sup>C</sup>	3325,33 <sup>C</sup>	3949,15 <sup>A</sup>
<b>4</b>	1980,53 <sup>D</sup>	1898,13 <sup>DE</sup>	1692,27 <sup>DEF</sup>	1608,00 <sup>EF</sup>	1518,27 <sup>F</sup>	1739,44 <sup>B</sup>
<b>8</b>	749,33 <sup>G</sup>	878,40 <sup>G</sup>	691,60 <sup>GH</sup>	389,07 <sup>HI</sup>	337,20 <sup>HI</sup>	609,12 <sup>C</sup>
<b>12</b>	298,53 <sup>IJKL</sup>	324,27 <sup>IJK</sup>	160,27 <sup>IJKL</sup>	113,87 <sup>IJKL</sup>	47,33 <sup>JKL</sup>	188,85 <sup>D</sup>
<b>16</b>	19,60 <sup>KL</sup>	10,00 <sup>L</sup>	2,27 <sup>L</sup>	0,00 <sup>L</sup>	0,00 <sup>L</sup>	6,37 <sup>E</sup>
<b>Çeşit Ortalaması</b>	1545,76 <sup>A</sup>	1528,51 <sup>A</sup>	1321,95 <sup>B</sup>	1051,09 <sup>C</sup>	1045,63 <sup>C</sup>	
<b>CV</b>	7,519					
<b>LSD</b>	Ç: 99,0549**	D:72,0626**	Ç*D: 312,7478**			
Çimlenme indeksi (%)						
<b>Kontrol</b>	58,33 <sup>A</sup>	57,50 <sup>A</sup>	57,50 <sup>A</sup>	48,33 <sup>B</sup>	55,00 <sup>A</sup>	55,33 <sup>A</sup>
<b>4</b>	42,50 <sup>C</sup>	42,50 <sup>C</sup>	39,17 <sup>CD</sup>	37,50 <sup>D</sup>	38,33 <sup>D</sup>	40,00 <sup>B</sup>
<b>8</b>	31,67 <sup>EF</sup>	33,33 <sup>E</sup>	28,33 <sup>F</sup>	20,00 <sup>GH</sup>	22,50 <sup>G</sup>	27,17 <sup>C</sup>
<b>12</b>	21,67 <sup>GH</sup>	23,33 <sup>G</sup>	18,33 <sup>HI</sup>	15,00 <sup>IJ</sup>	12,50 <sup>J</sup>	18,17 <sup>D</sup>
<b>16</b>	7,50 <sup>K</sup>	5,00 <sup>KL</sup>	2,50 <sup>LM</sup>	0,00 <sup>M</sup>	0,00 <sup>M</sup>	3,00 <sup>E</sup>
<b>Çeşit Ortalaması</b>	32,33 <sup>A</sup>	32,33 <sup>A</sup>	29,17 <sup>B</sup>	24,17 <sup>C</sup>	25,67 <sup>C</sup>	
<b>CV</b>	7,227					
<b>LSD</b>	Çeşit: 2,409**	Doz: 1,532**	Çeşit*Doz:3,426**			

\*: %5 seviyesinde önemli, \*\*: %1 seviyesinde önemli \*: Significant at 5%, \*\*: significant at 1%

Çalışmada kullanılan çeşitlerin farklı tuz konsantrasyonları altında çimlenme oranı değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Çeşitlerin kontrol ve tuz konsantrasyonlarındaki çimlenme oranı ortalama değerlerinin %90,53 ile %4,80 arasında değiştiği en yüksek çimlenme oranı değerinin kontrol grubundan alındığı ve tuz konsantrasyonları arttıkça çimlenme oranı değerinin düştüğü görülmektedir. Çalışma kapsamında en yüksek tuz dozunu oluşturan 16 dS/m grubunda Sentinel çeşidinin diğer

çeşitlere oranla anılan özellik yönünden en iyi değeri aldığı dikkati çekmektedir. Araştırmacılar tarafından yapılan benzer çalışmalar incelendiğinde; Shokouihan ve Omid (2021), şeker pancarında ön tuz uygulamalarının çimlenmeye olan etkisini araştırdıkları çalışmada çimlenme oranının en yüksek kontrol grubunda, en düşük ise 12 dS/m tuz konsantrasyonunda görüldüğünü, Nejadhabibvash ve Bagher Rezaee (2021)' de yaptıkları çalışmada şeker pancarı genotiplerinin anılan özellik yönünden en yüksek tuz konsantrasyonundan (200 mM) olumsuz etkilendiğini bildirmişlerdir. Konu ile ilgili Day ve Uzun (2016)'un yürüttükleri çalışmada çimlenme sırasında ortamın tuz konsantrasyonunun artması ozmotik basıncın artmasına bu duruma bağlı olarak tohumun ortamdaki suyu basınç farkından dolayı alamamasına ve çimlenmenin olumsuz etkilenmesine neden olduğunu savunmuşlardır. Mahdavi ve Sanavy (2007), Fallahi ve ark., (2015), Gheidary ve ark., (2017)' de yaptıkları çalışmalarda artan tuz konsantrasyonlarının çimlenme oranında azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir.

Çimlenme indeksi yönünden çeşitlerin farklı tuz konsantrasyonlarındaki değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Tabloda anılan özelliğin tuz stresi değerlerinin ortalama % 53,33 ile 3,00 arasında değiştiği en yüksek çimlenme indeksi değerinin kontrol grubunda, en düşük değer ise çalışmada en yüksek doz olarak belirlenen 16 dS/m dozunda görüldüğü dikkati çekmektedir. Çalışmada kullanılan çeşitlerde tuz konsantrasyonu arttıkça çimlenme indeksinin düştüğü, söz konusu özellik yönünden en iyi değeri veren çeşidin Sentinel (kontrol grubu) olduğu aynı zamanda çeşidin en yüksek tuz konsantrasyonunda diğer çeşitlere göre daha yüksek değer aldığı aynı tablodan izlenebilmektedir. Çalışmamız farklı bitkilerde tuz stresinin çimlenme indeksi üzerine olan etkilerini araştıran; Okçu ve ark., (2005), Carpıcı ve ark., (2009) ve Ertekin ve ark., (2017)'in bulgularını destekler niteliktedir.

Tohum güç indeksi özelliği yönünden denemeye alınan çeşitler ve uygulanan dozların ortalama ve çoklu karşılaştırmaları tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde anılan özellik yönünden doz uygulamaları arasında farklı gruplar oluştuğu ve en yüksek tohum güç indeksi değerinin kontrol grubundan en düşük değer ise çalışmada en yüksek tuz dozu olarak belirlenen 16 dS/m dozundan alındığı tuzluluğun şiddeti arttıkça tohum güç indeksi değerinin azaldığı izlenebilmektedir. Anılan özellik yönünden çeşitlerin dozlar karşısındaki tepkileri değerlendirildiğinde bütün çeşitlerin kontrol grubunda en iyi değerleri verdiği ve bu yönden özellikle Sentinel ve Diamanta çeşitlerinin öne çıktığı tuzluluk dozlarının arttıkça çeşitlerin de olumsuz etkilendiği dikkati çekmektedir. Konu ile ilgili benzer çalışmalar incelendiğinde Shokouihan ve Omid (2021) yaptıkları çalışmada tohum güç indeksi (vigor index) değerlerinin şeker pancarı genotiplerinde tuzluluk dozları arttıkça azaldığını, kontrol grubuna kıyasla genotiplerin tuz stresinden olumsuz etkilendiğini bildirmiştir. Tatar ve ark., (2018) farklı bir bitkide yaptıkları çalışmada artan tuz konsantrasyonlarına bağlı olarak tohum güç indeksinin giderek azaldığını ve en yüksek tuz konsantrasyonunda en düşük değere ulaştığını bildirmiştir.

#### 4. Sonuç

Tuz stresinin 5 şeker pancarı çeşidinde çimlenme ve erken fide gelişim evrelerine olan etkisini araştırmak amacıyla yürütülen bu çalışmada tuzluluğun çimlenme ve erken gelişme dönemlerinde önemli etkisinin olduğu kontrol ve 4 dS/m gruplarında alınan değerlerin, tuzluluk konsantrasyonları arttıkça azaldığı, en yüksek doz konsantrasyonu olan 16 dS/m grubunda bazı çeşitlerde çimlenme dahi olmadığı sonucuna varılmıştır. Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda araştırmacılar da benzer sonuçlar elde etmişlerdir (Mauromicale ve Licandro, 2002; Demir ve Aril, 2003; Mostafavi, 2012). Bitkilerin özellikle kurak ve yarı kurak iklim kuşağına büyüyüp gelişebilmeleri açısından tuzlu topraklara karşı çimlenme kabiliyetleri yüksek olan çeşit ve genotiplerin belirlenerek üretim desenine alınması etkili bir verim ve kalite potansiyeli için son derece önem arz etmektedir. Çalışma sonucunda elde edilen verilere göre materyal olarak kullanılan çeşitler arasından Sentinel ve Diamenta çeşitlerinin tuzluluk stresine diğer çeşitlere nazaran daha toleranslı olduğu Calixta ve Valentina çeşitlerinin ise tuzluluğa daha hassas olduğu sonucuna varılmıştır.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları kişi/kurum/kuruluşlar ve kendi aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

#### Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

#### Kaynakça

- Adina C., Fetea F., Matei H., Socaciu C. Evaluation of hydrolytic activity of different pectinases on sugar beet (*Beta vulgaris*) substrate using FT-MIR spectroscopy. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 2011; 39(2): 99-104.
- Akıncı S., Çalışkan Ü. Kurşunun bazı yazlık sebzelerde tohum çimlenmesi ve tolerans düzeyleri üzerine etkisi. *Ekoloji Dergisi* 2010; 19(74): 164-172.
- Barsan SC., Ivan AM., Luca LC., Emil L. Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) yields and potential for bioethanol production under irrigation regime. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 2015; 43(2): 455-461.
- Bhattacharjee M., Gautam B., Sarma P., Hazarika D., Goswami R., Langthasa S. Combined effect of organic manures and bio-fertilizers on soil quality, rain water use efficiency and productivity of spinach beet (*Beta vulgaris* var. *bengalensis* Hort.) cv. All green under rainfed upland condition of north bank plain zone of assam 2005; 40(1): 2-8.
- Bilgili U., Budaklı Çarpıcı E., Aşık BB., Çelik N. Root and shoot response of common vetch (*Vicia sativa* L.), forage pea (*Pisum sativum* L.) and canola (*Brassica napus* L.) to salt stress during early seedling growth stages. *Turkish Journal of Field Crops* 2011; 16(1): 33-38.

- Carpıcı EB., Celik N., Bayram G. The effects of salt stress on the growth, biochemical parameter and mineral element content of some maize (*Zea mays* L.) cultivars. African Journal of Biotechnology 2010; 9(41): 6937-6942.
- Carvalho RF., Piotto FA., Schmidt D., Peters LP., Monteiro CC., Azevedo RA. Seed priming with hormones does not alleviate induced oxidative stress in maize seedlings subjected to salt stress. Scientia Agricola 2011; 68(5): 598-602.
- Day S., Uzun S. Farklı tuz konsantrasyonlarının yaygın fiğ (*Vicia sativa* L.) çeşitlerinin çimlenme ve ilk gelişim dönemlerine etkileri. Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi 2016; 4(8): 636-641.
- Demir M., Aril I. Effects of different soil salinity levels on germination and seedling growth of safflower. Turkish Journal Agriculture 2003; 27(1): 221-227.
- Dhanda S., Sethi GS., Behl RK. Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth. Journal of Agronomy and Crop Science 2004; 190(2): 6-12.
- Ellis RH., Roberts EH. Towards a rational basis for seed testing seed quality. Seed Production Journal 1980; 22(1): 605-635.
- Ertekin İ., Yılmaz Ş., Atak M., Can E., Çelikleş N. Tuz stresinin bazı yaygın fiğ (*Vicia sativa* L.) çeşitlerinin çimlenmesi üzerine etkileri. Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2017; 22(2): 10-18.
- Fallahi HR., Fadaeian G., Gholami M., Daneshkhah O., Hosseini, FS., Aghavani-Shajari M., Samadzadeh A. germination response of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) and arugula (*Eruca sativa* L.) to osmotic and salinity stress. Plant Breeding and Seed Science. 2015; 71: 97-108.
- Feghhenabi F., Hadi H., Khodaverdiloo H., Van Genuchten MT. Seed priming alleviated salinity stress during germination and emergence of wheat (*Triticum aestivum* L.). Agricultural Water Management 2020; 231(1): 10-22.
- Gheidary S., Akhzari D., Pessarakli M. Effects of salinity, drought, and priming treatments on seed germination and growth parameters of *Lathyrus sativus* L. Journal of Plant Nutrition. 2017; 40 (10): 1507- 1514.
- Haileselesie TH., Gselasie B. The Effect of salinity (NaCl) on germination of selected grass pea (*Lathyrus sativus* L.) landraces of tigray. Asian Journal of Agricultural Sciences 2012; 4(2): 96-101.
- Hakim MA., Juraimi AS., Begum M., Hanafi MM., Ismail MR., Selamat A. Effect of salt stress on germination and early seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.). African Journal of Biotechnology 2010; 9(13): 1911-1918.
- Handbook of vigour test methods and edition. International seed testing association (ISTA), Zürich, Switzerland 2003; 49-56.
- Karaoğlu M., Yalçın AM. Toprak tuzluluğu ve Iğdır Ovası örneği. Journal of Agriculture 2018; 1(1): 27-41.

- Khajeh-Hosseini M., Powell AA., Bingham IJ. Experimental approach influences soybean (*Glycine max L.*) seed and seedling response to salinity. *Seed Science and Technology* 2005; 33(3): 629-638.
- Mahdavi B., Sanavy, SAMM. Germination and seedling growth in grasspea (*Lathyrus sativus*) cultivars under salinity conditions. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 2007; 10(2): 273-279.
- Mares DJ., Mapping K. Quantitative trait loci associated with variation in grain dormancy in Australian wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* 2001; 52(1): 1257-1265.
- Matthews S., Khajeh-Hosseini M. Length of the lag period of germination and metabolic repair explain vigour differences in seed lots of maize (*Zea mays*). *Seed Science and Technology* 2007; 200-212.
- Mauromicale G., Licandro P. Salinity and temperature effects on germination, emergence and seedling growth of globe artichoke. *Agronomie* 2002; 22(5): 443-450.
- Moreno C., Seal CE., Papenbrock J. Seed priming improves germination in saline conditions for *Chenopodium quinoa* and *amaranthus caudatus*. *Journal of Agronomy and Crop Science* 2018; 204(1): 40-48.
- Mosavikia AA., Mosavi SG., Seghatoleslami M., Baradaran R. Chitosan nanoparticle and pyridoxine seed priming improves tolerance to salinity in milk thistle seedling. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 2020; 48(1): 221-233.
- Mostafavi K. Effect of salt stress on germination and early seedling growth stage of sugar beet cultivars. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture* 2012; 6(2): 120-125.
- Nejadhabibvash F., Rezaee MB. The effect of salinity on seed germination, early seedling growth and anatomical structure of *Beta vulgaris*. *Nova Biologica Reperta* 2021; 7(4): 419-430.
- Okçu G., Kaya MD., Atak M. Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum L.*). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 2005; 29(4): 237-242.
- Pancar Sektör Raporu. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Ekonomi Ve Politika Geliştirme Enstitüsü. Şeker Pancarı Ürün Raporu. 2021; 12(2): 5-11.
- Paparella S., Araújo SS., Rossi G., Wijayasinghe M., Carbonera D., Balestrazzi A. Seed priming state of the art and new perspectives. *Plant Cell Reports* 2015; 34(8): 1281-1293.
- Rao KM., Raghavendra AS., Reddy KJ. Physiology and molecular biology of stress tolerance in plants. *Springer Science Business Media* 2006; 34(1): 2-6.
- Shokohian A., Omid H. Sugar beet (*Beta vulgaris L.*) germination indices and physiological properties affected by priming and genotype under salinity stress. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 2021; 1-5.
- Subramanyam K., Du Laing G., Van Damme EJ. Sodium selenate treatment using a combination of seed priming and foliar spray alleviates salinity stress in rice. *Frontiers in Plant Science* 2019; 10(1): 116.

Tatar N., Öztürk Y., Çarpıcı EB. NaCl ön uygulamalarının farklı tuz seviyelerinde çok yıllık çim (*Lolium perenne* L.)'in çimlenme özellikleri üzerine etkileri. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 2018; 5(1): 28-33.

## Sol-Jel Yöntemiyle Sentezlenen CeO<sub>2</sub>:0,1Er0,1Y Bileşiğinin Farklı Boyalar ile Fotokatalitik Aktivitelerinin İncelenmesi

Handan ÖZLÜ TORUN<sup>1\*</sup>, Soner ÇAKAR<sup>2</sup>, Rabia KIRKGEÇİT<sup>3</sup>, Fatma KILIÇ DOKAN<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi, Elbistan Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 46036, Kahramanmaraş

<sup>2</sup>Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 67100, Zonguldak

<sup>3</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, 46040, Kahramanmaraş

<sup>4</sup>Kayseri Üniversitesi, Mustafa Çıkrıkçıoğlu Meslek Yüksek Okulu, Kimya Bölümü, 38280, Kayseri

<sup>1</sup><http://orcid.org/0000-0002-9858-466X>,

<sup>2</sup><http://orcid.org/0000-0002-3745-954X>

<sup>3</sup><http://orcid.org/0000-0003-0766-721>

<sup>4</sup><http://orcid.org/0000-0002-5355-2904>

\*Sorumlu yazar: handan.ozlutorun@istiklal.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 22.06.2022

Kabul tarihi: 07.11.2022

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

CeO<sub>2</sub>

Fotokatalitik aktivite

Malahit yeşili

Metilen mavisi

### ÖZ

Bu çalışmada, güneş enerjisi yardımıyla CeO<sub>2</sub> temelli fotokatalizör bileşiğinin farklı boyar madde üzerinde etkisi araştırıldı. Çalışmada endüstride sıkça kullanılan ve toksik etkiye sahip metilen mavisi ve malahit yeşilinin CeO<sub>2</sub>:0,1Er0,1Y bileşiği kullanılarak fotokatalitik bozunma davranışı incelendi. Fotokatalizör, sol-jel yöntemi kullanılarak Er ve Y elementlerinin CeO<sub>2</sub> kristal yapısına birlikte katılması ile sentezlendi. Sentez sonrası kristal yapı tayininde x-ışını toz difraktometresi kullanıldı. Sentezlenen örnekler kübik kristal yapısına sahiptir. Fotokatalizör etkinliklerinin araştırılmasında süreye bağlı olarak boya giderimi UV-Vis spektrofotometre ile izlendi. Boya giderim mekanizmasının detaylı incelenmesi amacıyla FT-IR analizinden yararlanıldı. Sonuç olarak, CeO<sub>2</sub>:0,1Er0,1Y bileşiğinin optik bant enerji düzeyi 2,92 eV hesaplandı. Sentezlenen CeO<sub>2</sub> tabanlı bileşiğin fotokatalitik verim sırasıyla malahit yeşili ve metilen mavisi için %48 ve %37 olarak belirlendi.

## Investigation of Photocatalytic Activities of CeO<sub>2</sub>:0.1Er0.1Y Compound Synthesized by Sol-Gel Method with Different Dyes

### Research Article

#### Article History:

Received: 22.06.2022

Accepted: 07.11.2022

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

CeO<sub>2</sub>

Photocatalytic

Malahide green

Methylene blue

### ABSTRACT

In this study, the effect of CeO<sub>2</sub>-based photocatalyst compound on different dye was investigated with the solar energy. In the study, the photocatalytic degradation behavior of methylene blue and malahit green, which are frequently used in industry and have toxic effects, was investigated by using CeO<sub>2</sub>:0,1Er0,1Y compound. Photocatalyst was synthesized by doping Er and Y elements together to CeO<sub>2</sub> crystal structure using sol-gel method. X-ray powder diffractometry was used to determine the crystal structure after synthesis. The synthesized samples have a cubic crystal structure. In the investigation of photocatalyst activities, dye removal was analysed with UV-Vis spectrophotometer. FT-IR analysis was used to examine the dye removal mechanism in detail. As a result, the optical band energy level of CeO<sub>2</sub>:0,1Er0,1Y was calculated as 2,92 eV. The photocatalytic efficiency of the synthesized CeO<sub>2</sub>-based compound was determined as 48% and 37% for malahide green and methylene blue, respectively.

**To Cite:** Torun HÖ., Çakar S., Kırkgeçit R., Kılıç Dokan F. Sol-Jel Yöntemiyle Sentezlenen CeO<sub>2</sub>:0,1Er0,1Y Bileşiğinin Farklı Boyalar ile Fotokatalitik Aktivitelerinin İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 2076-2085.

## 1. Giriş

Günümüzde çevre kirliliğın önüne geçmek, sağlıklı yaşam hakkına sahip tüm canlıların birinci derecede hakkıdır. Üretiminde çok su kullanılan tekstil, ilaç, boya, plastik gibi alanlardan kirlilik içeren suyun toprağı ve temiz içme sularını kirletmesi endüstriyel kaynaklı en önemli sorunlar arasındadır. Bu kirliliklerin önüne geçmek için endüstrideki atık sularda toksik etkiye sahip boyaların bertaraf edilmesi gerekmektedir. Farklı bertaraf yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerden biri de fotokatalitik bozunmadır. Fotokatalitik bozunma, kirleticilerin bozunmasında güneş enerjisini kimyasal enerjiye çeviren ekonomik bir yöntemdir (Koe ve ark., 2020). Fotokatalitik bozunma güneş enerjisi ile bileşiklerin oksidasyona uğrayarak elektron boşluklarının oluşmasını sağlayan bir işlemdir. Bu işlemde kirleticiler güneş ışığı yardımıyla CO<sub>2</sub> ve su gibi zararsız bileşik formlarına dönüşmektedirler. TiO<sub>2</sub> ve ZnO en çok kullanılan fotokatalizör bileşiklerdendir (Veziroglu ve ark. , 2017; Kerli ve ark., 2022). Son zamanlarda bu bileşiklere ek olarak CeO<sub>2</sub> ilgi çekici olmaya başlamıştır (Ma ve ark., 2019; Fauzi ve ark., 2022).

CeO<sub>2</sub>, lantan grubunda yer alır ve yarıiletken özelliğe sahiptir. CeO<sub>2</sub> ve bileşikleri; fotokataliz, yakıt pilleri, suyun ayrışması ve antioksidan vb. uygulamalarında kullanılmaktadır. CeO<sub>2</sub> 3,2 eV'luk geniş bir band enerjisine sahiptir ve kristal örgüde Ce<sup>4+</sup>/Ce<sup>3+</sup> redoks reaksiyonu sonucu oksijen iyon boşlukları içermektedir. Bu oksijen boşlukları ile oksijen depolama özelliğı kazanmakta ve fotokatalizör olarak kullanılmaktadır (Fauzi ve ark., 2022). Bilim insanları CeO<sub>2</sub>'i fotokatalizör olarak bazı boyar maddelerin bertarafında katkı türü, katkı oranı, pH gibi değişkenleri kullanarak araştırmış ve araştırmaktadır. Magdalane ve ark. CeO<sub>2</sub>/Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanokompozitleri hidrotermal yöntem ile sentezlemişler ve rodamin B bozunmasını incelemişlerdir. Rodamin B nin bertarafında 150. Dk da %92 verim elde etmişlerdir (Magdalane ve ark., 2017). Miao ve ark. F doped CeO<sub>2</sub> çalışmışlar ve F in saf CeO<sub>2</sub> bozunmasını 5,5 kez artırdığını tespit etmişlerdir (Miao ve ark., 2016). Liyanage ve ark. CeO<sub>2</sub> bileşiğine Y elementini farklı mol oranlarında katkılayarak indigo karmin boyarmaddenin katalizi ile bozunmasını incelemişler ve katkı oranı arttıkça bozunma yüzdesinin azaldığı sonucunu elde etmişlerdir (Liyanage ve ark., 2014). Xu ve ark. Y, Nd, La ve Sm katkılı CeO<sub>2</sub>'in fotokatalizör olarak bisfenol A (BPA) bozunması ve asetaldehit bozunma etkinliğini incelemişlerdir. Bu çalışmada Sm katkılı CeO<sub>2</sub>'nin diğer katkı türleri ve saf CeO<sub>2</sub>'e göre bisfenol A için üç kat, asetaldehit için ise beş kat daha etkili olduğu sonucuna varmışlardır (Xu ve ark., 2020).

Bu çalışmada, (La, Er) ile kararlı hale getirilmiş CeO<sub>2</sub> fotokatalizörü ile endüstride sıkça kullanılan metilen mavisi ve malahit yeşilinin boyar maddelerinin bozunması incelendi. Metilen mavisi; ilaç sektörü, pamuk, ahşap ve ipek boyamada sıkça kullanılan boyar maddeler arasındadır ve uzun süreli maruziyeti sonucunda göz yanıklarına sebep olmaktadır (Jack ve Leikin, 2003; Rafatullah ve ark., 2010). Bir diğer boyar madde olan malahit yeşili ise tekstil sektöründe yün, iplik, pamuk ve deri boyamada kullanılan toksik boyar maddeler arasındadır. Bu boyar madde de merkezi sinir sistemi ve gastrointestinal üzerinde olumsuz etkilere sahiptir (Mittall, 2006).



## 2. Materyal ve Metot

Yapılan bu çalışmada, CeO<sub>2</sub>:0,1Er0,1Y bileşikleri sitrik asit sol-jel yöntemi ile hazırlandı. Başlangıç kimyasalları olarak cerium (III) nitrat heksahidrat [Ce(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O] (safılık 99,99%, Alfa Aesar), erbiyum(III)nitrat pentahidrat [Er(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.5H<sub>2</sub>O] (safılık 99,9%, Arcos organics) ve itrium(III)nitrat heksahidrat [Y(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O] (safılık 99,9%, Arcos organics) kullanıldı. Başlangıç bileşiklerinin stokiometrik oranda tartımları sonrasında karışım 50 ml saf suda çözüldü. Hazırlanan bu karışımın içerisine etilen glikol ve sitrik asit ilave edildi ve manyetik karıştırıcıda 80 °C’de jelleşme meydana gelene dek yaklaşık 3 saat bekletildi. Jelleşme sonrasında 120 °C de 12 saat ön kurutma işlemi ve sonrasında 600 °C de 48 saat ısıtım işlemi uygulandı. Sentezlenen CeO<sub>2</sub>:0,1Er0,1Y fotokatalizörü XRD, FT-IR ile yapı aydınlatmaları ve fotokatalitik aktivite çalışmaları gerçekleştirildi. Sentezlenen fotokatalizörün kristal yapısının aydınlatmasında Pananalytical Empyrean marka X-ışınları diffraktometresi (Cu K $\alpha$ 1 (1,5406 Å)) ve FT-IR spektrumları Perkin-Elmer Frontier FT-IR spektrometre ile gerçekleştirildi. Fotokatalitik aktivite çalışmalarında metilen mavisi (MB) ve malahit yeşili’nin (MG) 5 ppm (mg/L) çözeltileri kullanıldı. 10 mg CeO<sub>2</sub>:0,1Er0,1Y bileşiği boya çözeltilerine eklenerek absorpsiyon/desorpsiyon dengesini sağlamak amacıyla karanlık ortamda 30 dakika bekletildi. Örnek ile ışık kaynağı arasındaki mesafe 10 cm olacak şekilde yerleştirildi. Ardından örnekler 300 W’lık güneş simülatör altında Shimadzu marka UV-V1s spektrofotometre ile boya bozunmaları 0-120 dakika aralığında tarandı.

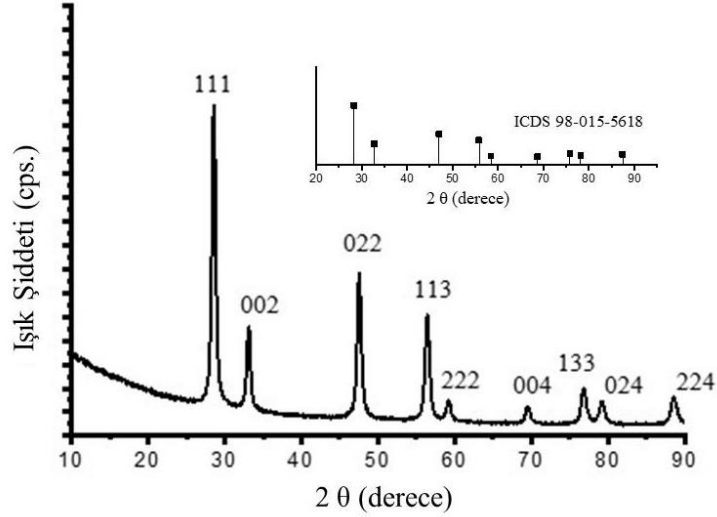
## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. X-Işını Kırınımı Analizi (XRD)

CeO<sub>2</sub>:0,1Er0,1Y bileşiğinin 600 °C 48 saat ısıtım işlemi sonrası x-ışını kırınımı toz deseni Şekil 1’de görülmektedir. Sentezlenen fotokatalizör kübik (fcc) birim hücrelerine sahip ve ICDS 98-015-5618 katalog numarası ile uyumlu olduğu belirlendi. X-ışını toz kırınım analizi sonrasında elde edilen (111), (022) ve (113) pikleri kullanılarak HighScore Plus yazılımında Debye-Scherrer eşitliği ile ortalama kristal boyutu hesaplandı. Bu eşitlik;

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

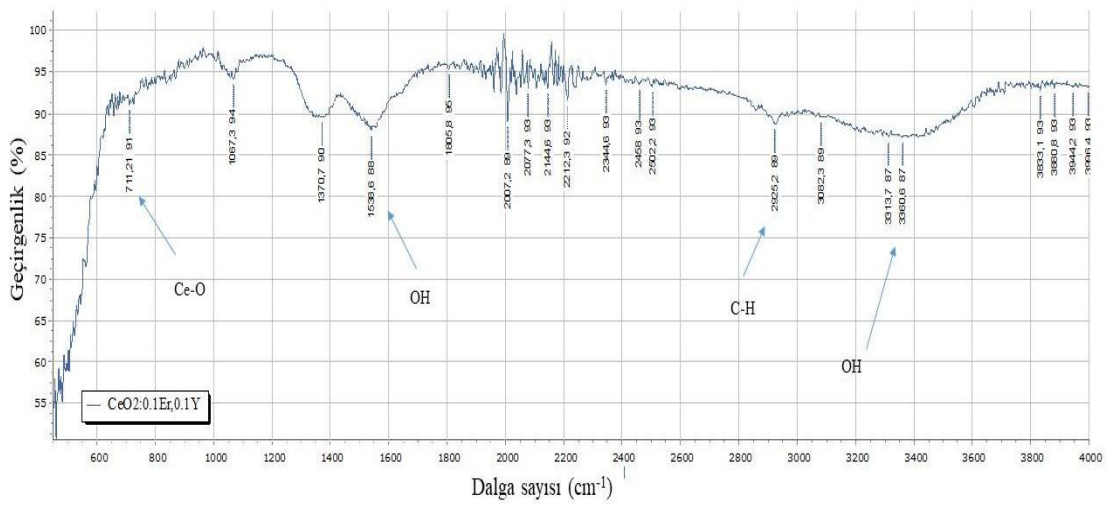
burada k, Debye-Scherrer sabitidir,  $\lambda$ , X-ışınının dalga boyudur,  $\beta$ , FWHM (maksimum yarıda tam genişlik) değeridir ve  $\theta$ , Bragg kırınım açısıdır. Hesaplamalar sonucunda bileşiğin kristal boyutunun 16,74 nm olduğu bulundu. Ayrıca Er<sup>3+</sup> ve Y<sup>3+</sup> katkılanması ile elde edilen kristal yapının birim hücre parametresi a= 5,4085 Å olarak hesaplandı.



Şekil 1. CeO<sub>2</sub>:0,1Er<sub>0,1</sub>Y bileşiğinin x-ışını kırınım deseni.

### 3.2. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FT-IR)

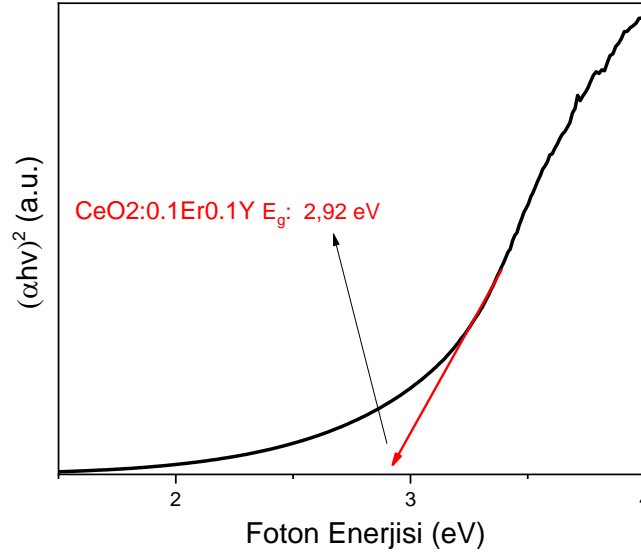
Fourier Dönüşümlü Kızılötesi spektroskopisi (FT-IR) analizi, bileşikteki bağlar ile gerilimleri göstermek için yapılır ve dalga boyunun bir fonksiyonu olarak elde edilen sonuçlara kızılötesi spektrum denir. Fotokatalitik çalışmalarda, reaksiyonda -OH oluşumu boyanın degradasyonu için önemlidir. Bu sebeple sentezlenen CeO<sub>2</sub>:0,1Er<sub>0,1</sub>Y fotokatalizörde ki -OH bağlarını göstermek amacıyla FT-IR analizi gerçekleştirildi. FT-IR spektrum 4000-400 cm<sup>-1</sup> aralığında kaydedildi ve analiz grafiği Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 2’deki FT-IR spektrumunu incelediğimizde 3442-1629 cm<sup>-1</sup>’deki karakteristik tepe noktası O-H çekme titreşiminden kaynaklanmaktadır (Asena ve ark., 2021). FT-IR spektrumunda görülen 711 cm<sup>-1</sup>’deki pik Ce-O bağını göstermekte ve XRD spektrumları ile elde edilen CeO<sub>2</sub> kristal yapısının başarılı bir şekilde sentezlendiğini desteklemektedir.



Şekil 2. CeO<sub>2</sub>:0,1Er<sub>0,1</sub>Y bileşiğinin fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi grafiği.

### 3.3. Ultraviyole/Görünür Bölge Absorpsiyon Spektrofotometre Analizi (UV-VIS)

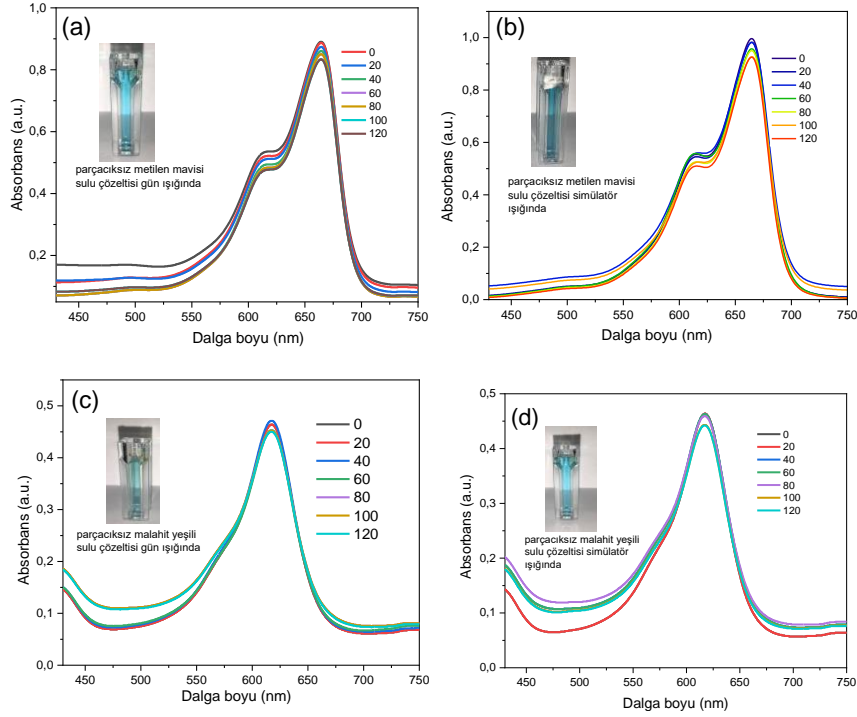
Literatürde saf  $\text{CeO}_2$ 'in optik band aralığı yaklaşık 3,1 eV'tur.(Tiwari ve ark., 2019) .  $\text{CeO}_2:0,1\text{Er}0,1\text{Y}$  bileşiğinin optik band aralığı Şekil 3'te yer alan Tauc plot grafiği yardımıyla 2,92 eV olarak bulunmuştur.  $\text{Er}^{3+}$  ve  $\text{Y}^{3+}$  katyonlarının band aralığını düşürdüğü anlaşılmıştır. Optik band aralığındaki düşme, boya bozunma sonuçları incelendiğinde verim artışı sağlanmıştır.



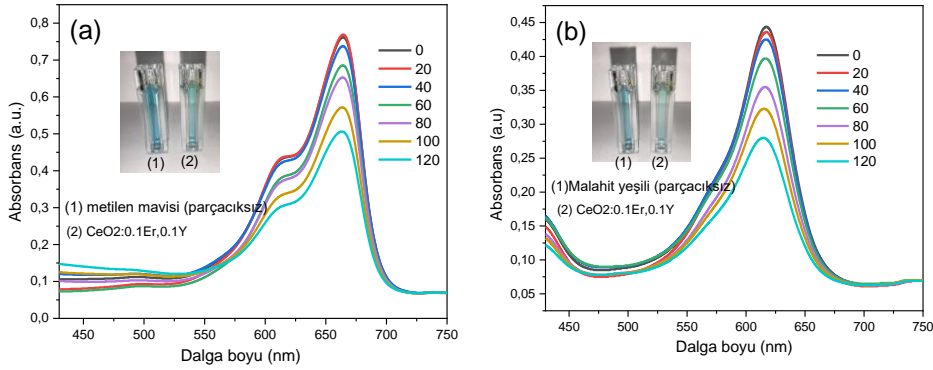
Şekil 3.  $\text{CeO}_2:0,1\text{Er}0,1\text{Y}$  bileşiğinin Tauc plot grafiği.

Boyar madde olan metilen mavisi ve malahit yeşili katyonik boyar madde grubunda yer almaktadır. Şekil 4'te bu çalışmada kullanılan metilen mavisi ve malahit yeşili boyar maddelerin parçacıksız absorpsanlarına ait grafikler görülmektedir. Şekilde 4'te görüldüğü üzere çeşitli parametreler ele alınarak  $\text{CeO}_2:0,1\text{Er}0,1\text{Y}$  fotokatalist bileşiği yok iken, gün ışığında ve simülasyon eşliğinde bozunma verimlerinin düşük olduğu sonucuna varılmaktadır.

Şekil 5'te ise metilen mavisi ve malahit yeşili boyar maddeleri için fotokatalizör bileşiği varlığında değişkenlik gösteren absorpsan grafikleri yer almaktadır. Sentezlenen  $\text{CeO}_2:0,1\text{Er}0,1\text{Y}$  katalizör varlığında metilen mavisi ve malahit yeşili boyar maddelerinin güneş enerjisi simülasyonu yardımı ile bozunma çalışmaları gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 4.** Metilen mavisi parçacıksız sulu çözelti (a- gün ışığı, b- simülator), malahit yeşili parçacıksız sulu çözelti (c- gün ışığı, d- simülator) grafiği.



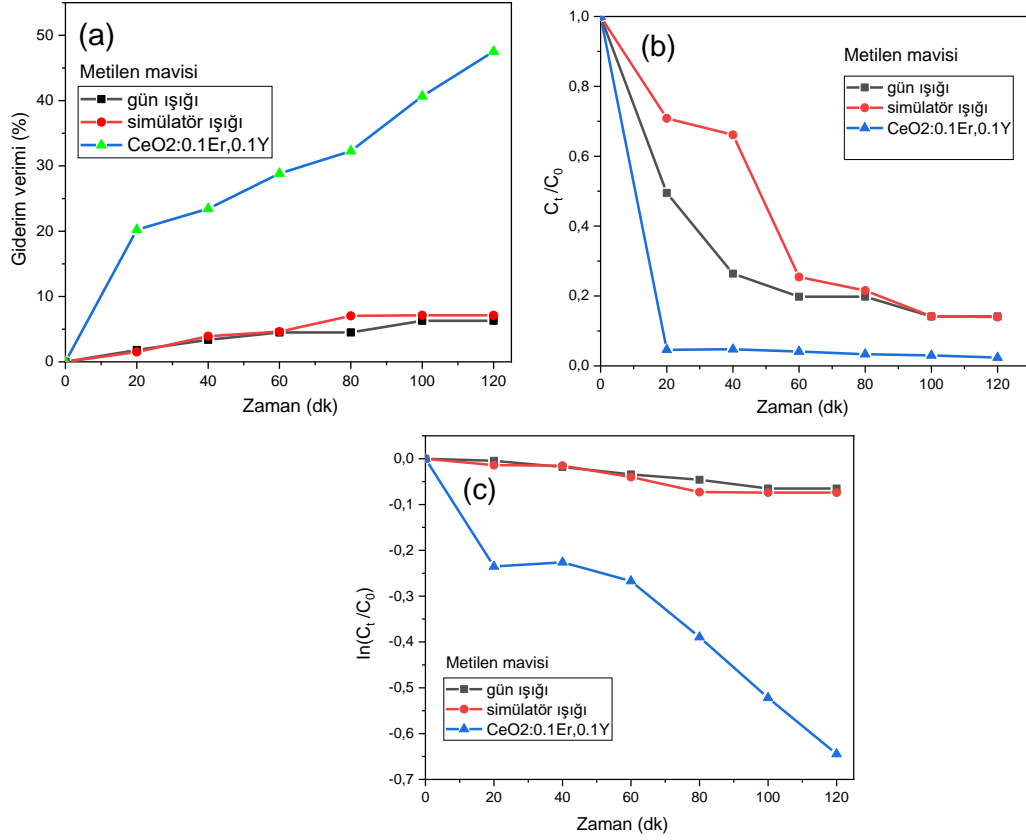
**Şekil 5.** Metilen mavisi (a), malahit yeşili (b) sulu çözeltisinde  $CeO_2:0,1Er,0,1Y$  katalizör grafiği.

Metilen mavisi boyası üzerinde 664 nm'de maksimum absorban dikkate alınarak hesaplamalar yapıldı. Malahit yeşili (MG) boyasının 617 nm'de maksimum absorban zirvesine sahip olduğu belirlendi. 0-120 dk sonunda eşitlik 2 kullanılarak hesaplanan verimin grafikleri ise Şekil 6-7'de verildi.

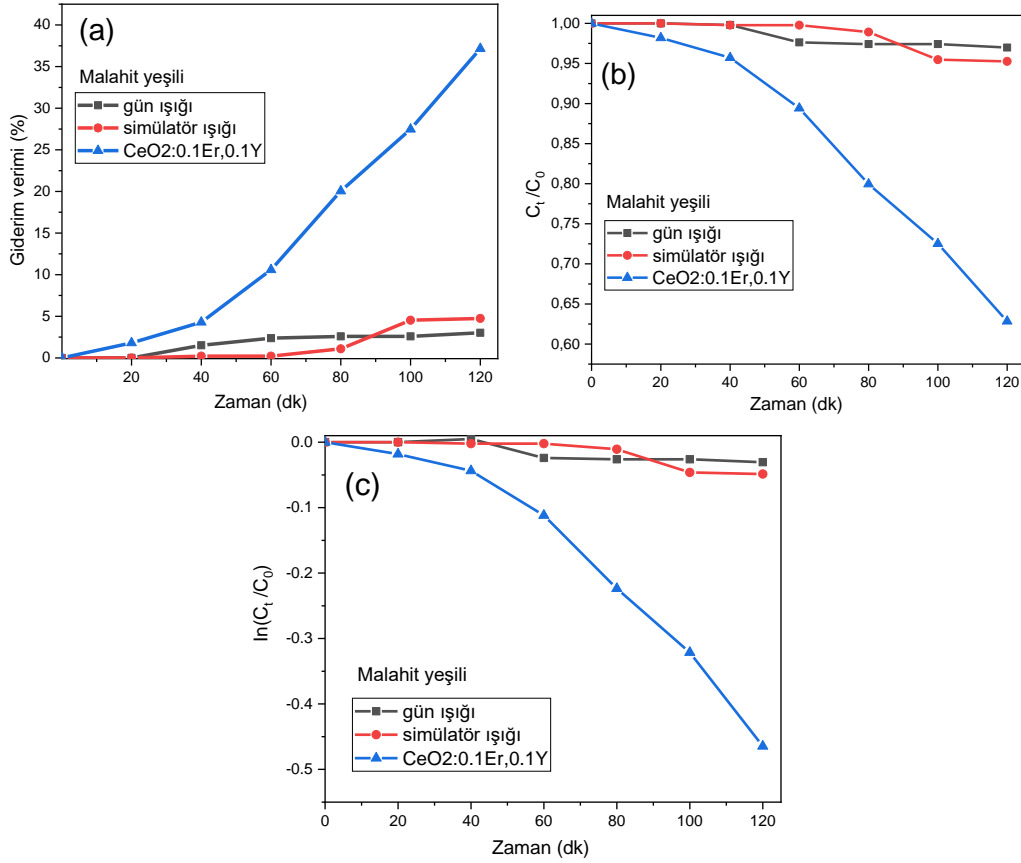
Eşitlik 2:

$$\% \text{ Bozunma Aktivitesi} = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

Burada  $C_0$ , başlangıç konsantrasyonu ve  $C$ , 120 dk.'da elde edilen konsantrasyonu temsil etmektedir.



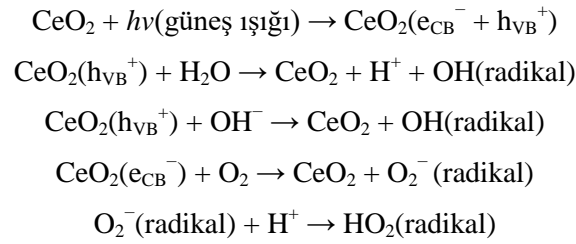
Şekil 6. Metilen mavisi boyar maddesinin; (a) Zamana bağlı bozunma verim grafiği, (b)  $C_t/C_0$  Zamana karşı eğri grafiği, (c)  $\ln(C_t/C_0)$  zamana karşı eğri grafiği.



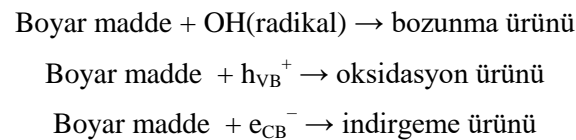
Şekil 7. Malahit yeşili boyar maddesinin; (a) Zamana bağlı bozunma verim grafiği, (b)  $C_t/C_0$  Zamana karşı eğri grafiği, (c)  $\ln(C_t/C_0)$  zamana karşı eğri grafiği.

Yapılan bir araştırmada CeO<sub>2</sub>'in metilen mavisi boya bozunma verimi %35 olarak bulunmuştur (Younis ve ark., 2016). Torun ve ark., 800 °C de sinterlenmiş katkısız CeO<sub>2</sub> metilen mavisi ile yapılan çalışmalarında verimi 100 dakikanın sonunda % 31 olarak hesaplamışlardır (Torun ve ark., 2021). Görüldüğü üzere katkısız CeO<sub>2</sub> in boya giderimi konusunda verimi düşüktür. Ancak katkılama ile verim artışı literatür çalışmaları ile desteklenmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki çalışmalara göre Xioa ve ark.,2018, farklı oranlarda Cu katkılı CeO<sub>2</sub> in fotokatalizör etkisini metilen mavisi kullanarak araştırmışlardır. 120 dk. sonunda en yüksek verimi ise %5 Cu katkılı CeO<sub>2</sub> bileşiği için yaklaşık %35 olarak hesaplamışlardır . Malahit yeşilinin bozunması amacıyla CeO<sub>2</sub>'e CdO katkılamanın Magdalene ve ark.,(2017), farklı miktarlarda katalizör kullanmışlardır. 120 dk. sonunda en yüksek verimi 40 mg fotokatalizrde yaklaşık %25 olarak hesaplamışlardır. Kırkgeçit ve Torun, 2020, La, Ho birlikte katkılı CeO<sub>2</sub> bileşiklerin metilen mavisi üzerinde katalitik etkisini araştırmışlar ve 100.dakika sonunda en yüksek verimi %46 olarak hesaplamışlardır. Bu çalışmada ise yapılan hesaplamalara göre fotokatalitik verim malahit yeşili için %37, metilen mavisi için %48 olarak hesaplandı. Sonuçlar literatür ile kıyaslandığında Er ve Y katkılamanın her iki boyar maddenin bertarafında verim artırcı olduğu görülmektedir.

Güneş enerjisi yardımı ile fotokatalitik bozunma sırasında gerçekleşen bozunmanın kimyasal enerjiye dönüşmesi esnasındaki reaksiyonlar ise aşağıda verilmiştir (Akpan ve Hameed, 2009):



Yarıiletken metal oksitte valans bandında bulunan elektron güneş enerjisi sayesinde iletkenlik bandına taşınır. Boyanın bozunması Güneş enerjisinin de etkisi ile oluşan -OH radikalinin kuvvetli oksitleyici özelliği sayesinde sağlanır. Boyar madde bozunma adımları:



şekil 2'de analiz grafiği verilen FT-IR sonuçlarına göre oluşan -OH radikalleri malahit yeşili ve metilen mavisinin bozunmasına neden olmaktadır.

## **Sonuçlar**

X-ışınları toz difraktometre verilerine göre sol-jel yöntemi ile kübik kristal örgüye sahip CeO<sub>2</sub>:0,1Er0,1Y bileşiği elde edildi. Malahit yeşili ve metilen mavisi kullanılarak fotokatalizör özellikleri incelendi ve boya bozunmasında etkili olduğu bulundu. CeO<sub>2</sub>:0,1Er0,1Y bileşiğinin optik band aralığı 2,92 eV olarak Tauc grafiğinden hesaplandı. Sentezlenen CeO<sub>2</sub>:0,1Er0,1Y fotokatalizörünün verimi malahit yeşili için %37, metilen mavisi için %48 olarak hesaplandı. CeO<sub>2</sub>, Er<sup>3+</sup> ve Y<sup>3+</sup> nadir toprak elementlerinin katkılanması ile enerji transferinin arttırılmasından kaynaklanabilecek optik aktivitelerini önemli ölçüde geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

## **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederiz.

## **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Araştırma konusu birinci yazar tarafından belirlenmiştir. Deneysel süreçlerin yorumlanmasında yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamıştır. Tüm yazarlar, makalenin son haline onay vermiştir.

## **Kaynaklar**

- Akpan UG., Hameed BH. Parameters affecting the photocatalytic degradation of dyes using TiO<sub>2</sub>-based photocatalysts: a review. *Journal of Hazardous Materials* 2009; 170(2-3): 520-529
- Aseena S., Abraham N., Babu VS. Morphological and optical studies of zinc doped cerium oxide nanoparticles prepared by single step co-precipitation method. *Materials Today: Proceedings* 2021; 80(3): 1901-1905
- Fauzi AA., Jalil AA., Hassan NS., Aziz FFA., Azami MS., Hussain I., Vo DV. A critical review on relationship of CeO<sub>2</sub>-based photocatalyst towards mechanistic degradation of organic pollutant. *Chemosphere* 2022; 286: 131651.
- Jack Clifton II., Leikin JB. Methylene blue. *American journal of Therapeutics* 2003; 10(4): 289-291.
- Koe WS., Lee JW., Chong WC., Pang YL., Sim LC. An overview of photocatalytic degradation: photocatalysts, mechanisms, and development of photocatalytic membrane. *Environmental Science and Pollution Research* 2020; 27(3): 2522-2565.
- Kerli S., Kavgacı M., Soğuksu AK., Avar B. Photocatalytic degradation of methylene blue, rhodamine-b, and malachite green by Ag@ ZnO/TiO<sub>2</sub>. *Brazilian Journal of Physics* 2022; 52(1): 1-11.
- Liyanage AD., Perera SD., Tan K., Chabal Y., Balkus Jr, KJ. Synthesis, characterization, and photocatalytic activity of Y-doped CeO<sub>2</sub> nanorods. *Acs Catalysis* 2014; 4(2): 577-584.
- Ma R., Zhang S., Wen T., Gu P., Li L., Zhao G., Wang X., A critical review on visible-light-response CeO<sub>2</sub>-based photocatalysts with enhanced photooxidation of organic pollutants. *Catalysis Today* 2019; 335: 20-30.

- Mittal A. Adsorption kinetics of removal of a toxic dye, Malachite Green, from wastewater by using hen feathers. *Journal of hazardous materials* 2006; 133(1-3): 196-202.
- Magdalane CM., Kaviyarasu K., Vijaya JJ., Siddhardha B., Jeyaraj B. Facile synthesis of heterostructured cerium oxide/yttrium oxide nanocomposite in UV light induced photocatalytic degradation and catalytic reduction: synergistic effect of antimicrobial studies. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 2017; 173: 23-34.
- Magdalane CM., Kaviyarasu K., Vijaya JJ., Jayakumar C., Maaza M., Jeyaraj B. Photocatalytic degradation effect of malachite green and catalytic hydrogenation by UV-illuminated CeO<sub>2</sub>/CdO multilayered nanoplatelet arrays: investigation of antifungal and antimicrobial activities. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 2017; 169: 110-123.
- Miao H., Huang GF., Liu JH., Zhou BX., Pan A., Huang WQ., Huang GF. Origin of enhanced photocatalytic activity of F-doped CeO<sub>2</sub> nanocubes. *Applied Surface Science* 2016; 370: 427-432.
- Kırkgeçit R., Torun HÖ. La<sup>3+</sup>, Ho<sup>3+</sup> katkılı seryum oksidin sol-jel yöntem ile sentezi: kafes kusurları ve optik özellikleri üzerindeki değişim. *Eurasian Journal of Biological and Chemical Sciences* 2020; 3(Suppl 1): 180-188.
- Rafatulla M., Sulaiman O., Hashim,R., Ahmad A. Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: a review. *Journal of Hazardous Materials* 2010; 177(1-3): 70-80.
- Tiwari S., Rathore G., Patra N., Yadav AK., Bhattacharya D., Jha SN., Sen S. Oxygen and cerium defects mediated changes in structural, optical and photoluminescence properties of Ni substituted CeO<sub>2</sub>. *Journal of Alloys and Compounds* 2019;782: 689-698.
- Torun HÖ., Kırkgeçit R., Dokan FK., Öztürk E. Preparation of La-Dy-CeO<sub>2</sub> ternary compound: Examination of photocatalytic and photoluminescence properties. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 2021; 418: 113338.
- Veziroglu S., Kuru M., Ghorri MZ., Dokan FK., Hinz AM., Strunskus T., Aktas OC. Ultra-fast degradation of methylene blue by Au/ZnO-CeO<sub>2</sub> nano-hybrid catalyst. *Materials Letters* 2017; 209: 486-491.
- Xiao Y., Jin X., Zhang L., Luo H., Li J. Preparation and photocatalytic performance of Cu-doped CeO<sub>2</sub> by citrate combustion method. *Integrated Ferroelectrics* 2018; 191(1): 169-179.
- Xu B., Yang H., Zhang Q., Yuan S., Xie A., Zhang M., Ohno T. Design and synthesis of Sm, Y, La and Nd-doped CeO<sub>2</sub> with a broom-like hierarchical structure: a photocatalyst with enhanced oxidation performance. *Chem Cat Chem* 2020; 12(9): 2638-2646
- Younis A., Chu D., Kaneti YV., Li S. Tuning the surface oxygen concentration of {111} surrounded ceria nanocrystals for enhanced photocatalytic activities. *Nanoscale* 2016; 8(1): 378-387.



## Direct Analysis of Chlorine Ionized Mortar and Its Sensor Application By 2.45GHz Antennas

Murat ÖZTÜRK<sup>1</sup>, Fatih Özkan ALKURT<sup>2\*</sup>, Umur Korkut SEVİM<sup>3</sup>, Oğuzhan AKGÖL<sup>4</sup>, Muharrem KARAASLAN<sup>5</sup>

<sup>1,3</sup> Iskenderun Technical University, Department of Civil Engineering, 31200, Iskenderun, Hatay, Türkiye

<sup>2,4,5</sup> Iskenderun Technical University, Department of Electrical and Electronics Engineering, 31200, Iskenderun, Hatay, Türkiye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-3389-4883>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-9940-0658>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-6268-4909>

<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-1423-1569>

<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0003-0923-1959>

\*Corresponding author: fozkan.alkurt@iste.edu.tr

### Research Article

### ABSTRACT

#### Article History:

Received: 14.03.2022

Accepted: 05.10.2022

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Ionised concrete  
Microwave antenna  
Sensor

In this paper, a system is proposed that discriminates mortar including sea sand by using microwave patch antennas. The composites with sea sand have vital importance in construction engineering industry because ionised steel reinforced composites could cause life threatening damages. Firstly, to analyse mortar including sea sand, 0%, 25%, 50%, 75% and 100% chlorine ionised sea sand containing concrete samples were produced and relative complex dielectric measurements were conducted. In addition, two 2.45GHz patch antennas were designed in microwave simulator and also it was integrated to the concrete models. Furthermore, simulated results show that this approach could be used as a sensor with nearly 30MHz resonance shifts. Finally, proposed system was supported by experimental investigation. This type of configuration has many advantages as easy design, easy fabrication, cheap and flexible to non-destructive cement based composite measurements.

## Klor İyonize Harcın Doğrudan Analizi ve 2,45GHz Antenler ile Sensör Uygulaması

### Araştırma Makalesi

### ÖZ

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 14.03.2022

Kabul tarihi: 05.10.2022

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

İyonize beton  
Mikrodalga anten  
Sensör

Bu makalede, mikrodalga yama antenleri kullanarak deniz kumu içeren çimento harcını ayırt eden bir sistem önerilmektedir. Deniz kumu kullanılan kompozit betonlar çelik takviyeli yapılarda kullanıldığında hayati tehlike oluşturabilecek hasarlara neden olabileceğinden inşaat mühendisliği sektöründe büyük bir öneme sahiptir. Öncelikle deniz kumu içeren çimento esaslı kompoziti analiz etmek için %0, %25, %50, %75 ve %100 klor iyonize deniz kumu içeren beton numuneleri üretilmiş ve relatif kompleks dielektrik ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca mikrodalga simülöründe 2 adet 2.45GHz yama anteni tasarlanmış ve beton modellere entegre edilmiştir. Ayrıca, simüle edilmiş sonuçlar, bu yaklaşımın yaklaşık 30MHz rezonans kaymalarına sahip bir sensör olarak kullanılabilmesini göstermektedir. Son olarak önerilen sistem deneysel araştırmalarla desteklenmiştir. Bu tip konfigürasyon, kolay tasarım, kolay imalat, ucuz ve esnekten tahribatsız çimento bazlı kompozit beton ölçümlerine kadar birçok avantaja sahiptir.

**To Cite:** Öztürk M., Alkurt FÖ., Sevim UK., Akgöl O., Karaaslan M. Direct Analysis of Chlorine Ionized Mortar and Its Sensor Application By 2.45GHz Antennas. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 2086-2094.

## 1. Introduction

Cement-based composites are the most common building materials used because of their mechanical properties. It is reported that approximately 25 million tons of concrete were produced and used worldwide in 2016 (Xiao et al., 2017). It is foreseen that the need for concrete, which has become a part of civil life, will not decrease. Due to the advantages, it offers, the need for concrete will increase with increasing population. Thus, maintenance and repair are very important for concrete (James et al., 2019).

The majority of the buildings today consist of reinforced concrete structures. The deterioration of this material is usually caused by chemical and physical effects due to environmental conditions such as acid attack, sulphate attack, fire and chlorine ions penetration (Angst, 2019). Corroded steel bars cause internal pressures in their embedded structures. In addition, corrosion of the reinforcement would cause a decrease in the strength of the reinforced concrete structure as there would be an effective diameter reduction in the reinforcement (Bilcik and Holly, 2013).

Chlorine ions lead to the breakdown of the passive oxide film on the steel bars in the concrete, in other words, the corrosion begins in a shorter time. For corrosion of the steel, moisture, oxygen and chlorine ion penetration into the reinforced concrete is sufficient. Iron ions and chlorine ions react with water to form ferrous hydroxide and hydrochloric acid. Corrosion is severely exacerbated by the conversion of this hydrochloric acid into chlorine and hydrogen ions. Chlorine ions enter the cement-based structures through additives, sea sands, aggregates etc. Detecting chlorine content in the concrete structure would help reduce the risk of deterioration of reinforced concrete structures. It is very important to keep the chlorine ion leaking into the reinforced concrete or in the concrete mixture under control. The maximum chlorine content that can be kept in reinforced concrete structures is determined in international codes (ACI committee 222, 2001; JGJ 52-2006, 2006; Song et al., 2019). These amounts are strictly limited.

Due to various materials such as chemicals, de-icing salts, sea water and sea sand, chlorine ion can penetrate the reinforced concrete structure (JASS 5, 1993). While designing impermeable concrete to limit the ions leaking into the concrete structure (Zhang et al., 2020), it is possible to prevent corrosion by coating the reinforcement inside the concrete (Cui et al., 2019). It is also an effective method to limit the amount of chlorine contained in the mix materials in the concrete structure.

Just as it is important to limit the chloride content in reinforced concrete structures, it is also necessary to carry out inspections in these structures. Risks such as non-compliance or ion leakage into the structure may be encountered. Chemical analyse is one of the methods to determine chloride content and penetration depth quantitatively (ASTM C1152, 2012; ASTM C1218, 2017). Some of others are estimation of diffusion coefficient using steady state methods and measuring partial conductivity of ions (Lu, 1997; Zheng et al., 2018), electrical migration techniques, probabilistic methods (Sun et al., 2019), laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry method (Bonta et al., 2016), etc.

(Arya et al., 1987; Stanish et al., 1997; Lee et al., 1998; Zhang and Xi, 2016; Zhou et al., 2017; Watanabe et al., 2019).

In the past decades electromagnetic analysis are widely used as a non-destructive test method due to its advantages such as low-cost, reliability, time-saving and safety. The electromagnetic tests are based on the relationship between the waves coming from a transmitter to the receiver or the wave from the transmitter to the transmitter. The test is performed by taking into account the losses, reflections, transmissions or absorptions of the waves during the tests. Moisture content, hydration mechanism, carbonation, high temperature, aging, dispersion of fibres, strength, water content is determined by electromagnetic test methods in literature recently (Guihard et al., 2018; Kim et al., 2018; Dexing et al., 2018; Dérobert et al., 2018; Shen et al., 2019; Teng et al., 2019).

In this study, electromagnetic based a novel sensor was designed for the detection of chlorine ions in cement-based structures. Cement-based composites containing different amounts of sea sand were produced. The composites were tested with designed sensors. Finally, a correlation between chlorine content of the composites and output from the antenna was established.

## **2. Production of Ionised Concrete Samples**

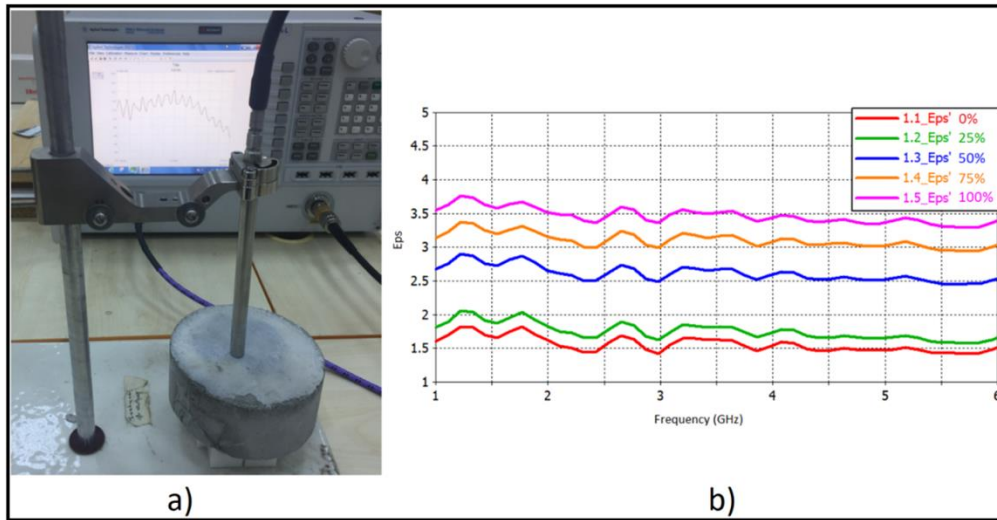
Ordinary Portland cement, crushed fine aggregate having 2.6 specific gravity and 4 mm maximum grain size, sea sand having 2.7 specific gravity and 4 mm maximum grain size and tap water were used to prepare cement-based composites. For all mixtures cement: aggregate: water ratio was kept constant as 1:2.47:0.485. A control sample was prepared with the above ingredients except for sea sand. Other samples were prepared by displacing sea sand and crushed fine aggregate by weight in the cement-based composite.

In order to produce cementitious composite, aggregate and cement were dry mixed in the first stage, then water was added and mixed. The mixing by a pan type revolving mixer was continued until a homogenous mixture was obtained. The prepared mixture was poured into 10 cm in diameter and 5 cm high cylindrical moulds for sensor application. The composites were separated from the moulds after 24 hours of pouring. Then the samples were air cured for additional 27 days before the analyses.

## **3. Relative Dielectric Constant Measurements of Ionised Concrete Samples**

The relative complex dielectric constants of five different samples, which were 28 days air-cured, were measured by using Agilent PNA-L network analyser as illustrated in Fig.1a. The measured samples are containing 0%, 25%, 50%, 75% and 100% sea sand in their ingredients. According to measurements, there are dielectric constant differences between five samples as given in Fig.1b. As seen, there are significant differences in dielectric constants; the 0% sea sand included sample has relative dielectric constant about 1.5 in 1-6GHz band. Moreover, the 25%, 50%, 75% and 100% sea sand included samples have mean 1.8, 2.7, 3.2 and 3.7 dielectric constants, respectively. These linear

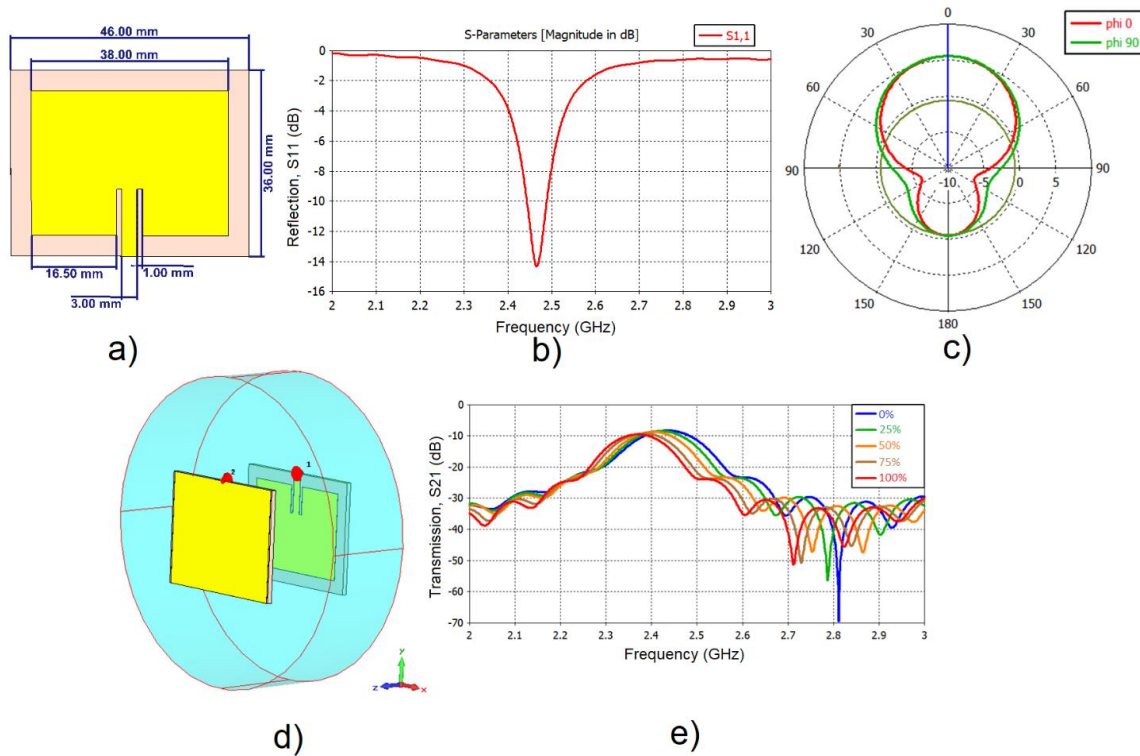
differences caused by ionised particles because these ionised particles change electrical properties of concrete samples (Foudazi and Donnell, 2017).



**Figure 1. a.** Complex dielectric value measurement of samples and **b.** real part of dielectric values of five different samples

#### 4. Sensor Design by Using 2.5ghz Patch Antennas

The measured relative complex dielectric constant values were imported to the finite integrated technique-based microwave simulator and then cylindrical concrete samples, which has 5cm radius and 5cm height, were created by using the imported relative dielectric constants for simulation studies. In the microwave simulation program, open boundaries were set and numerical analysis were done and a discrete port was connected to each antenna to excite antenna elements. In addition, antenna dimensions were given in Fig.2a and antenna S11 characteristics and radiation patterns were also given in Fig.2b and Fig.2c. Moreover, two 2.45GHz patch antennas were designed and integrated to the concrete samples as illustrated in Fig.2d to discriminate the composites. 2.45GHz operating frequency is one of the most used frequency band in many applications such as medical and communication applications, this is the aim of choosing 2.45GHz centre frequency in this study. In antenna design, FR-4 dielectric material is used in substrate layer and copper is used as resonator and ground plane parts. In addition, as shown in Fig.2e, transmission resonance frequencies of patch antennas have a good resonance shifts between 2.36GHz and 2.44GHz with 8dB transmission values. This resonance shift is nearly linear and about 20MHz resonance differences were obtained in each two transmission values. This resonance shifts allows us to use this process in sensing application (Altıntaş et al., 2019). As a result, the centrally located 2.45GHz patch antenna is used as a sensor structure in discrimination of sea sand which causes life threatening damages in constructions.



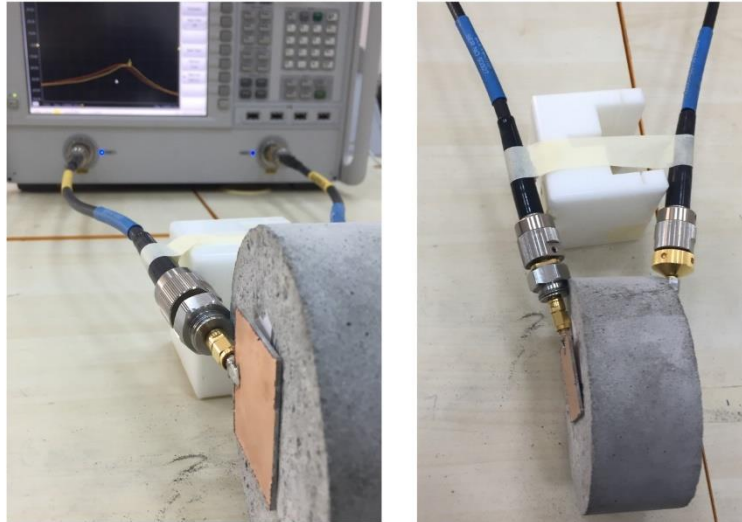
**Figure 2.** a. Antenna dimension, b. antenna S11 characteristics, c. antenna radiation pattern, d. concrete setup and e. transmission values

### 5. Experimental Investigation

Designed two 2.45GHz patch antennas were fabricated by using LPKF-E33 circuit printer and fabricated antennas are given in Fig.3 by using copper covered FR-4 dielectric plates. Moreover, feed connectors were soldered to the antennas as shown in figure. In addition, Agilent PNA-L network analyser was used in experimental investigation. Before the experimental processes, vector network analyser was calibrated to increase the accuracy of measurements. Experimental setup is shown in Fig.4, two fabricated patch antennas were connected to the coaxial probes. As shown in figure, each patch antennas were located in each side faces of cylindrical concrete samples. Five different concrete samples were investigated and each transmission values were recorded.



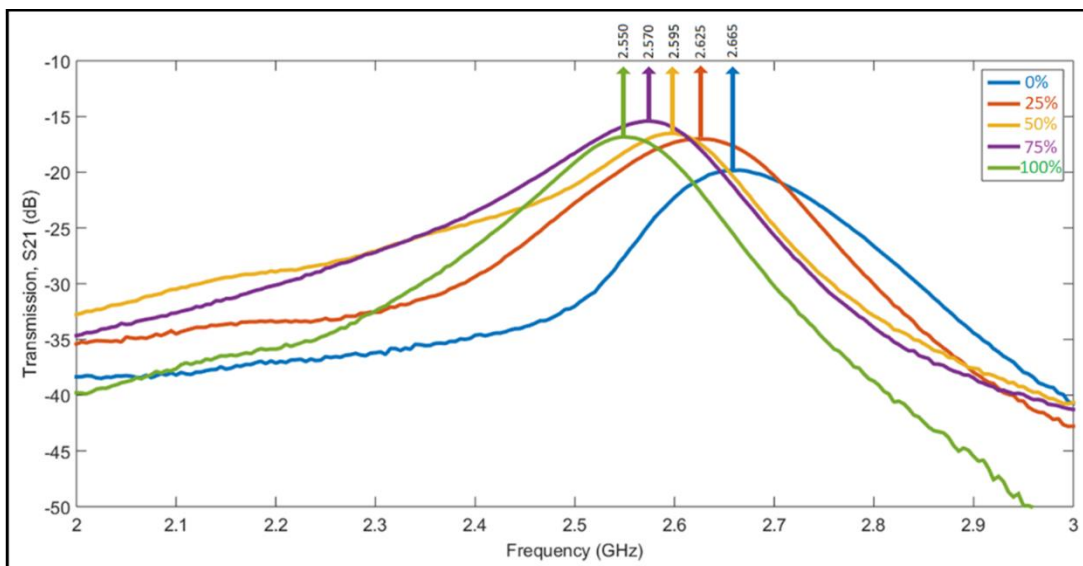
**Figure 3.** Fabricated antennas



a) b)  
**Figure 4.** Sample measurements

### 6. Results and Discussions

The experimentally measured transmission values between patch antennas in integration of composite samples are plotted and given in Fig.5. According to experimental measurements, nearly a linear resonance shifts were obtained between the frequencies of 2.550GHz and 2.665GHz. With the reference sample which does not include sea sand, the transmission frequency is 2.665GHz as seen in figure and also composites including 25%, 50%, 75% and 100% sea sand have resonances at 2.625GHz, 2.595GHz, 2.570GHz and 2.550GHz respectively. These resonance differences could be used in sensor application to discriminate mortar including sea sand because this is a vital problem in civil engineering applications. These different resonances caused by the different relative complex dielectric values of chlorine content of the samples.



**Figure 5.** Transmission values of 5 different concrete samples

In this study, antenna-based mortar sensor structure is proposed to detect chlorine ionised sand particles in the concrete composites. As mentioned before, ionised sand particles especially chlorine ions cause corrosions in construction materials so, therefore that situation causes many destructive results in earthquake cases unfortunately. According to sensory model of this paper, proposed model has high sensibility capacity and it has many advantages such as easy fabrication, easy integration and cheap.

## **7. Conclusions**

In this manuscript, we propose a sensor system that discriminates mortar including sea sand to prevent destructive effects in construction industry. Chlorine ionised sand particles are very important because they cause corrosions in steel reinforced constructions and these undesired situations are also important for human life in constructed buildings. Firstly, five different concrete samples were produced by 0%, 25%, 50%, 75% and 100% chlorine containing sands. Moreover, relative complex dielectric constants of produced samples were measured by vector network analyser and measured values were imported to the electromagnetic simulator. According to imported relative dielectric constants, cylindrical samples and two 2.45GHz patch antennas were modelled and simulated. Resonance frequency shifts of antenna transmission values show that mortar including sea sand could be detected by this approach. Finally, simulation results are supported by experimental measurements, fabricated samples and patch antennas tested in microwave laboratory. According to experimental approaches, there are nearly 25MHz resonance differences hence this shows proposed system can be used in civil engineering application with high accuracy.

## **Statement of Conflict of Interest**

Authors have declared no conflict of interest.

## **Author's Contributions**

The contribution of the authors is equal.

## **References**

- ACI committee. Protection of metals in concrete against corrosion. Farmington Hills 2001; ACI 222R-01.
- Altıntaş O., Aksoy M., Ünal E., Karaaslan M. Chemical liquid and transformer oil condition sensor based on metamaterial-inspired labyrinth resonator. *Journal of The Electrochemical Society* 2019; 166(6): B482.



- Angst UM. Predicting the time to corrosion initiation in reinforced concrete structures exposed to chlorides. *Cement and Concrete Research* 2019; 115: 559-567.
- Arya C., Buenfeld NR., Newman JB. Assessment of simple methods of determining the free chloride ion content of cement paste. *Cement and Concrete Research* 1987; 17(6): 907-918.
- ASTM C1152. Standard test method for acid-soluble chloride in mortar and concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA 2012.
- ASTM C1218. Standard test method for water-soluble chloride in mortar and concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA 2017.
- Bilcik J., Holly I. Effect of reinforcement corrosion on bond behaviour. *Procedia Engineering* 2013; 65: 248-253.
- Bonta M., Eitzenberger A., Burtscher S., Limbeck A. Quantification of chloride in concrete samples using LA-ICP-MS. *Cement and Concrete Research* 2016; 86: 78-84.
- Cui G., Bi Z., Zhang R., Liu J., Yu X., Li Z. A comprehensive review on graphene-based anti-corrosive coatings. *Chemical Engineering Journal* 2019; 373: 104-121.
- Dérobot X., Villain G., Balayssac JP. Influence of concrete carbonation on electromagnetic permittivity measured by GPR and capacitive techniques. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics* 2018; 23(4): 443-456.
- Dexing L., Enyuan W., Xiangguo K., Shuai Z., Yanhui K., Xiaoran W., Dongming W., Quanlin L. Mechanical properties and electromagnetic radiation characteristics of concrete specimens after exposed to elevated temperatures. *Construction and Building Materials* 2018; 188: 381-390.
- Foudazi A., Donnell KM. Design of a microstrip patch antenna for microwave sensing of petroleum production lines. In 2017 United States National Committee of URSI National Radio Science Meeting (USNC-URSI NRSM) 2017; 1-2. IEEE.
- Guihard V., Taillade F., Balayssac JP., Steck B., Sanahuja J., Deby F. Prediction of cement-based materials' water content with the use of electromagnetic homogenisation schemes. In 2018 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS-Toyama) 2018; pp. 164-168.
- James A., Bazarchi E., Chiniforush AA., Aghdam PP., Hosseini MR., Akbarnezhad A., Martek I., Ghodoosi F. Rebar corrosion detection, protection, and rehabilitation of reinforced concrete structures in coastal environments: A review. *Construction and Building Materials* 2019; 224: 1026-1039.
- JASS 5. Japanese architectural standard specification for reinforced concrete work. English Version, 10th ed., Architectural Institute of Japan 1993.
- JGJ 52-2006. Standard for technical requirements and test method of sand and crushed stone (or gravel) for ordinary concrete. Industry Standard of the People's Republic of China, Beijing 2006.
- Kim H., Kang D., Oh SJ., Joo C. Nondestructive evaluation on dispersion of steel fibers in UHPC using THz electromagnetic waves. *Construction and Building Materials* 2018; 172: 293-299.



- Lee JH., Kim JS., Min BH., Kim ST., Kim JH. Determination of anions in certified reference materials by ion chromatography. *Journal of Chromatography A* 1998; 813(1): 85-90.
- Lu X. Application of the Nernst-Einstein equation to concrete. *Cement and Concrete Research* 1997; 27(2): 293-302.
- Shen P., Liu Z. Study on the hydration of young concrete based on dielectric property measurement. *Construction and Building Materials* 2019; 196: 354-361.
- Song J., Li Y., Xu W., Liu H., Lu Y. Inexpensive and non-fluorinated superhydrophobic concrete coating for anti-icing and anti-corrosion. *Journal of Colloid and Interface Science* 2019; 541: 86-92.
- Stanish KD., Hooton RD., Thomas MDA. Testing the chloride penetration resistance of concrete: a literature review, TRID 1997.
- Sun B., Xiao RC., Guo J., Zhao Q. Probabilistic chloride penetration models and corrosion initiation probability of RC bridge based on long-term test data. *Journal of Bridge Engineering* 2019; 24(4): 04019012.
- Teng KH., Kot P., Muradov M., Shaw A., Hashim K., Gkantou M., Al-Shamma'a A. Embedded smart antenna for non-destructive testing and evaluation (NDT&E) of moisture content and deterioration in concrete. *Sensors* 2019; 19(3): 547.
- Watanabe A., Furukawa H., Miyamoto S., Minagawa H. Non-destructive chemical analysis of water and chlorine content in cement paste using near-infrared spectroscopy. *Construction and Building Materials* 2019; 196: 95-104.
- Xiao J., Qiang C., Nanni A., Zhang K. Use of sea-sand and seawater in concrete construction: Current status and future opportunities. *Construction and Building Materials* 2017; 155: 1101-1111.
- Zhang R., Liu P., Ma L., Yang Z., Chen H., Zhu HX., Xiao H., Li J. Research on the corrosion/permeability/frost resistance of concrete by experimental and microscopic mechanisms under different water-binder ratios. *International Journal of Concrete Structures and Materials* 2020; 14:10.
- Zhang Q., Xi D. Analysis of testing methods for chloride ion permeability in marine concrete. In 2016 International Forum on Energy, Environment and Sustainable Development 2016; 55-62.
- Zheng JJ., Zhang J., Zhou XZ., Wu YF., Ye YM., Wang YH. A three-step analytical scheme for estimating the steady-state chloride diffusion coefficient of mature cement paste. *Construction and Building Materials* 2018; 191: 1004-1010.
- Zhou S., Sheng W., Deng F., Wu X., Fu Z. A novel passive wireless sensing method for concrete chloride ion concentration monitoring. *Sensors* 2017; 17(12): 2871.

## Anther Culture Method on Haploid Plant in Pepper (*Capsicum annuum* L.)

Mevlûde TATAR<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Alata Horticultural Research Institute, 33740, Mersin, Türkiye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-3707-1721>

\*Corresponding author e-mail: mtatar65@hotmail.com

### Research Article

#### Article History:

Received: 18.06.2022

Accepted: 19.12.2022

Published online: 04.12.2023

#### Key words:

Pepper

Anther culture

Haploid

Homozygous

### ABSTRACT

Pepper is from the *Capsicum* genus of the *Solanaceae* family and is one of the vegetable species that is loved and grown in the world and in our country. After China and Mexico, Turkey ranks third in pepper production in the world. It is a great advantage for us that the climate structure of our country is suitable for vegetable cultivation. The adaptation of pepper to every region has led to the formation of a significant variety of pepper in the country in this way, it has also ensured the enrichment of our gene resources. The richness of gene resources is an important factor in the success of breeding studies. One of the purposes of breeding studies is to develop varieties. It is used in breeding studies with anther culture method in pepper, and new varieties are developed in this way. Because of obtaining homozygous lines in plants, haploid plant production has an important place in plant breeding. In this study, the definition and application of anther culture and the factors affecting success, the researches made with the anther culture method in the world and in our country and the developments in recent years are discussed.

## Biberde (*Capsicum annuum* L.) Haploid Bitki Eldesinde Anter Kültürü Yöntemi

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 18.06.2022

Kabul tarihi: 19.12.2022

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar kelimeler:

Biber

Anter kültürü

Haploid

Homozigot

### ÖZ

Biber *Solanaceae* familyasının *Capsicum* cinsinden olup dünyada ve ülkemizde sevilerek tüketilen ve buna bağlı olarak yetiştirilen sebze türlerinden biridir. Biber Çin ile Meksika'dan sonra Türkiye dünyada üretiminde üçüncü sırada gelmektedir. Ülkemizin iklim yapısının sebze yetiştiriciliğine uygun olması bizim için büyük bir avantajdır. Bundan dolayı biberin her bölgeye uyum sağlamasıyla ülkede önemli oranda biber çeşitliliğinin olmasına neden olmuştur. Bu durum gen kaynaklarımızın zenginleşmesini de sağlamıştır. İslah çalışmalarının başarısını sağlayan en önemli faktörlerden biride gen kaynaklarının zenginliğidir. İslah çalışmalarının amaçlarından biride çeşitlendirmektir. Biberde anter kültürü yöntemiyle ıslah çalışmalarında kullanılmakta bu yolla yeni çeşitler geliştirilmektedir. Bitkilerde homozigot hatların elde edilmesinden dolayı haploid bitki üretimi bitki ıslahında önemli bir yere sahiptir. Bu çalışma anter kültürünün tanımı, uygulaması ve başarıyı etki eden faktörlerle ilgili bilgiler ile dünyada ve ülkemizde anter kültürü yöntemiyle yapılan araştırmalar ve son yıllardaki gelişmeler ele alınmıştır.

**To Cite:** Tatar M. Anther Culture Method on Haploid Plant in Pepper (*Capsicum annuum* L.). Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 2095-2105.

### 1. Introduction

In recent years, increasing population, rapidly developing urbanization, and the decrease in agricultural lands, changing climatic conditions now require faster, more precise, and short-term studies in breeding studies, and pure line/lines are obtained by anther culture method. This method is

the most preferred biotechnological method by researchers (Khush and Virmani, 1996; Çömlekçioğlu et al., 2001; Ellialtıoğlu and Tıprıdamaz, 2002; Popova et al., 2016; Parra-Vega and Segui-Simarro, 2016; Ozsan and Onus, 2017). The use of tissue culture techniques together in plant breeding is a great advantage for breeding studies, increasing genetic richness, and achieving more successful results in a shorter time period, and this has provided a wide application area in vegetable breeding. Haploid plant production, which is one of the tissue culture techniques, is very important in plant breeding (Andrews, 1985).

Anther culture, also known as pollen culture, is the technique of growing new plants by taking anthers isolated from a plant into a suitable food nutrient medium. It produces haploid (n chromosome) plants and is especially important in plant breeding. It is possible to select the desired mutant types and develop new cultivars with anther culture, which will provide a large amount of haploid plant production. It starts with removing the anthers from the flower buds during pollen formation and taking them into the nutrient media under aseptic (germ-free) conditions. Anthers develop into this culture media by undergoing mitosis. When they complete their development process, haploid plantlets are obtained (Heiser, 1976; Andrews, 1985; Abak, 1986; Khush and Virmani, 1996; Ellialtıoğlu et al., 2006; Olszewska et al., 2014; Arı et al., 2016).

Haploid plants are important materials used in genetic analysis and similar studies in breeding studies. In order for haploid plants to be used in breeding studies, anther culture is preferred so that they can be obtained from the desired genetics when desired in sufficient quantity and easily. Chromosome doubling of the obtained haploid plants is achieved with colchicine (the compound used to double the number of chromosomes in cells) or other mutagens. Obtained plants are 100% homozygous. Anther culture is also used in hybrid breeding. Haploidisation and diploidisation methods have been preferred for many years since it was discovered since it not only shortens the time in breeding studies but also can obtain fully homozygous plants in incompatible species in a short time (Guha and Maheshwari, 1966; Kristiansen and Andersen, 1993; Sopory and Munshi, 1996; Ercan and Şensoy, 2012). It has been reported that many breeding studies are carried out with the anther culture method, but the success in techniques and methods is different from species to species and in varieties, and even it does not provide the same success in other studies (Irikova et al., 2011). In this study, the definition of anther culture, its application and the factors affecting success, the research made with the anther culture method in the world and in our country, and the developments in recent years are discussed.

## **2. Anther Culture Studies**

It is reported that the first research in tissue culture in plants started with Schwann and Schleiden's theory of totipotency in 1838 (Pierik, 1987). *Solanaceae* was described by Guha and Maheswary (1964) 1964 as the first haploid plant in its family with anther culture technique. He described the first haploid plant in his family. Obtaining haploid plants by anther culture method in the *Capsicum* genus and especially in pepper species; Wang et al. (1973), Saccardo and Devreux (1974), Harn et al. (1975),

Sibi et al. (1979), Dumas de Vaulx et al. (1981), Morrison et al. (1986), the first studies started with researchers, and the first studies in our country were Abak (1983), Tıprıdamaz and Ellialtıoğlu (1998), Abak et al., (1998), Özkum et al., (2001) and Çomlekcioglu et al., (2001). It was initiated by the researchers and contributed to the development of the method.

In a study, different temperature applications (Dumas de Vaulx et al., 1981) were applied to increase embryo formation, studies such as different nutrient media and pre-applications were carried out to obtain haploid plants by anther culture method in local peppers of Turkey origin, and it was reported that successful results were obtained (Abak, 1983). Anther culture method was used to obtain in vitro haploid plants in Kahramanmaraş local red pepper genotypes. Mononuclear pollen stage anthers from flower buds taken from donor plants were transferred to MS medium, at the same time, they were cultured by leaving different amounts of hormonal contents in the nutrient medium. Three different pre-temperatures (4°C, 29°C, and 35°C in the dark) were applied seven days apart. In the study, 37 different applications (pre-temperature applications with different auxin-cytokinin, activated charcoal, and AgNO<sub>3</sub> nutrient media) were applied to the anthers; 9750 units of anthers were used and it was reported that while callus formed in some nutrient media, no callus was formed in others (Çağlar et al., 2004). In the study conducted by Sayılır and Özzambak (2005) in 6 pepper varieties; the anther culture method was applied by forming 3 groups as pointed, stuffed, and Banana type. Appropriately sized flower buds (5-6 mm in length) were inoculated into 6 different media with combinations of activated charcoal, carrot extract, 4mg/l NAA+0,1mg/l BA in MS and NN nutrient media. The most successful result was the combination of MS+4 mg/l NAA+ 0,1 mg/l BA, and the carliston variety, N+4mg/l It has been reported that the nutrient medium consisting of NAA+0,1mg/lBA +0,1% activated charcoal+200ml carrot extract was not successful. In another study, somatic embryogenesis, organogenesis, and clonal production were determined in five different pepper varieties (Tunceli, Kıl sweet, Irmak F1, İnce pointed, and Demre) research has been done on it. In clonal production; knuckle, stem tip, leaf and leaf explants were used in the internodes for the stem parts and the zygotic embryo, in somatic embryogenesis and organogenesis. As a result of the study; Embryogenic callus and proembryo formation at 4 mg/l 2,4-D in somatic embryogenesis Irmak in F1; It was found that 6±1,53 shoots developed at the stem end in 25 mg/l BAP medium in the Bristle sweet pepper cultivar, and in organogenesis studies, Irmak F1, Bristle sweet and fine pointed. It has been determined that root and shoot develop in 4-5 mg/l 2,4-D medium in the knuckle and leaf parts of cultivars (Dalar, 2008).

Lantos et al. (2009) investigated the response of three Hungarian and three Spanish pepper varieties on pepper genotypes by using the microspore culture technique. As a result, it was stated that anthers with 80% seedless and 20% binucleated microspores were successful and gave the highest frequency of successful microsporous cultures. Isolation in different pepper genotypes used in the experiment. It has been reported that there are differences in the transformation from embryo formation to plant in pepper microspore culture. In another study, anther culture method was used to determine the effect of

genotype on 11 different peppers (2 long green, 4 long, 2 capia, 1 red pepper, 2 bell pepper) (Ercan and Şensoy, 2011). After collecting flower buds from genotypes, anthers were placed in MS (Murashige-Skoog) media in prepared petri dishes. The number of anthers used in 11 genotypes is 2398; embryo formation is 44 and plant yield is 12; It was reported that there was no embryo formation in long green pepper type and bell pepper type, and androgenic response was more successful in long pepper type and bell pepper type compared to other pepper genotypes. Weekly flower buds were collected from donor plants grown in winter (November and May) and summer (April and December) varieties of pepper (Kekova and Sera Demre 8) using anther culture method. The results obtained by placing the anthers on the nutrient media were compared. In the study; the success rate is high in young plants, and the success increases when suitable varieties are used according to the season; As the plant age increases, the rate of embryo formation decreases. reported (Ercan et al., 2011). Taskin et al. (2011) tried four different culture media in order to increase the embryo formation rate and plant transformation rate in pepper genotypes that were inbred three times (low temperature, moderately tolerant and sensitive) using the anther culture method. It was reported that embryo formation was best in the 269 genotype, in April and May, the nutrient media numbered 3 and 4 were more successful than the other nutrient mediums, and there was a plant transformation in the hormone-free MS medium.

Lantos et al. (2012) inducing capacities, cell divisions, and microspore formation in anthers of sweet pepper F1 hybrid (*Capsicum annuum* L) genotypes in which the microspore culture technique was applied was investigated. Embryo-like in experiment are formations; It has been reported that there are 1,5 plants with an average of 48,1 embryo-like formations in 12 genotypes, and there are also abnormal shoot formations in embryo-like formations. Özsan (2014) in a study he carried out, aimed to determine the haploid plant acquisition rate of genotypes by using pepper genotypes at 4 different genetic stages to obtain haploid plants by applying anther and microspore cultures. In the study, after the flower buds were classified, the anthers were transferred to MS media. The embryo formation rate was 1507% in anther culture and 13,89% in microspore culture has been reported. Alremi et al. (2014) used anther culture method to obtain haploid plants in 3 different pepper genotypes and 1 pepper variety (Alfajer), while 16 different nutrient media combinations and genotype effects were also investigated.

Eight different combinations of DDV media and 8 different MS nutrient media combinations were used. Alfajer in the Study and B line pepper genotypes have been reported to have better results than C series media containing Kinetin + 2,4-D. MS medium was used with anther culture method to increase the embryo formation rate in 73 pepper genotypes and 11 standard varieties collected from different locations in Turkey (Kaplan, 2012). They reported that the anther number used in these 84 pepper genotypes was transferred to 7343 media, there were 70 calli, there was no embryo or shoot development in pepper anther culture application, and the development of androgenesis stimulation protocols was important and necessary for studies in this direction.

Durna (2016) in his study, used anther culture method in 10 peppers to obtain embryo formation and haploid plants; It was aimed to determine the effects of preliminary studies, nutrient media and incubation conditions. Anthers that used DDV nutrient media kept flower buds at +4 °C for 24 hours before transferring to the medium; This had a positive effect on embryoid formation. In the study results genotype, pre-treatments, nutrient medium and incubation applications increase success; It was determined that 1109 embryoids, 210 plantlets, and 27 DH plants were formed and one of the important results of the study was that embryo formation was more successful from F1-stage genotypes rather than F2-stage genotypes. In the study conducted by Çelik (2016) haploid plants were obtained by using anther culture method in 3 pepper and 1 Tokat local pepper genotypes; genotype, nutrient environment, stress, and incubation stages were also examined. Two environments, DDV and MS, were applied; while the highest embryo formation was in Tokat local pepper genotype, embryo formation was less in other genotypes; while the embryo formation rate in MS medium was 3,9%, it was reported that the embryo formation rate was 9,33% in DDV medium. In a study by Erim (2019) the shed microspore method was used in commercial cultivars of 3 different pepper genotypes. In the experiment, the lengths of the anthers, anthocyanin levels, and development stages of microspores in anthers, embryo formation and plant transformation rate, and embryo formation of liquid nutrient medium in shed microspore method potential have been explored. In the results of working; shed microspore culture method with 3 different 443 embryos were formed in the genotype and 85 were found to be normal. It has been reported that the highest rate of embryo formation and haploid plantlets are in bell pepper (Benino F1), the best response with normal embryo formation rate is capia pepper, but the chili pepper genotype responds slightly in this method.

Özsoy (2019) using the anther culture method, supplemented nutrients at different rates in different (DDWX and MS) nutrient media in 4 hybrid pepper cultivars, and the effect on the embryo formation rate by applying it at low temperature conditions at the same time has researched. Before the anthers were transferred to the media, flower buds were kept at 4 to 10°C for 24 to 48 hours. As a result of the applications, DDWX and MS environments were more successful than B5 environments; highest in DDWX and MS environments. It was determined that there was embryo formation and haploid production by transformation into a plant was in the Wish F1 genotype. Pre-applications, nutrient media in anther culture it has been reported that it affects performance and is an important factor in cold shock application. Hülül (2019) in a study he carried out, in order to obtain haploid plants in 5 pepper genotypes [Fine pointed (B4), capia (B16), bell pepper (B90), cubanelle (B85) and banana type (B54)] by anther culture method used the environment; in embryo formation, genotype, sugar content and the effect of plant growth regulators were also investigated. It was reported that the highest embryo formation was in the three nose (B85) genotypes, but also changed the success rate in genotype, sugar content and plant growth regulators. Shimira et al. (2019) had a low response to androgenesis with the Pili-pili pepper variety (*Capsicum chinense*), originally from Rwanda, as a control. The response of the A11 genotype and the highly responsive Inan 3363 genotypes to anther

culture was investigated. MS environment was used in the study; from the control groups, believe 19,4 embryos/100 anthers were obtained from 3363 cultivars, and 4,46 embryos/100 anthers from A111 genotype; It was reported that embryos could not be obtained in Rwanda Pili-Pili pepper cultivar.

In another study, MS (Murashige and Murashige and Skoog) nutrient medium was used to measure the response of 23 different pepper genotypes to anther culture (Atasoy, 2020). The number of embryos in 100 anthers used in the study. ranges from 0,83 to 44,44; It was determined that the highest performance was in the FT-509 genotype, the lowest performance was in the FT-1178 genotype with 0,83 embryos/100 live anthers and all embryos turned into plants. Ceyhan and Aktaş (2020) used anther culture method to obtain haploid plants from 4 different varieties (Üçburun, Buket, B22 and B23) consisting of cubanelle and stuffed peppers, and in order to increase the success of this method, genotype and nutrient in this study, the response of antioxidants (zinc, salicylic acid and vitamin C to nutritional media) applied in varying amounts was investigated. MS nutrient medium was used and anthers were cultured after 24 hours of cold application at 4°C after collecting flower buds. As a result of the study, the highest embryo formation was in the cubanelle varieties, while there was no embryo formation in the Buket variety; Transformation into plants has been reported in all cultivars with embryo formation. In the studies of Grozeva et al., (2020) anther culture method was used to obtain haploid plants in a four-parent pepper genotype. In the study, morphological features of genotypes, vitamin C, dry matter content, total Quality properties such as polyphenols and antioxidants were also investigated. There was also a significant difference in fruit morphology, quality and production between the obtained DH lines and parent genotypes has been reported.

In this study, it was aimed to determine the morphological and molecular characterization and the possibilities of obtaining double haploid (DH) lines in Gaziantep local pepper (GB) genotypes. In the study, 96 pepper genotypes, 81 different GB genotypes and 15 standard varieties, collected from the region were used. In the dendograms obtained as a result of morphological and molecular analyzes, 15 groups were formed; In these groups, MS medium was applied in the anther culture method in the spring and autumn periods. It has been determined that anther culture made in the spring period is more successful than the anther culture made in the autumn period. While the genotypes in the 9th group, including the 10th and 12th groups, were the most successful in the autumn period, although the genotypes in the same group were not as successful as in the spring period, it was observed that they were relatively successful in the spring period. In anther culture studies, haploid and dihaploid plants and fruits were obtained (Tatar, 2022).

### **3. Conclusion**

Pepper is one of the important types of vegetables worldwide. In our country, there are populations that have taken local names in most regions. However, although these local varieties are preferred in terms of flavor and aroma, they do not provide the desired performance in productivity and disease resistance.

Increasing seed yield and production, which is one of the most important factors of plant production, is also very important in obtaining durable, low-cost and competitive products. F1 hybrid seeds are obtained as a result of crossing two different parent plants. The parents used in crossbreeding consist of homogeneous lines. Therefore, F1 hybrid cultivars are being developed, especially by utilizing local genetic resources. Studies have reported that pepper is a highly self-pollinating plant, but the foreign pollination rate also increases depending on the factors affecting pollination.

In pepper breeding, homozygosity level is increased in each generation, and at the end of inbreeding, nearly 100% homozygous lines are obtained. However, developing varieties with classical breeding studies takes many years and requires a lot of time and effort. Today, tissue culture techniques are used to shorten this period and obtain more guaranteed results. Anther culture technique is one of the widely used techniques for obtaining haploid plants. The advantage of this technique over other in vitro haploid plant production techniques; the presence of thousands of microspores in an anther and the ability to obtain a large number of haploid plants from an anther.

It is known that the anther culture technique gives successful results in many species of the *Solanaceae* family. Dihaploid line was obtained for the first time in pepper, which is in the *Solanaceae* family, by anther culture method, and other studies examining the effects of many factors and developing more successful protocols were carried out. In recent years, successful results have been obtained in pepper anther culture; These are the important factors affecting success; These are the factors originating from the plant from which the anthers are taken (genotype and the growing conditions of the donor plant) and the anther culture technique (development period of the anthers, pre-applications, composition and structure of the nutrient medium and incubation conditions). Researchers have made different experiments for many years, especially on the nutrient medium and genotypes. Success in anther culture varies according to genotypes and each genotype reacts. It was observed that the nutrient media also differed.

Studies have shown that genotype, nutrient medium, studies continued on the effects of growth regulators, different substances added to the nutrient medium (such as activated charcoal, silver nitrate), different pre-treatments, growing conditions of donor plants, and different anther uptake times. Studies in this direction aimed to increase the number of haploid embryos obtained by anther culture and to increase the efficiency of anther culture method in pepper breeding. Anther culture method is successful in breeding studies and varieties are developed with this method.

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

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

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

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



## References

- Abak K. Research on obtaining haploid plants by anther culture in pepper (*Capsicum annuum* L.). Ankara University Faculty of Agriculture Yearbook. Volume: 33, Separate Edition From Fascicules 1983; 1-4(1-2-3-4): 155-163.
- Abak K., Comlekcioglu N., Buyukalaca S., Sari N. Use of stomatal characteristics to estimate ploidy level of haploid and dihaploid pepper plants. In: Xth EUCARPIA Meeting on Genetics and Breeding of *Capsicum* and Eggplant, Avignon France 1998; 179–182.
- Abak K. Utilizing anther culture in pepper breeding. Tübitak Plant Breeding Symposium Abstracts, October 1986; 15-17(15-17): İzmir 64.
- Ari E., Yildirim T., Mutlu N., Buyukalaca S., Gokmen U., Akman E. Comparison of different androgenesis protocols for doubled haploid plant production in ornamental pepper (*Capsicum annuum* L.). Turkish Journal of Biology 2016; 40(40): 944-954.
- Alremi F., Taşkın H., Sönmez K., Büyükalaca S., Ellialtıoğlu Ş. The effects of genotype and nutrient medium on anther culture in pepper (*Capsicum Annuum* L.). Turkish Journal of Agriculture and Natural Sciences 2014;1(2): 108–116.
- Andrews J. Peppers, the domesticated *capsicum*. University of Texas Press, Austin, Texas, 1985
- Atasoy D. Determination of anther culture performance of some pepper (*Capsicum annuum* L.) breeding genotypes (master's thesis). Çukurova University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Horticulture, Adana 2020.
- Ceyhan AP., Aktaş H. Development of dihaploid three cape and stuffed pepper lines with anther culture technique. Eurasian J Bio Chem Sci, 2020; 3(Appendix 1): 199-205,
- Çağlar G., Aras V., Bayram A. In vitro haploid embryo stimulation by androgenesis in dried red peppers. Journal of Akdeniz University Faculty of Agriculture 2004; 17(1): 87-94.
- Çelik ME. Obtaining dihaploid lines by in vitro androgenesis method in three nose pepper genotypes (master's thesis). Gaziosmanpaşa University, Institute of Science and Technology, Department of Horticulture, Tokat 2016.
- Çömlekçiöğlü N. Breeding of southeast anatolian pepper populations by dihaploidization method and comparison with traditional methods (doctoral dissertation). C.U. Science Science Inst. Adana 2001.
- Çömlekçiöğlü N., Büyükalaca S., Abak K. Effect of silver nitrate on haploid embryo induction by anther culture in pepper (*Capsicum annuum* L.). XI. th. Eucarpia Meeting on Genetics and Breeding of *Capsicum* and Eggplant April 9-13 Antalya 2001.
- Dalar A. Microproduction of pepper (*Capsicum annum* L.) plant varieties by different tissue culture methods (master's thesis). Yuzuncu Yıl University, Institute of Science, Department of Biology, Van 2008.

- Dumas R., Chambonnet D., Pochard E. In vitro culture of pepper (*Capsicum annuum* L.) anthers: high rate plant production from different genotypes by +35 0C treatments. *Agronomie* 1981; 1(10): 859-864.
- Durna P. The effect of in vitro androgenesis applications on dihaploid line development in some pepper genotypes and morphological characterization of dihaploid lines (PhD thesis). Gaziosmanpaşa University Institute of Science and Technology, Tokat 2016.
- Ellialtıoğlu Ş., Başay S., Kuşvuran Ş. Comparison of in vitro and in vivo colchicine applications used for doubling of haploid eggplants obtained from anther culture. VI. Vegetable Agriculture Symposium 2006; September 19-22, Kahramanmaraş 386-390.
- Ellialtıoğlu S., Tipırdamaz R. The effect of cold applications and activated charcoal on the change in abscisic acid amount during anther culture in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Akdeniz University Faculty of Agriculture* 2002; 15(1): 9-18.
- Ercan N., Sensoy FA. Determination of the optimum microspore development stage and optimum culture medium in asparagus (*Asparagus officinalis* var. *altilis* L.) for anther culture. *Acta Horticulturae* 2012; 961, 153-157.
- Ercan N., Sensoy FA., Sensoy AS. Influence of growing season and donor plant age on anther culture response of some pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.), *Scientia Horticulturae* 2011b; 110 (2006): 16-20.
- Erim FB. Application of shed microspore culture technique on different pepper (*Capsicum Annuum* L.) genotypes and determination of microspore development stages (master's thesis). Akdeniz University, Institute of Science, Department of Horticulture, Antalya 2019.
- Grozeva S., Tringovska I., Nankar AN., Todorova, V., Kostova, D. Assessment of fruit quality and fruit morphology in androgenic pepper lines (*Capsicum annuum* L.). *Crop Breed Genet Genome* 2020; 2 (1): e200005.
- Guha S., Maheshwari SC. Cell division and differentiation of embryos in the pollen grains of datura in vitro. *Nature (Lond.)* 1966; 212, 97-98.
- Harn C., Kim MZ., Choi KT., Lee YI. Production of haploid callus and embryoid from the cultured anther of *Capsicum annuum*. *Sabrao* 1975; 7: 71-77.
- Heiser CBR. Peppers, in evolution of crop plants. Longman Science 1976; 265-268.
- Hülül M. The effect of plant growth regulators and sucrose doses on androgenic embryo formation in some pepper genotypes (master's thesis). Tokat Gaziosmanpaşa University, Institute of Science and Technology, Department of Horticulture, Tokat 2019.
- Irikova T., Grozeva S., Rodeva V., Anther culture in pepper (*Capsicum annuum* L.) in vitro. *Acta Physiologiae Plantarum* 2011a; 33, 1559-1570.
- Kaplan FN. Production of dihaploid lines from pepper (*Capsicum Annuum* L.) breeding materials (master's thesis). Pamukkale University Institute of Science and Technology, Department of Biology, Denizli 2012.

- Khush GS., Virmani SS. Somatic embryogenesis in cultured unfertilized ovules of *Cucurbita moschata*. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science 1996; 57(1): 34-42.
- Kristiansen K., Andersen SB. Effects of donor plant temperature, photoperiod and age on anther culture response of *Capsicum annuum* L. Euphytica 1993; 67: 105- 109.
- Lantos C., Juhasz AG., Somogyi G., Ötvös VP., Milhaly R., Kristo Z., Somogyi N., Pauk J. Improvement of isolated microspore culture of pepper ( *Capsicum Annuum* L.) via co-culture with ovary tissues of pepper or wheat. Plant Cell Tiss Organ Cult 2009; 97: 285–293.
- Lantos C., Juhasz AG., Vagi P., Mihaly R., Pauk, ZKJ. Androgenesis induction in microspore culture of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). Plant Biotechnol Rep 2012; 6(123): 132.
- Morrison RA., Koning RE., Evans DA. Anther culture of interspecific hybrid of *Capsicum*. J. Plant Physiol 1986; 126:1-9.
- Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. Physiologia Plantarum 1962; 15 (3): 473-497.
- Olszewska D., Kisiala A., Niklas- Nowak A., Nowaczyk P. Study of in vitro anther culture in selected genotypes of genus *Capsicum*. Turkish Journal of Biology 2014; 38, 118-124.
- Ozsan T., Onus AN. Can in vitro pepper (*Capsicum annuum* L.) anther culture be affected by B vitamins? International Journal of Biotechnology 2017; 20(1): 1-13.
- Özkum D., Tipirdamaz R., Ellialtıoğlu S. The relationship between the endogenous abscisic acid content of anthers and in vitro androgenesis in pepper (*Capsicum annuum* L.). Acta Horti 2001; 560, 327–329.
- Özsan Ö. Effects of plant use at different genetic progression levels on haploid plant obtainment in pepper (*Capsicum Annuum* L.) Anther and Microspore Culture (master's thesis). Akdeniz University, Institute of Science, Department of Horticulture, Antalya 2014.
- Özsoy B. The effects of genotype, nutrient environment and stress applications on androgenesis in pepper (master's thesis). Tokat Gaziosmanpaşa University, Institute of Science and Technology, Department of Horticulture, Tokat 2019.
- Parra-Vega V., Seguí-Simarro JM. Anther culture in pepper (*Capsicum annuum* L.). Methods in Molecular Biology (pp. 1359). New York, NY 2016.
- Pierik RLM. In vitro culture of higher plants. Martinus Nijhoff Publishers. Dordrecht, The Netherlands 1987; 344.
- Popova T., Grozeva S., Todorova V., Stankova G., Anachkov N., Rodeva V. Effects of low temperature, genotype and culture media on in vitro androgenic answer of pepper (*Capsicum annuum* L.). Acta Physiologiae Plantarum 2016; 38, 273.
- Saccardo F., Devreux M. In vitro production of plantlets from anther culture of *Capsicum annuum* L. Proc. of Eucarpia: Genetics and Breeding of *Capsicum*, Budapest 1974; 45-49.

- Sayılır A., Özzambak E. A research on the effects of appropriate bud size and nutrient media contents on embryo yield in pepper anther culture. Ege Univ. Agriculture. Fac. Journal 2005; 42(3): 1-11.
- Shimira F., Yıldız S., Baktemur G., Keleş D., Aydın MZ., Büyükalaca S., Taşkın H. Investigation of androgenesis capacity of rwandan pili-pili variety (*Capsicum chinense* L.) in Turkey. Yüzüncü Yıl University Journal of Science Institute 2019; 24(3): 170-175.
- Sopory SK., Munshi M. Anther culture in vitro haploid production in higher plants. Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture 1996; 23.
- Sibi M., Dumas De Vault R., Chambonnet D. Obtention de plantes haploides par androgene in vitro chez le piment (*Capsicum annuum* L.). Ann Amelior. Plantes 1979; 29: 583-606.
- Taşkın H., Büyükalaca S., Keleş D., Ekbic E. Induction of microspore-derived embryos by anther culture in selected pepper genotypes. African Journal of Biotechnology 2011; 10(75): 17116-17121.
- Tatar M. Morphological and molecular characterization of Gaziantep local pepper genotypes and the possibilities of obtaining double haploid (DH) lines (PhD thesis). Yuzuncu Yıl University, Institute of Science, Department of Horticulture, Van 2022.
- Tıprıdamaz R., Ellialtıoğlu Ş. The effect of cold applications and activated charcoal on the change in abscisic acid content during anther culture in pepper (*Capsicum annuum* L.). Journal of Akdeniz University Faculty of Agriculture 2002; 15(1): 9-18.
- Wang YY., Sun CS., Wang CC., Chien NJ. The induction of pollen plantlets of Triticale and *Capsicum annuum* from anther culture. sci. Sin 1973; 16: 147-151.

## İki Örneklem Behrens-Fisher Problemi İçin Farklı İstatistiksel Test Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Esin BUDAK<sup>1\*</sup>, Zeki YILDIZ<sup>2</sup>, Mehmet SANDAL<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, 26040, Eskişehir

<sup>2</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, 26040, Eskişehir

<sup>3</sup>Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, 45140, Manisa

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9016-3385>

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1907-2840>

<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0001-7396-0801>

\*Sorumlu yazar: [esin01karahan@hotmail.com](mailto:esin01karahan@hotmail.com)

### Araştırma Makalesi

### ÖZ

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 24.03.2022

Kabul tarihi: 20.12.2022

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Hotelling'in  $T^2$  istatistiği

Çok değişkenli Behrens-Fisher

problemi

Simülasyon

Tip I hata

Çok değişkenli istatistiksel araştırmalarda, iki ortalama vektörün eşitliğini test etme problemi ile sıklıkla ilgilenilmektedir. Ancak varsayımlar ihlal edildiğinde klasik yöntemlerin kullanılması yanıltıcı sonuçlar elde edilmesine neden olabilmektedir. Bu çalışmanın amacı da iki örneklem Behrens-Fisher problemleri için önerilen test istatistiklerini I. tip hata olasılıkları bakımından karşılaştırmaktır. Bu amaçla varsayımların ihlal edilmesi durumunda iki grup ortalama vektörünün eşitliğini test etmek için literatürde önerilen test istatistikleri bir simülasyon çalışması ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca önerilen test istatistiklerinin gerçek bir veri örneği üzerinde karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmanın sonuçları, test istatistiklerinin performanslarının bağımlı değişken sayısına ve gözlem büyüklüklerine göre değiştiğini göstermiştir. Ancak Yanagihara ve Yuan (2005) tarafından önerilen test istatistiğinin oldukça iyi bir performans ortaya koyduğu görülmüştür. Ayrıca Hotelling  $T^2$  test istatistiğinin varsayım ihlallerinden oldukça fazla etkilendiği gözlemlenmiştir.

## Comparison of Different Statistical Test Methods for Two Samples Behrens-Fisher Problem

### Research Article

### ABSTRACT

#### Article History:

Received: 24.03.2022

Accepted: 20.12.2022

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Hotelling's T-squared statistic

Multivariate Behrens-Fisher

problem

Simulation

Type I error

In multivariate statistical research, the problem of testing the equality of two mean vectors is often dealt with. However, when the assumptions are violated, the use of classical methods can lead to misleading results. The aim of this study is to compare the proposed test statistics for two sample Behrens-Fisher problems in terms of their probability of type I error. For this purpose, test statistics proposed in the literature are compared with a simulation study to test the equality of the two group mean vectors in case the assumptions are violated. In addition, the proposed test statistics were compared on a real data sample. The results of the study showed that the performances of the test statistics vary according to the number of dependent variables and the size of the observations. However, it was seen that the test statistics proposed by Yanagihara and Yuan (2005) performed quite well. In addition, Hotelling  $T^2$  test statistics is highly affected by assumption violations.

**To Cite:** Budak E., Yıldız Z., Sandal M. İki Örneklem Behrens-Fisher Problemi İçin Farklı İstatistiksel Test Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 2106-2122.

## 1. Giriş

İstatistiksel çalışmalarda, araştırma problemi için uygulanacak analiz yaklaşımının belirlenmesi oldukça önemlidir. Analiz yöntemi doğru seçilmediği takdirde yanıltıcı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu nedenle çeşitli varsayımlara dayalı olarak geliştirilen parametrik testler kullanıldığında da anlamlı sonuçlar elde etmek için ilgili varsayımların sağlanması gerekmektedir. İstatistiksel yönteme ilişkin varsayım sağlanmadığı takdirde yeni çözümlene yöntemleri geliştirilmeli ya da alternatif teknikler kullanılmalıdır.

Bağımlı değişken sayısının tek olduğu çalışmalarda iki ve daha fazla ortalamasının karşılaştırılmasında tek değişkenli istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır. Ancak bağımlı değişken sayısının birden fazla olduğu durumlarda ise çok değişkenli istatistiksel yöntemlere başvurulması gerekmektedir. Çok değişkenli istatistiksel yöntemlerde, değişkenlerin ve birimlerin karşılıklı ilişkileri de söz konusu olmaktadır. Bu nedenle karşılıklı ilişkileri de dikkate alan çok değişkenli istatistiksel tekniklerin kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Budak, 2021).

Parametrik analiz yöntemleri arasında en sık başvurulan yöntemlerin başında bağımsız grup ortalamalarının karşılaştırmalarına ilişkin hipotezleri sınama problemleri karşımıza çıkmaktadır (Sandal, 2020). İki anakütle ortalamasının karşılaştırılması ise araştırmacılar tarafından ilgi duyulan konuların başında gelmektedir. Tek değişkenli grup ortalamalarının ya da çok değişkenli gruplara ait ortalama vektörlerinin karşılaştırılma probleminde genellikle değişkenler için en temel varsayımların başında normallik varsayımı ile varyansların ya da varyans-kovaryans matrislerinin eşit olma koşulları gelmektedir. Tek değişkenli problemler için varyansların ve çok değişkenli problemler için varyans-kovaryans matrislerinin eşit olmaması durumunda, test istatistiklerinin I. tip hata olasılığı anlamlılık düzeyinden uzaklaşmaktadır. Varyansların ve varyans-kovaryans matrislerinin eşit olmaması durumunda grup ortalamaları ya da ortalama vektörleri arasındaki farkın anlamlılığını test etme problemi ise “Behrens (1929)-Fisher (1935) Problemi” olarak adlandırılmaktadır.

Fisher (1935), Welch (1947) ve Wald (1955) başta olmak üzere Behrens-Fisher problemlerinin çözümü için çeşitli istatistiksel yöntemler geliştirilmiştir. Ancak ele alınan grup sayısı ve bağımlı değişken sayısına bağlı olarak literatürde farklı analiz yöntemleri önerilmiştir. Welch ‘in (1947) geliştirdiği Welch-t testi, asimptotik olarak oldukça güçlü bir test istatistiğidir. Wald (1955) istatistiği ise yalnızca gözlem sayılarının eşit olduğu durumlarda kullanılabilir (Pfanzagl, 1974). Tek değişkenli Behrens-Fisher problemleri için Scheffe (1943) tarafından önerilen test istatistiği, Bennett (1951) tarafından çok değişkenli durumlara genelleştirilmiştir. Ayrıca James (1954), Yao (1965), Subrahmaniam ve Subrahmaniam (1973), Johansen (1980), Nel ve Van der Merwe (1986), Kim (1992), Christensen ve Rencher (1997), Krishnamoorthy ve Yu (2004), Yanagihara ve Yuan (2005), Zezula (2009), Krishnamoorthy ve Yu (2012), Kawasaki ve Seo (2015) ile Erdoğan (2018) tarafından yaklaşık çözümler önerilmiştir.

Bu çalışmanın amacı; varyans-kovaryans matrislerinin eşitliği varsayımı sağlanmadığında farklı deneysel koşullara göre iki ortalama vektörü arasındaki farkın anlamlı olup olmadığını belirlemek için

Yao (1965), Johansen (1980), Nel ve Van der Merwe (1986), Kim (1992), Krishnamoorthy ve Yu (2004), Yanagihara ve Yuan (2005) ile Kawasaki ve Seo (2015) tarafından önerilen test istatistiklerini I. tip hata olasılıkları bakımından karşılaştırmaktır. Böylece varyans-kovaryans matrislerinin eşit olmadığı problemler için veri setine ait istatistiksel özellikler dikkate alınarak daha yüksek performansa sahip test istatistiğinin kullanılması amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışmanın ikinci bölümünde çok değişkenli iki örneklem Behrens- Fisher probleminin çözümü için önerilen bazı alternatif test istatistikleri açıklanmıştır. Üçüncü bölümde farklı deneysel koşullara göre önerilen test istatistiklerinin performansını belirlemek için bir simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Son bölümde ise test istatistikleri, gerçek bir veri setine uygulanarak test istatistikleri arasındaki anlamlılık sonuçlarına ait farklılıklar karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Çok değişkenli iki grup ortalama vektörleri arasındaki farkın anlamlı olup olmadığını belirlemek için  $i = 1, 2$  ve  $p$  boyutlu iki grubun ortalamalar vektörü  $\mu_i$  olmak üzere,

$$\begin{aligned} H_0: \mu_1 &= \mu_2 \\ H_1: \mu_1 &\neq \mu_2 \end{aligned} \quad (1)$$

eşitliğindeki sıfır hipotezi sınanmaktadır. Anakütle varyans-kovaryans matrislerinin eşit olduğu durumlarda bu hipotezi sınamak için Hotelling  $T^2$  test istatistiğinden yararlanılmaktadır. Böylece  $i = 1, 2$  ve  $j = 1, 2, \dots, n_i$  olmak üzere  $N_p(\mu_i, \Sigma_i)$  dağılımına sahip  $p$  boyutlu  $X_{ij}$  gözlem vektörleri için Hotelling  $T^2$  test istatistiği,

$$T_H^2 = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)' \left[ \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) S_p \right]^{-1} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \sim \frac{(n_1 + n_2 - 2)p}{n_1 + n_2 - p - 1} F_{sd1, sd2, (1-\alpha)} \quad (2)$$

biçimindedir (Hotelling, 1931). Burada  $i$ . örneklemin  $p \times 1$  boyutlu ortalamalar vektörü

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} \quad (3)$$

ve ortak varyans-kovaryans matrisi ise

$$S_p = \frac{(n_1 - 1)S_1 + (n_2 - 1)S_2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (4)$$

olarak ifade edilmektedir. Ayrıca  $i$ . örneklemin varyans-kovaryans matrisi

$$S_i = \frac{1}{n_i - 1} \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)(x_{ij} - \bar{x}_i)' \quad (5)$$

eşitliğindeki gibi hesaplanmaktadır. Eşitlik 2’de verilen  $T_H^2$  istatistiği  $sd_1 = p$  ve  $sd_2 = n_1 + n_2 - p - 1$  serbestlik dereceli F dağılımı ile karşılaştırılmaktadır. Eğer test istatistiği  $F_{sd1, sd2, (1-\alpha)}$  kritik değerinden daha büyük ise sıfır hipotezi reddedilmekte ve gruplar arasındaki farkın anlamlı olduğuna karar verilmektedir (Hotelling, 1931). Ancak varyans-kovaryans matrislerinin homojen olmadığı durumlarda ise Hotelling  $T^2$  istatistiği için yaklaşık bir dağılım belirlenmemektedir. Bu durumda

$$T^2 = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)' \left( \frac{S_1}{n_1} + \frac{S_2}{n_2} \right)^{-1} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \quad (6)$$

eşitliğindeki test istatistiği dikkate alınarak Yao (1965), Johansen (1980), Nel ve Van der Merwe (1986), Kim(1992), Krishnamoorthy ve Yu (2004), Yanagihara ve Yuan (2005) ile Kawasaki ve Seo (2015) tarafından yeni çözümlene yöntemleri önerilmiştir.

## 2.1. Yao Testi

Welch (1947), tek değişkenli Behrens-Fisher problemleri için t dağılımına dayanan yeni bir test istatistiği önermiş ve bu istatistiğin kritik değerini belirlemek için seri açılımı ve yaklaşık serbestlik derecesi olmak üzere iki farklı yöntem geliştirmiştir. Yao (1965) ise Welch (1947)’in yaklaşık serbestlik derecesi kavramını çok değişkenli iki örneklem Behrens-Fisher problemleri için genelleştirilmiştir. Bu durumda  $W_i = S_i/n_i$ ,  $W = \sum_{i=1}^2 W_i$  ve

$$v_{Yao} = \left[ \sum_{i=1}^2 \frac{1}{n_i - 1} \left( \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)' (W)^{-1} (W_i) (W)^{-1} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)' (W)^{-1} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)} \right)^2 \right]^{-1} \quad (7)$$

olmak üzere Yao’nun (1965) test istatistiği, Eşitlik 6’da verilen  $T^2$  istatistiğine dayalı olarak;

$$T_{Yao} = \frac{v_{Yao} - p + 1}{v_{Yao} * p} T^2 \sim F_{p, v_{Yao} - p + 1} \quad (8)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanmaktadır. Eğer  $T_{Yao}$  test istatistiği  $F_{p, v_{Yao} - p + 1}$  kritik değerinden daha büyük ise Eşitlik 1’deki sıfır hipotezi reddedilmektedir (Yao, 1965).

## 2.2. Johansen Testi

Johansen (1980) çok değişkenli Behrens-Fisher problemleri için yaklaşık serbestlik derecesi kavramını kullanarak test istatistiğinin olasılık dağılımına yakınsamayı amaçlamıştır. Eşitlik 1’deki sıfır hipotezini sınamak için Johansen (1980) testinde,

$$c = p + 2D - \frac{6D}{p + 2} \quad (9)$$

olmak üzere  $T^2$  test istatistiği c sabitine oranlamakta ve



$$T_{Joh} = \frac{T^2}{c} \quad (10)$$

eşitliği  $sd_1 = p$  ve  $sd_2 = \frac{p(p+2)}{3D}$  serbestlik dereceli F dağılımına yakınsamaktadır. Burada D değeri;

$$D = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 \frac{1}{n_i - 1} \left\{ \text{tr} \left[ \left( I - (W_1^{-1} + W_2^{-1})^{-1} W_i^{-1} \right) \right]^2 + \left[ \text{tr} \left( I - (W_1^{-1} + W_2^{-1})^{-1} W_i^{-1} \right) \right]^2 \right\} \quad (11)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanmaktadır. Eğer Johansen test istatistiği  $T_{Joh} > F_{sd_1, sd_2, 1-\alpha}$  olacak şekilde  $F_{sd_1, sd_2, 1-\alpha}$  kritik değerinden daha büyük ise yokluk hipotezi reddedilmektedir.

### 2.3. Nel ve Van der Merwe Testi

Nel ve Van der Merwe (1986), Welch (1947)'in yaklaşık serbestlik derecesi yöntemine dayanan farklı bir test istatistiği geliştirmişlerdir. Nel ve Van Der Merwe (1986), Eşitlik 6'daki test istatistiğinin dağılımına yakınsamak için,

$$v_{NV} = \frac{\text{iz}((W)^2) + (\text{iz}(W))^2}{\sum_{i=1}^2 \frac{1}{n_i - 1} \left[ \text{iz}((W_i)^2) + (\text{iz}(W_i))^2 \right]} \quad (12)$$

olmak üzere yeni bir test istatistiği olarak,

$$T_{NV} = \frac{v_{NV} - p + 1}{v_{NV} * p} T^2 \sim F_{p, v_{NV} - p + 1} \quad (13)$$

eşitliğini önermişlerdir. Eğer  $T_{NV}$  test istatistiği  $F_{p, v_{NV} - p + 1}$  kritik değerinden daha büyük ise yokluk hipotezi reddedilmektedir (Nel ve Van Der Merwe, 1986).

### 2.4. Kim Testi

Welch (1947)'in yaklaşık serbestlik derecesinin farklı bir genellemesi de Kim (1992) tarafından gerçekleştirilmiştir. Kim (1992), iki ortalama vektör için güven elipsoidlerinin geometrisine dayanan yeni bir yaklaşım önermiştir. Kim (1992) tarafından sunulan test istatistiği;

$$T_{Kim} = \frac{v_K - p + 1}{c_K * f_K * v_K} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) W_K^{-1} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \sim F_{f_K, v_K - p + 1} \quad (14)$$

şekindedir. Eşitlik 14'te yer alan  $\Gamma_K$ ,  $Z_j$ ,  $c_K$ ,  $f_K$  ve  $W_K$  değerlerinin hesaplanması için sırasıyla aşağıdaki eşitliklerden yararlanılmaktadır.

$$\Gamma_K = \left( \det(W_1 W_2^{-1}) \right)^{1/2p}, \quad (15)$$

$$Z_j = \frac{(e_j+1)}{(e_j^{1/2}+\Gamma_K)^2}, \quad (16)$$

$$c_K = \frac{\sum_{j=1}^p Z_j^2}{\sum_{j=1}^p Z_j}, \quad (17)$$

$$f_K = \frac{\left(\sum_{j=1}^p Z_j\right)^2}{\sum_{j=1}^p Z_j^2}, \quad (18)$$

$$W_K = W_1 + \Gamma_K^2 W_2 + 2\Gamma_K W_2^{1/2} (W_2^{-1/2} W_1 W_2^{-1/2})^{1/2} W_2^{1/2}. \quad (19)$$

Burada  $j = 1, \dots, p$  olmak üzere  $e_j$  değerleri  $W_1 W_2^{-1}$  ifadesinin  $j$ . özdeğerini göstermektedir. Ayrıca  $v_K$  ise Yao (1965) tarafından oluşturulan  $v_{Yao}$  değerine eşittir. Böylece  $T_{Kim}$  test istatistiği  $F_{f_K, v_K-p+1}$  kritik değerinden daha büyük ise yokluk hipotezi reddedilmektedir (Kim, 1992; Coombs, Algina ve Oltman, 1996; Lix ve Keselman, 2004).

## 2.5. Değiştirilmiş Nel ve Van der Merwe (MNV) Testi

Krishnamoorthy ve Yu (2004), farklı bir serbestlik derecesi dikkate alarak Nel ve Van Der Merwe'nin (1986) test istatistiğini yeniden düzenlemiştir. Böylece;

$$v_{MNV} = \frac{p + p^2}{\sum_{i=1}^2 \frac{1}{n_i-1} \left[ iz((W_i W^{-1})^2) + (iz(W_i W^{-1}))^2 \right]} \quad (20)$$

olmak üzere, Krishnamoorthy ve Yu'nun (2004) test istatistiği, Eşitlik 6'daki  $T^2$  istatistiğine dayalı olarak;

$$T_{MNV} = \frac{v_{MNV} - p + 1}{v_{MNV} * p} T^2 \sim F_{p, v_{MNV}-p+1} \quad (21)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanmaktadır. Eğer  $T_{MNV}$  test istatistiği  $F_{p, v_{MNV}-p+1}$  kritik değerinden daha büyük ise yokluk hipotezi reddedilmektedir (Krishnamoorthy ve Yu, 2004).

## 2.6. F Yaklaşımı Testi

Yanagihara ve Yuan (2005), çok değişkenli Behrens- Fisher problemlerinde  $T^2$ 'nin olasılık dağılımına yakınsamak için bir F dağılımından yararlanmışlar ve Welch'in (1938) test yaklaşımını çok değişkenli örneklemeler için genellemişlerdir. Bu durumda;

$$\hat{\theta}_1 = \frac{p\hat{\eta}_1 + (p-2)\hat{\eta}_2}{p(p+2)}, \quad \hat{\theta}_2 = \frac{\hat{\eta}_1 + 2\hat{\eta}_2}{p(p+2)} \quad (22)$$

ve

$$v_{YY} = \frac{(n_1 + n_2 - 2 - \hat{\theta}_1)^2}{(n_1 + n_2 - 2)\hat{\theta}_2 - \hat{\theta}_1} \quad (23)$$

olmak üzere Yanagira ve Yuan'ın (2005) F dağılımına bağlı test istatistiği;

$$T_{YY} = \frac{(n_1 + n_2 - 2 - \hat{\theta}_1)}{(n_1 + n_2 - 2) * p} T^2 \sim F_{p, v_{YY}} \quad (24)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada  $S_W = \frac{n_2}{n_1+n_2} S_1 + \frac{n_1}{n_1+n_2} S_2$  olmak üzere  $\hat{\eta}_1$  ve  $\hat{\eta}_2$  parametrelerinin tahmincileri sırasıyla;

$$\hat{\eta}_1 = \frac{n_2^2(n_1+n_2-2)}{n^2(n_1-1)} \left( iz(S_1 S_W^{-1}) \right)^2 + \frac{n_1^2(n_1+n_2-2)}{n^2(n_2-1)} \left( iz(S_2 S_W^{-1}) \right)^2, \quad (25)$$

$$\hat{\eta}_2 = \frac{n_2^2(n_1 + n_2 - 2)}{n^2(n_1 - 1)} \left( iz(S_1 S_W^{-1} S_1 S_W^{-1}) \right) + \frac{n_1^2(n_1 + n_2 - 2)}{n^2(n_2 - 1)} \left( iz(S_2 S_W^{-1} S_2 S_W^{-1}) \right) \quad (26)$$

eşitlikleri yardımıyla hesaplanmaktadır. Eğer  $T_{YY}$  test istatistiği  $F_{p, v_{YY}}$  kritik değerinden daha büyük ise yokluk hipotezi reddedilmektedir (Yanagira ve Yuan, 2005; Kawasaki ve Seo, 2015).

## 2.7. Düzeltilmiş Bartlett (MB) Testi

Yanagira ve Yuan (2005) çalışmalarında, Fujiskoshi'nin (2000) Düzeltilmiş Bartlett (MB) yaklaşımını çok değişkenli durumlara genelleyerek çok değişkenli Behrens-Fisher problemleri için farklı bir test istatistiği daha önermişlerdir. Yanagira ve Yuan (2005) MB test istatistiğini;

$$T_{MB} = \left( (n_1 + n_2 - 2)\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \right) \log \left( 1 + \frac{T^2}{(n_1 + n_2 - 2)\hat{\beta}_1} \right) \sim X_p^2 \quad (27)$$

biçiminde tanımlamışlardır. Burada;

$$\hat{\xi}_1 = \frac{\hat{\eta}_1 + \hat{\eta}_2}{p} \quad (28)$$

ve

$$\hat{\xi}_2 = \frac{2(p+3)\hat{\eta}_1 + 2(p+4)\hat{\eta}_2}{p(p+2)} \quad (29)$$

olmak üzere Eşitlik 27'deki test istatistiğinde yer alan  $\hat{\beta}_1$  ve  $\hat{\beta}_2$  parametrelerinin tahminleri ise sırasıyla;

$$\hat{\beta}_1 = \frac{2}{\hat{\xi}_2 - 2\hat{\xi}_1}, \quad (30)$$

$$\hat{\beta}_2 = \frac{(p+2)\xi_2 - 2(p+4)\xi_1}{2(\xi_2 - 2\xi_1)} \quad (31)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Eşitlik 27’de verilen  $T_{MB}$  test istatistiği  $p$  serbestlik dereceli  $X_p^2$  kritik değerinden daha büyük ise yokluk hipotezi reddedilmektedir (Yanagira ve Yuan, 2005).

## 2.8. Yanlılık Düzeltme (BC) ve İkinci Sıra (S) Testleri

Kawasaki ve Seo (2015), F dağılımının serbestlik derecelerini düzelterek çok değişkenli Behrens-Fisher problemi için “Yanlılık Düzeltme Yöntemi (BC)” ve “İkinci Sıra Yöntemi (S)” olmak üzere iki farklı yaklaşık çözüm önermiştir.  $N = n_1 + n_2 - 2$  olmak üzere

$$\hat{v}_{BC} = \frac{2(N^2 - N\theta_1 + \theta_2 - \theta_3 - \theta_1^*)^2}{N^2(N^2 - 2N\theta_1 + 2N\theta_4 + 2\theta_5 - \theta_6 - 2\theta_1^* + 2\theta_4^*) - (N^2 - N\theta_1 + \theta_2 - \theta_3 - \theta_1^*)^2} \quad (32)$$

ve

$$\hat{\Phi}_{BC} = \frac{N^2 v_{BC}}{N^2 - N\theta_1 + \theta_2 - \theta_3 - \theta_1^*} \quad (33)$$

için BC yöntemine ait test istatistiği;

$$T_{BC} = \frac{\hat{v}_{BC}}{p\hat{\Phi}_{BC}} T \sim F_{p, \hat{v}_{BC}, (1-\alpha)} \quad (34)$$

biçimindedir. Benzer şekilde S yöntemine ait test istatistiği ise

$$\hat{v}_s = \frac{2(N^2 - N\theta_1 + \theta_2 - \theta_3)^2}{N^2(N^2 - 2N\theta_1 + 2N\theta_4 + 2\theta_5 - \theta_6) - (N^2 - N\theta_1 + \theta_2 - \theta_3)^2} \quad (35)$$

ve

$$\hat{\Phi}_s = \frac{N^2 v_s}{N^2 - N\theta_1 + \theta_2 - \theta_3} \quad (36)$$

olmak üzere

$$T_s = \frac{\hat{v}_s}{p\hat{\Phi}_s} T \sim F_{p, \hat{v}_s, (1-\alpha)} \quad (37)$$

biçiminde hesaplanmaktadır. Eğer  $T_{BC}$  ve  $T_s$  test istatistikleri sırasıyla  $F_{p, \hat{v}_{BC}, (1-\alpha)}$  ve  $F_{p, \hat{v}_s, (1-\alpha)}$  kritik değerlerinden daha büyük ise yokluk hipotezi reddedilmektedir. Ayrıca  $r = 1, \dots, 6$  için  $\theta_r$  ve  $\theta_r^*$  değerleri Kawasaki ve Seo (2015)’da görüldüğü gibi hesaplanmaktadır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde çok değişkenli iki örneklem Behrens-Fisher probleminin çözümü için önerilen test istatistiklerinin bir simülasyon çalışması ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla R (sürüm 4.1.0) programlama dili ve RStudio geliştirme ortamından yararlanılarak Yao (1965), Johansen (1980), Nel ve Van der Merwe (1986), Kim (1992), Krishnamoorthy ve Yu (2004), Yanagihara ve Yuan (2005) ile Kawasaki ve Seo (2015) tarafından önerilen test istatistiklerinin R fonksiyonları kodlanmıştır. Ayrıca çok değişkenli iki örneklem Behrens-Fisher problemlerinin çözümü için önerilen test istatistikleri, RStudio ortamındaki “HSAUR2” kütüphanesinde yer alan “skulls” veri seti kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Simülasyon çalışmasında ilk olarak normal dağılıma sahip rassal örneklemeler türetilmiştir. Ayrıca ikinci aşamada farklı dağılıma sahip veri setlerine göre test istatistiklerinin performanslarını görmek için Gamma ( $\Gamma(3,2)$ ) dağılımına göre standartlaştırılmış tesadüfi örneklemeler elde edilmiştir. Varyans-kovaryans matrislerinin heterojen olmasını sağlamak için  $i = 1,2$  ve  $j = 1, \dots, p$  olmak üzere

$$\Sigma_i = \begin{cases} 1 & i = j \\ (\rho_i)^{|i-j|} & i \neq j \end{cases} \quad (38)$$

eşitliğindeki kovaryans modeli kullanılmıştır. Böylece varyans-kovaryans matrisleri heterojen olan veriler için önerilen test istatistiklerinin kritik değerleri elde edilmiştir. Test istatistiğinin değeri ile kritik değerler karşılaştırılmış ve yokluk hipotezinin reddedilip reddedilemediğine karar verilmiştir. Çok sayıda tekrar edilen bu işlemler sonucunda her bir test istatistiği için elde edilen red sayıları, yapılan tekrar sayısına oranlanarak I. tip hata olasılıkları elde edilmiştir. Test istatistiklerine ait I. Tip hata olasılıklarını belirlemek için 50000 tekrar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca iki örneklem durumunda bağımlı değişken sayısının test istatistikleri üzerindeki etkisini görmek için  $p = 3$  ve  $p = 6$  olmak üzere iki farklı durum ele alınmıştır.

Simülasyon çalışması sonucunda test istatistiklerinin performanslarını elde edilen deneysel I. Tip hata olasılıklarına ( $\hat{\alpha}$ ) göre belirlemek için Zhang ve Liu (2011) ile Zhang (2012) tarafından kullanılan “Ortalama Göreceli Hata (ARE)” değeri hesaplanmıştır. Test istatistikleri için farklı koşullar altında elde edilen olasılık değerlerinin sayısı  $\tilde{N}$  olmak üzere her bir test istatistiğine göre ARE değeri

$$ARE = \frac{100}{\tilde{N}} \sum_{t=1}^{\tilde{N}} \frac{|\hat{\alpha}_t - \alpha|}{\alpha} \quad (39)$$

eşitliğinden yararlanılarak hesaplanmaktadır. Böylece ARE değeri daha düşük olan test istatistiklerinin anlamlılık düzeyine daha yakın değerler ortaya koyduğu söylenebilmektedir.

Simülasyon çalışması ile normal dağılımdan türetilen veri seti için farklı gözlem büyüklükleri ile varyans-kovaryans matrislerinin heterojenlik koşulu altında  $p = 3$  olduğunda %5 ( $\alpha = 0,05$ ) anlamlılık düzeyinde elde edilen I. Tip hata olasılıkları Tablo 1’de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Normal dağılıma göre  $p = 3$  için elde edilen I. tip hata olasılıkları

$(n_1; n_2)$	$(\rho_1; \rho_2)$	$T_{Yao}$	$T_{Joh}$	$T_{NV}$	$T_{MNV}$	$T_{Hot}$	$T_{BC}$	$T_S$	$T_{YY}$	$T_{MB}$	$T_{Kim}$
(12; 12)	(0,1; 0,9)	0,0478	0,0508	0,0520	0,0484	0,0580	0,0480	0,0484	0,0471	0,0484	0,0401
	(0,4; 0,6)	0,0457	0,0477	0,0462	0,0464	0,0490	0,0443	0,0461	0,0461	0,0465	0,0450
(24; 24)	(0,1; 0,9)	0,0485	0,0491	0,0515	0,0491	0,0532	0,0490	0,0490	0,0489	0,0490	0,0441
	(0,4; 0,6)	0,0497	0,0498	0,0499	0,0499	0,0508	0,0493	0,0498	0,0498	0,0499	0,0491
(48; 48)	(0,1; 0,9)	0,0490	0,0490	0,0507	0,0494	0,0516	0,0492	0,0493	0,0491	0,0493	0,0464
	(0,4; 0,6)	0,0484	0,0482	0,0486	0,0485	0,0487	0,0483	0,0485	0,0485	0,0485	0,0481
(12; 24)	(0,1; 0,9)	0,0537	0,0553	0,0619	0,0527	0,1434	0,0552	0,0534	0,0504	0,0529	0,0389
	(0,4; 0,6)	0,0539	0,0517	0,0500	0,0502	0,0611	0,0524	0,0513	0,0493	0,0503	0,0473
(24; 12)	(0,1; 0,9)	0,0493	0,0500	0,0381	0,0497	0,0341	0,0491	0,0495	0,0491	0,0495	0,0465
	(0,4; 0,6)	0,0536	0,0516	0,0453	0,0509	0,0431	0,0518	0,0514	0,0503	0,0509	0,0502
(24; 36)	(0,1; 0,9)	0,0500	0,0504	0,0557	0,0504	0,0941	0,0507	0,0504	0,0498	0,0504	0,0444
	(0,4; 0,6)	0,0497	0,0490	0,0503	0,0493	0,0560	0,0494	0,0494	0,0491	0,0493	0,0473
(36; 24)	(0,1; 0,9)	0,0496	0,0501	0,0468	0,0504	0,0360	0,0501	0,0503	0,0501	0,0503	0,0464
	(0,4; 0,6)	0,0509	0,0506	0,0495	0,0509	0,0454	0,0506	0,0509	0,0508	0,0509	0,0506
(12; 48)	(0,1; 0,9)	0,0580	0,0575	0,0583	0,0536	0,2827	0,0578	0,0551	0,0499	0,0539	0,0354
	(0,4; 0,6)	0,0622	0,0567	0,0514	0,0542	0,0738	0,0597	0,0564	0,0513	0,0545	0,0443
(48; 12)	(0,1; 0,9)	0,0514	0,0512	0,0289	0,0511	0,0406	0,0522	0,0513	0,0504	0,0510	0,0484
	(0,4; 0,6)	0,0577	0,0528	0,0418	0,0511	0,0374	0,0563	0,0531	0,0493	0,0512	0,0462
<b>ARE</b>		<b>5,967</b>	<b>3,989</b>	<b>9,633</b>	<b>2,756</b>	<b>54,489</b>	<b>5,578</b>	<b>3,729</b>	<b>1,922</b>	<b>2,878</b>	<b>9,211</b>

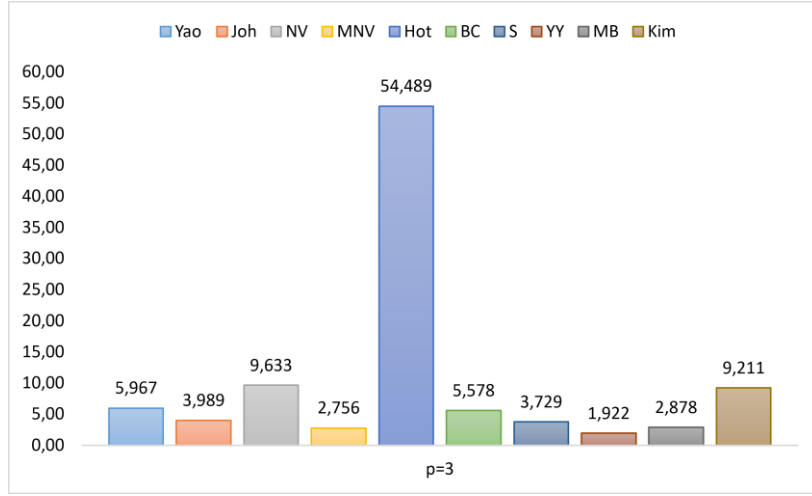
Tablo 1'e göre  $p = 3$  durumunda anlamlılık düzeyine en yakın değerler ortaya koyan test istatistiklerinin  $T_{YY}$ ,  $T_{MNV}$ ,  $T_{MB}$  ve  $T_S$  olduğu görülmektedir. Ancak  $T_{Hot}$ ,  $T_{NV}$  ve  $T_{Kim}$  test istatistikleri genel olarak daha düşük performans ortaya koymaktadır. Üstelik tüm koşullar altında en kötü performans  $n_i = (12; 48)$  ve  $\rho = (0,1; 0,9)$  koşulunda 0,2827 değeri ile  $T_{Hot}$  istatistiğinden elde edilmiştir. Dolayısıyla  $T_{Hot}$  istatistiği, eşit olmayan gözlem büyüklüklerinden ve gözlem sayıları arasındaki farkın artışından etkilenmektedir.  $T_{NV}$  istatistiği,  $T_{Hot}$  istatistiğine göre daha iyi performans göstermiştir. Ancak  $T_{Yao}$ ,  $T_{MNV}$ ,  $T_{BC}$ ,  $T_S$ ,  $T_{YY}$  ve  $T_{MB}$  test istatistiklerine göre  $T_{NV}$  ve  $T_{Kim}$  için I. tip hata olasılıklarının anlamlılık düzeyinden daha uzak olduğu belirlenmiştir. Normal dağılımdan türetilen veri seti için farklı gözlem büyüklükleri ile varyans-kovaryans matrislerinin heterojenlik koşulu altında  $p = 6$  için %5 anlamlılık düzeyindeki I. Tip hata olasılıkları Tablo 2'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Normal dağılıma göre  $p = 6$  için elde edilen I. tip hata olasılıkları

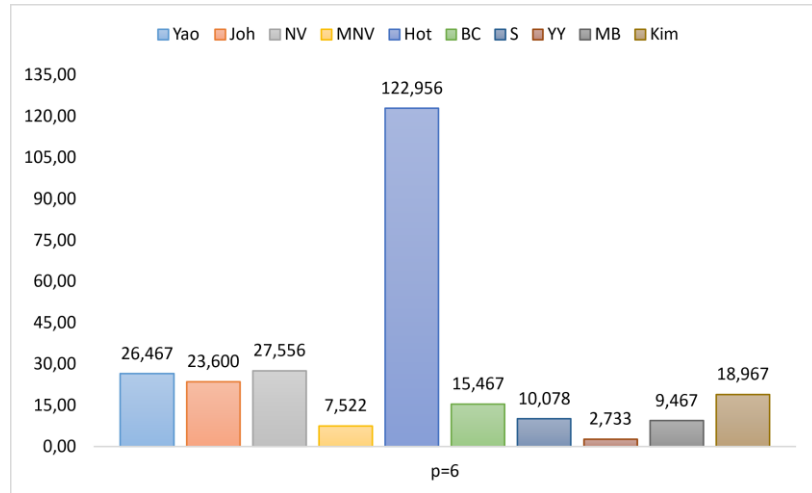
$(n_1; n_2)$	$(\rho_1; \rho_2)$	$T_{Yao}$	$T_{Joh}$	$T_{NV}$	$T_{MNV}$	$T_{Hot}$	$T_{BC}$	$T_S$	$T_{YY}$	$T_{MB}$	$T_{Kim}$
(12; 12)	(0,1; 0,9)	0,0576	0,0736	0,0582	0,0514	0,0768	0,0531	0,0522	0,0472	0,0543	0,0304
	(0,4; 0,6)	0,0420	0,0589	0,0435	0,0440	0,0506	0,0432	0,0454	0,0482	0,0465	0,0400
(24; 24)	(0,1; 0,9)	0,0501	0,0533	0,0562	0,0505	0,0625	0,0511	0,0506	0,0491	0,0508	0,0361
	(0,4; 0,6)	0,0479	0,0497	0,0487	0,0486	0,0500	0,0481	0,0487	0,0484	0,0489	0,0471
(48; 48)	(0,1; 0,9)	0,0498	0,0497	0,0540	0,0500	0,0563	0,0502	0,0500	0,0496	0,0500	0,0425
	(0,4; 0,6)	0,0494	0,0490	0,0496	0,0495	0,0499	0,0493	0,0495	0,0494	0,0496	0,0486
(12; 24)	(0,1; 0,9)	0,0830	0,0867	0,0886	0,0615	0,2448	0,0688	0,0634	0,0517	0,0654	0,0334
	(0,4; 0,6)	0,0735	0,0673	0,0478	0,0549	0,0704	0,0631	0,0584	0,0508	0,0569	0,0567
(24; 12)	(0,1; 0,9)	0,0469	0,0528	0,0203	0,0479	0,2470	0,0473	0,0479	0,0469	0,0483	0,0424
	(0,4; 0,6)	0,0595	0,0596	0,0330	0,0514	0,0396	0,0553	0,0539	0,0493	0,0527	0,0572
(24; 36)	(0,1; 0,9)	0,0543	0,0565	0,0680	0,0530	0,1390	0,0550	0,0534	0,0510	0,0536	0,0344
	(0,4; 0,6)	0,0524	0,0514	0,0520	0,0502	0,0622	0,0517	0,0510	0,0495	0,0505	0,0468
(36; 24)	(0,1; 0,9)	0,0494	0,0505	0,0408	0,0500	0,0297	0,0497	0,0499	0,0495	0,0500	0,0426
	(0,4; 0,6)	0,0512	0,0511	0,0458	0,0502	0,0433	0,0504	0,0507	0,0498	0,0506	0,0501
(12; 48)	(0,1; 0,9)	0,0921	0,0948	0,0711	0,0634	0,4828	0,0718	0,0651	0,0462	0,0676	0,0284
	(0,4; 0,6)	0,1037	0,0788	0,0393	0,0598	0,0912	0,0773	0,0657	0,0490	0,0626	0,0572
(48; 12)	(0,1; 0,9)	0,0558	0,0557	0,0076	0,0535	0,0316	0,0556	0,0542	0,0516	0,0536	0,0564
	(0,4; 0,6)	0,0904	0,0698	0,0237	0,0579	0,0329	0,0734	0,0635	0,0516	0,0599	0,0658
<b>ARE</b>		<b>26,467</b>	<b>23,600</b>	<b>27,556</b>	<b>7,522</b>	<b>122,956</b>	<b>15,467</b>	<b>10,078</b>	<b>2,733</b>	<b>9,467</b>	<b>18,967</b>

Tablo 2 incelendiğinde bağımlı değişken sayısı arttıkça test istatistikleri için elde edilen deneysel hata olasılıklarının da %5 anlamlılık düzeyinden uzaklaştığı gözlemlenmiştir. Ancak  $T_{YY}$  test istatistiğinin, diğer test istatistiklere göre anlamlılık düzeyine daha yakın değerler ortaya koyduğu görülmektedir.  $T_{MNV}$ ,  $T_{MB}$ ,  $T_S$  ve  $T_{BC}$  test istatistikleri birbirlerine daha yakın değerler ortaya koyarken  $T_{Yao}$  ve  $T_{Joh}$  istatistiklerinin ise gözlem sayıları arasındaki farkın artışıyla oldukça fazla etkilendiği sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 1 ve Tablo 2 'de yer alan olasılık değerlerine göre elde edilen ARE değerleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Normal dağılıma göre  $p = 3$  için ARE değerleri



Şekil 2. Normal dağılıma göre  $p = 6$  için ARE değerleri

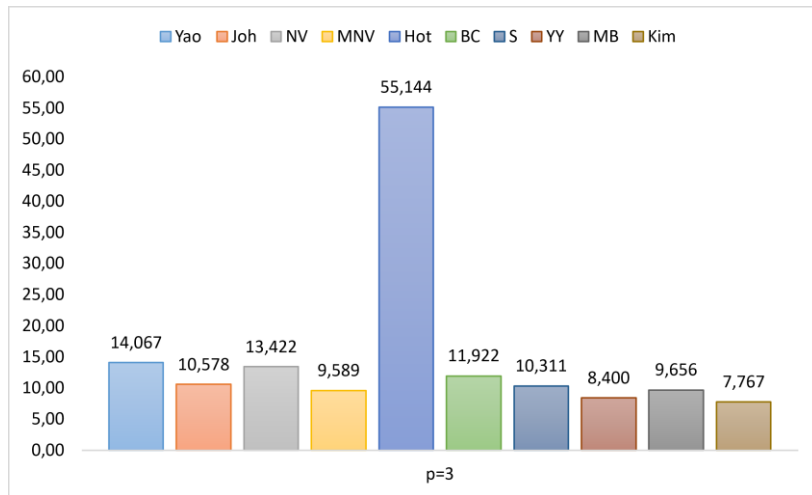
Şekil 1 ve Şekil 2'ye göre  $p = 3$  için en düşük ARE değerleri sırasıyla  $T_{YY}$ ,  $T_{MNV}$  ve  $T_{MB}$  test istatistiklerinden elde edilmiştir. Ayrıca  $T_S$  ve  $T_{Joh}$  ile  $T_{BC}$  ve  $T_{Yao}$  test istatistikleri ise birbirlerine yakın değerler ortaya koymaktadır. Ancak bağımlı değişken sayısı  $p = 6$  olduğunda bütün test istatistiklerine ait ARE değerlerinin yükseldiği gözlemlenmiştir. En düşük ARE değeri  $T_{YY}$  istatistiğinden elde edilirken bu test istatistiğinin performansını sırasıyla  $T_{MNV}$ ,  $T_{MB}$ ,  $T_S$  ve  $T_{BC}$  test istatistikleri takip etmektedir.

Simülasyon çalışmasının bu aşamasında ise Gamma ( $\Gamma(3,2)$ ) dağılımına göre türetilen veri seti için farklı gözlem büyüklükleri ile varyans-kovaryans matrislerinin heterojenlik koşulu altında  $p = 3$  olduğunda %5 anlamlılık düzeyinde elde edilen I. Tip hata olasılıkları Tablo 3'te gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Gamma ( $\Gamma(3,2)$ ) dağılıma göre  $p = 3$  için elde edilen I. tip hata olasılıkları

$(n_1; n_2)$	$(\rho_1; \rho_2)$	$T_{Yao}$	$T_{Joh}$	$T_{NV}$	$T_{MNV}$	$T_{Hot}$	$T_{BC}$	$T_S$	$T_{YY}$	$T_{MB}$	$T_{Kim}$
(12; 12)	(0,1; 0,9)	0,0495	0,0516	0,0510	0,0491	0,0588	0,0485	0,0491	0,0479	0,0491	0,0395
	(0,4; 0,6)	0,0417	0,0446	0,0422	0,0430	0,0472	0,0410	0,0428	0,0424	0,0430	0,0424
(24; 24)	(0,1; 0,9)	0,0520	0,0524	0,0542	0,0525	0,0567	0,0522	0,0523	0,0520	0,0523	0,0461
	(0,4; 0,6)	0,0470	0,0474	0,0475	0,0476	0,0490	0,0471	0,0475	0,0475	0,0475	0,0481
(48; 48)	(0,1; 0,9)	0,0515	0,0521	0,0535	0,0524	0,0546	0,0523	0,0523	0,0523	0,0523	0,0495
	(0,4; 0,6)	0,0506	0,0505	0,0508	0,0508	0,0514	0,0506	0,0507	0,0507	0,0507	0,0523
(12; 24)	(0,1; 0,9)	0,0630	0,0614	0,0675	0,0590	0,1440	0,0611	0,0594	0,0567	0,0590	0,0456
	(0,4; 0,6)	0,0587	0,0557	0,0533	0,0543	0,0594	0,0559	0,0550	0,0534	0,0544	0,0529
(24; 12)	(0,1; 0,9)	0,0487	0,0499	0,0382	0,0496	0,0352	0,0491	0,0494	0,0489	0,0494	0,0450
	(0,4; 0,6)	0,0532	0,0511	0,0449	0,0505	0,0412	0,0509	0,0508	0,0498	0,0505	0,0517
(24; 36)	(0,1; 0,9)	0,0536	0,0531	0,0578	0,0531	0,0957	0,0534	0,0532	0,0527	0,0531	0,0459
	(0,4; 0,6)	0,0512	0,0504	0,0511	0,0506	0,0557	0,0507	0,0506	0,0504	0,0506	0,0497
(36; 24)	(0,1; 0,9)	0,0504	0,0511	0,0480	0,0514	0,0383	0,0510	0,0512	0,0511	0,0513	0,0474
	(0,4; 0,6)	0,0490	0,0489	0,0479	0,0491	0,0439	0,0489	0,0490	0,0490	0,0490	0,0503
(12; 48)	(0,1; 0,9)	0,0745	0,0695	0,0703	0,0664	0,2832	0,0702	0,0676	0,0630	0,0668	0,0424
	(0,4; 0,6)	0,0784	0,0688	0,0623	0,0667	0,0732	0,0720	0,0686	0,0644	0,0669	0,0567
(48; 12)	(0,1; 0,9)	0,0545	0,0543	0,0323	0,0542	0,0432	0,0549	0,0545	0,0533	0,0541	0,0505
	(0,4; 0,6)	0,0709	0,0640	0,0500	0,0628	0,0384	0,0667	0,0644	0,0611	0,0628	0,0571
<b>ARE</b>		<b>14,067</b>	<b>10,578</b>	<b>13,422</b>	<b>9,589</b>	<b>55,144</b>	<b>11,922</b>	<b>10,311</b>	<b>8,400</b>	<b>9,656</b>	<b>7,767</b>

Ayrıca  $p = 3$  ve  $n_i$  gözlem sayıları için Tablo 3'te yer alan olasılık değerlerine göre elde edilen ARE değerleri Şekil 3'te gösterilmiştir.



**Şekil 3.** Gamma ( $\Gamma(3,2)$ ) dağılıma göre  $p = 3$  için ARE değerleri

Tablo 3 ve Şekil 3 incelendiğinde  $p = 3$  durumu için Gamma ( $\Gamma(3,2)$ ) dağılımına göre anlamlılık düzeyine en yakın değerler ortaya koyan test istatistiklerinin  $T_{Kim}$ ,  $T_{YY}$ ,  $T_{MNV}$ ,  $T_{MB}$  ve  $T_S$  olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, normal dağılıma göre türetilen veri setine göre elde edilen bulgular ile paralellik göstermektedir. Ancak Gamma ( $\Gamma(3,2)$ ) dağılıma göre elde edilen I. tip hata olasılıkları ile genel olarak ARE değerlerinin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bütün deneysel koşullar altında test istatistikleri iyi bir performans ortaya koyarken  $T_{Hot}$  istatistiği gözlem büyüklüklerinin



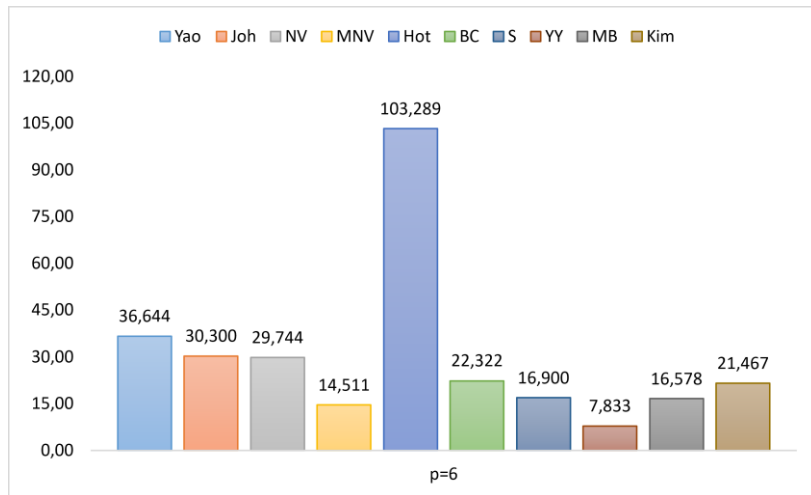
farklılığından çok fazla etkilenmektedir. ARE değerlerine göre en düşük ARE değerleri sırasıyla  $T_{Kim}$ ,  $T_{YY}$ ,  $T_{MNV}$  ve  $T_{MB}$  test istatistiklerinden elde edilmiştir.

Gamma ( $\Gamma(3,2)$ ) dağılımına göre türetilen veri seti için farklı gözlem büyüklükleri ile varyans-kovaryans matrislerinin heterojenlik koşulu altında  $p = 6$  olduğunda %5 anlamlılık düzeyinde elde edilen I. Tip hata olasılıkları Tablo 4'te gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Gamma ( $\Gamma(3,2)$ ) dağılıma göre  $p = 6$  için elde edilen I. tip hata olasılıkları

$(n_1; n_2)$	$(\rho_1; \rho_2)$	$T_{Yao}$	$T_{Joh}$	$T_{NV}$	$T_{MNV}$	$T_{Hot}$	$T_{BC}$	$T_S$	$T_{YY}$	$T_{MB}$	$T_{Kim}$
(12; 12)	(0,1; 0,9)	0,0608	0,0777	0,0585	0,0544	0,0798	0,0559	0,0552	0,0499	0,0574	0,0322
	(0,4; 0,6)	0,0394	0,0561	0,0394	0,0408	0,0482	0,0401	0,0417	0,0393	0,0430	0,0376
(24; 24)	(0,1; 0,9)	0,0557	0,0575	0,0599	0,0541	0,0670	0,0550	0,0543	0,0527	0,0545	0,0377
	(0,4; 0,6)	0,0460	0,0486	0,0467	0,0470	0,0493	0,0465	0,0471	0,0466	0,0473	0,0468
(48; 48)	(0,1; 0,9)	0,0507	0,0504	0,0544	0,0507	0,0571	0,0508	0,0507	0,0503	0,0507	0,0407
	(0,4; 0,6)	0,0477	0,0476	0,0482	0,0481	0,0490	0,0478	0,0481	0,0480	0,0481	0,0487
(12; 24)	(0,1; 0,9)	0,0912	0,0917	0,0919	0,0676	0,2398	0,0746	0,0691	0,0575	0,0714	0,0387
	(0,4; 0,6)	0,0736	0,0673	0,0459	0,0554	0,0654	0,0618	0,0583	0,0517	0,0569	0,0602
(24; 12)	(0,1; 0,9)	0,0487	0,0551	0,0214	0,0505	0,0267	0,0501	0,0506	0,0496	0,0509	0,0406
	(0,4; 0,6)	0,0590	0,0586	0,0330	0,0509	0,0385	0,0540	0,0526	0,0494	0,0520	0,0585
(24; 36)	(0,1; 0,9)	0,0599	0,0604	0,0719	0,0570	0,1415	0,0587	0,0574	0,0552	0,0574	0,0370
	(0,4; 0,6)	0,0527	0,0515	0,0512	0,0504	0,0586	0,0514	0,0509	0,0498	0,0507	0,0482
(36; 24)	(0,1; 0,9)	0,0502	0,0515	0,0416	0,0509	0,0303	0,0507	0,0507	0,0503	0,0509	0,0426
	(0,4; 0,6)	0,0488	0,0492	0,0447	0,0485	0,0417	0,0486	0,0489	0,0481	0,0488	0,0498
(12; 48)	(0,1; 0,9)	0,1163	0,1095	0,0822	0,0768	0,4821	0,0877	0,0787	0,0570	0,0824	0,0368
	(0,4; 0,6)	0,1273	0,0933	0,0450	0,0736	0,0892	0,0926	0,0799	0,0621	0,0766	0,0741
(48; 12)	(0,1; 0,9)	0,0572	0,0580	0,0093	0,0557	0,0331	0,0579	0,0565	0,0541	0,0558	0,0584
	(0,4; 0,6)	0,1058	0,0795	0,0271	0,0670	0,0341	0,0827	0,0730	0,0603	0,0688	0,0794
<b>ARE</b>		<b>36,644</b>	<b>30,300</b>	<b>29,744</b>	<b>14,511</b>	<b>103,289</b>	<b>22,322</b>	<b>16,900</b>	<b>7,833</b>	<b>16,578</b>	<b>21,467</b>

Ayrıca  $p = 6$  ve  $n_i$  gözlem sayıları için Tablo 4'te yer alan olasılık değerlerine göre elde edilen ARE değerleri Şekil 4'te gösterilmiştir.



**Şekil 4.** Gamma ( $\Gamma(3,2)$ ) dağılıma göre  $p = 6$  için ARE değerleri

Tablo 4 ve Şekil 4 incelendiğinde ise Gamma ( $\Gamma(3,2)$ ) dağılımına göre türetilen veri seti için bağımlı değişken sayısı arttıkça test istatistiklerinden elde edilen deneysel hata olasılıklarının da nominal anlamlılık düzeyinden uzaklaştığı gözlemlenmiştir. Ancak  $T_{YY}$  test istatistiğinin, diğer test istatistiklere

göre anlamlılık düzeyine daha yakın değerler ortaya koyduğu görülmektedir. Şekil 4'e göre en düşük ARE değerleri sırasıyla  $T_{YY}$ ,  $T_{MNV}$  ve  $T_{MB}$  test istatistiklerinden elde edilmiştir.

Son bölümde ise önerilen test istatistiklerinin gerçek bir veri örneği üzerinde karşılaştırılması için RStudio ortamındaki "HSAUR2" kütüphanesinde yer alan "skulls" veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti; hanedanlık (firavunlar) öncesi ilk dönemler (yaklaşık MÖ 4000); hanedanlık öncesi son dönemler (yaklaşık MÖ 3300); 12. ve 13. hanedanlar (yaklaşık MÖ 1850); Ptolemaios hanedanlık dönemi (yaklaşık MÖ 200) ve Roma dönemi (yaklaşık MS 150) olmak üzere Mısır'da beş farklı döneme ait erkek kafatası örneklerine ilişkin gözlem verileri içermektedir. Ayrıca kafatası örneklerinin her biri için dört farklı özellik bilinmekte ve her bir dönemden 30'ar tane olmak üzere 150 gözlemden oluşmaktadır. Ayrıca bu veri seti Thomson ve Randall-Maciver (1905) tarafından sunulmuş ve Krishnamoorthy ve Lu (2010), Zhang ve Liu (2011) ile Zhang (2012) tarafından  $k$  örneklem Behrens-Fisher problemleri için uygulanmıştır.

Çalışmada MÖ 4000-MÖ 3300 (I), MÖ 3300-MÖ 1850 (II) ve MÖ 1850-MÖ 200 (III) olmak üzere üç farklı karşılaştırma yapılmıştır. Böylece grup ortalamaları arasındaki farkların zamanla değişip değişmediğinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca dengeli ve dengesiz gözlem büyüklüklerinin test istatistiklerinin performansı üzerindeki etkisini göstermek amacıyla MÖ 4000, MÖ 3300, MÖ 1850 ve MÖ 200 dönemleri için sırasıyla veri setine ait ilk  $n_1 = 21$ ,  $n_2 = 21$ ,  $n_3 = 10$  ve  $n_4 = 6$  adet gözlem kullanılmıştır. Bu durumda iki örneklem Behrens-Fisher problemleri için önerilen test istatistikleri kullanılarak %5 anlamlılık düzeyinde dört farklı karşılaştırma için elde edilen olasılık değerleri Tablo 5'te yer almaktadır.

**Tablo 5.** Kafatası örneklerine göre üç farklı karşılaştırma için elde edilen olasılık değerleri

	$T_{Yao}$	$T_{Joh}$	$T_{NV}$	$T_{MNV}$	$T_{Hot}$	$T_{BC}$	$T_S$	$T_{YY}$	$T_{MB}$	$T_{Kim}$
I	0,62278	0,61620	0,62333	0,62358	0,62256	0,62418	0,62333	0,62325	0,62299	0,61717
II	0,13011	0,09789	0,11270	0,10773	<b>0,04708</b>	0,09719	0,10301	0,11091	0,10651	0,11241
III	0,13106	0,06520	0,13442	0,09217	<b>0,03526</b>	0,08011	0,08507	0,09964	0,08786	0,12050

Tablo 5 incelendiğinde I. durum için bütün test istatistiklerine göre elde edilen olasılık değerlerinin %5'ten daha büyük olduğu görülmüştür. Bu durumda MÖ 4000-MÖ 3300 (I) karşılaştırılması için "Kafatası örnekleri arasında anlamlı bir farklılık yoktur" biçimindeki sıfır hipotezi reddedilememiştir. Böylece MÖ 4000 ve MÖ 3300 dönemlerine ait kafatası örnekleri arasında dört farklı ölçüm bakımından anlamlı bir farklılık olmadığı söylenebilmektedir. MÖ 3300-MÖ 1850 (II) ile MÖ 1850-MÖ 200 (III) için gerçekleştirilen analiz sonuçları incelendiğinde ise  $T_{Hot}$  test istatistiği için %5 anlamlılık düzeyinde sıfır hipotezinin reddedildiği ve ilgili dönemler arasında anlamlı bir farklılık olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ancak diğer bütün test istatistiklerine göre %5 anlamlılık düzeyinde ilgili dönemler arasında kafatası örnekleri için dört farklı ölçüm bakımından anlamlı bir farklılık olmadığı görülmektedir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmanın amacı, iki örneklem Behrens-Fisher problemleri için önerilen test istatistiklerini I. tip hata olasılıkları bakımından karşılaştırmaktır. Bu amaçla varsayımların ihlal edilmesi durumunda iki grup ortalama vektörünün eşitliğini test etmek için Yao (1965), Johansen (1980), Nel ve Van der Merwe (1986), Kim (1992), Krishnamoorthy ve Yu (2004), Yanagihara ve Yuan (2005) ile Kawasaki ve Seo (2015) tarafından önerilen test istatistikleri bir simülasyon çalışması ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca çalışmada bağımlı değişken sayısına ve gözlem büyüklükleri için farklı koşullar altında test istatistiklerinin performansını incelenmiştir.

Bağımlı değişken sayısının küçük olduğu durumda  $T_{Yao}$ ,  $T_{Joh}$ ,  $T_{MNV}$ ,  $T_{BC}$ ,  $T_S$ ,  $T_{YY}$  ve  $T_{MB}$  test istatistikleri için elde edilen olasılık değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Özellikle gözlem sayılarının dengeli olduğu durumlarda anlamlılık düzeyine oldukça yakın değerler elde edilmiştir. Ancak iki örneklemin gözlem sayıları arasındaki fark yükseldikçe elde edilen I. tip hata olasılıklarının da anlamlılık düzeyinden uzaklaştığı gözlemlenmiştir. Bağımlı değişken sayısı yükseldikçe test istatistikleri için elde edilen deneysel hata olasılıklarının da nominal anlamlılık düzeyinden uzaklaştığı gözlemlenmiştir. Bütün sonuçlar incelendiğinde genel olarak en iyi performansın sırasıyla  $T_{YY}$ ,  $T_{MNV}$ ,  $T_{MB}$  ve  $T_S$  istatistikleri göstermiştir. Hotelling  $T^2$  istatistiğinin ise varsayım ihlallerinden, bağımlı değişken sayısından ve dengesiz gözlem büyüklüğünden çok fazla etkilendiği görülmektedir. Bu durumda çalışmanın sonuçları incelenen test istatistiklerinin genel olarak bağımlı değişken sayısına ve gözlem büyüklüklerine karşı oldukça duyarlı olduğunu göstermiştir.

Bu çalışma ile varyans-kovaryans matrisleri heterojen olan iki örneklemin ortalama vektörlerini karşılaştırmak için ideal test istatistiklerinin ortaya konulması hedeflenmiştir. Ayrıca farklı deneysel koşullar altında test istatistiklerinin performansı araştırılmıştır. Ancak bağımlı değişken sayısına ve gözlem büyüklüklerine göre test istatistiklerinin performanslarının farklılaştığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle araştırma problemi için elde edilen veri setinin özellikleri dikkate alınarak en yüksek performansa sahip test istatistiği seçilebilir. Bundan sonraki çalışmalarda çeşitli istatistiksel dağılımlar ya da gözlem büyüklüklerine göre test istatistiklerinin performansları araştırılabilir. Ayrıca bağımlı değişken sayısının gözlem sayısından daha büyük olduğu yüksek boyutlu veriler için iki örneklem Behrens-Fisher problemlerinin çözümüne yönelik alternatif test istatistikleri geliştirebilir.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

#### Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Bu çalışma Esin Budak'ın Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Zeki Yıldız danışmanlığında hazırladığı yüksek lisans tez konusundan üretilmiştir. Tüm yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

## Kaynakça

- Behrens WV. Ein Beitrag zur Fehlerberechnung bei wenigen Beobachtungen (A contribution to error estimation with few observations), *Landwirtschaftliches Jahrbuch* 1929; 68: 807-837.
- Bennett BM. Note on a solution of the generalized Behrens–Fisher problem. *Annals of the Institute Statistical Mathematics* 1951; 2: 87–90.
- Budak E. İki örneklem Behrens-Fisher problem. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 35, Eskişehir, Türkiye, 2021.
- Christensen WF., Rencher AC. A comparison of type I error rates and power levels for seven solutions to the multivariate Behrens-Fisher problem. *Communications in Statistics - Simulation and Computation* 1997; 26: 1251-1273.
- Coombs WT., Algina J., Oltman DO. Univariate and multivariate omnibus hypothesis tests selected to control type I error rates when population variances are not necessarily equal. *Review of Educational Research* 1996; 66(2): 137–179.
- Erdoğan S. Heterojenlik altında iki grup ortalama vektörlerinin karşılaştırılması için önerilen yeni bir hesaplamalı yaklaşım testi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, sayfa no: 78, Ankara, Türkiye, 2018.
- Fisher RA. The fiducial argument in statistical inference. *Annals of Eugenics* 1935; 6(4): 391-398.
- Fujikoshi Y. Transformations with improved chi-squared approximations. *Journal of Multivariate Analysis* 2000; 72(2): 249-263.
- Hotelling H. The generalization of Student's ratio. *The Annals of Mathematical Statistics* 1931; 2(3): 360–378.
- James GS. Tests of linear hypotheses in univariate and multivariate analysis when the ratios of the population variances are unknown. *Biometrika* 1954; 41(1/2): 19-43.
- Johansen S. The Welch-James approximation to the distribution of the residual sum of squares in a weighted linear regression. *Biometrika* 1980; 67(1): 85-92.
- Kawasaki T., Seo T. A two sample test for mean vectors with unequal covariance matrices. *Communications in Statistics: Simulation and Computation* 2015; 44(7): 1850-1866.
- Kim S. A practical solution to the multivariate Behrens- Fisher problem. *Biometrika* 1992; 79(1): 171-176.
- Krishnamoorthy K., Lu F. A parametric bootstrap solution to the MANOVA under heteroscedasticity. *Journal of Statistical Computation and Simulation* 2010; 80(8): 873-887.
- Krishnamoorthy K., Yu J. Modified Nel and Van der Merwe test for the multivariate Behrens–Fisher problem. *Statistics and Probability Letters* 2004; 66: 161–169.
- Krishnamoorthy K., Yu J. Multivariate Behrens-Fisher problem with missing data. *Journal of Multivariate Analysis* 2012; 105(1): 141–150.

- Lix LM., Keselman HJ. Multivariate tests of means in independent groups designs: Effects of covariance heterogeneity and nonnormality. *Evaluation & The Health Professions* 2004; 27(1): 45-69.
- Nel DG., Van der Merwe, CA. A solution to the multivariate Behrens-Fisher problem. *Communication Statistics-Theory and Methods* 1986; 15(12): 3719-3735.
- Pfanzagl J. On the Behrens-Fisher problem. *Biometrika* 1974; 61(1): 39-47.
- Sandal M. Kovaryans matrislerinin homojenliği varsayımı sağlanmadığında istatistiksel çözümleme yaklaşımları. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, sayfa no: 155, Eskişehir, Türkiye, 2020.
- Scheffé H. On solutions of the Behrens-Fisher problem, based on the t-distribution. *Annals of Mathematical Statistics* 1943; 14(1): 35-44.
- Subrahmaniam K., Subrahmaniam K. On the multivariate Behrens-Fisher problem. *Biometrika* 1973; 60(1): 107-111.
- Thomson A. Randall-Maciver R. *Ancient races of the Thebaid*. Oxford University Press 1905.
- Wald A. Testing the difference between means of two normal populations with unknown standard deviations. *Selected Papers in Probability Statistics* 1955; 669-695.
- Welch BL. The significance of the difference between two means when the population variances are unequal. *Biometrika* 1938; 29(3/4): 350-362.
- Welch BL. The generalization of Student's problem when several different population variances are involved. *Biometrika* 1947; 34(1-2): 28-35.
- Yanagihara H., Yuan KH. Three approximate solutions to the multivariate Behrens-Fisher problem. *Communication in Statistics - Simulation and Computation* 2005; 34(4): 975-988.
- Yao Y. An approximate degrees of freedom solution to the Multivariate Behrens-Fisher problem. *Biometrika* 1965; 52(1-2): 139-147.
- Zezula I. Implementation of a new solution to the multivariate Behrens-Fisher problem. *Stata Journal* 2009; 9(4): 593-598.
- Zhang JT., Liu X. A modified Bartlett test for heteroscedastic one-way MANOVA. *Metrika* 2011; 76: 135-152.
- Zhang JT. An approximate Hotelling  $T^2$ -test for heteroscedastic one-way MANOVA. *Open Journal of Statistics* 2012; 2(1): 1-11.



## Işık Kirliliğinin Kentsel Yaşam Kalitesi Üzerine Etkisinin Araştırılması: İskenderun/Hatay Örneği

Sebahat Sinem ÖZYURT ÖKTEN<sup>1\*</sup>, Asuman AYSU KAPAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İskenderun Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Kalkınma Bölümü, 31200, Hatay

<sup>2</sup>İskenderun Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 31200, Hatay

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-4010-2565>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-1225-8362>

\*Sorumlu yazar:sinem.okten@iste.edu.tr

### Araştırma Makalesi

### ÖZ

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 18.01.2022

Kabul tarihi:01.01.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Işık kirliliği

Gökyüzü niteliği ölçer (SQM)

Aydınlatma

İskenderun

Işık, günümüzde ihtiyaç duyduğumuz en önemli kaynaklardan olmasına karşın, gereğinden fazla kullanımının yarattığı etkilerle en önemli kirlilik kaynaklarından biri haline gelmiştir. Işık kirliliği insan, hayvan ve bitki sağlığı üzerinde ciddi etkilere sahiptir. Bu olumsuz etkilerin önemli bir bölümü alan kullanımlarına bağlı olarak seçilen uygun aydınlatma elemanlarıyla kontrol altına alınabilmektedir. Bu çalışmanın amacı Türkiye'nin önemli bir kıyı yerleşimi olan İskenderun ilçe merkezi ve yakın çevresindeki ışık kirliliğinin kontrolünü sağlamaktır. Bu kapsamda Sky Quality Meter - Gökyüzü Kalitesi Ölçer (SQM-LU) cihazıyla 1x1 km'lik gridlerin merkez noktalarında ölçümler alınmış ve IDW (Inverse Distance Weighting) yöntemi ile Bortle ölçeğine göre ışık kirliliği dağılım haritası oluşturulmuştur. Bu değerlendirme sonucunda çalışma alanının %30,02'lik bölümü Bortle ölçeğine göre altıncı ve yedinci sınıf alanlar, %69,98'lik bölümü ise sekizinci ve dokuzuncu sınıf alanlar olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak yüksek oranda ışık kirliliğinin tespit edildiği İskenderun ilçe merkezi ve yakın çevresinde daha nitelikli bir yaşam kalitesi için tercih edilmesi gerek aydınlatma elemanları ve geliştirilmesi gereken stratejiler sunulmuştur.

## Investigation of the Effect of Light Pollution on Quality of Urban Life: The Case of İskenderun/Hatay

### Research Article

### ABSTRACT

#### Article History:

Received: 18.01.2022

Accepted: 01.01.2023

Published online:04.12.2023

#### Keywords:

Light pollution

Sky quality meter (SQM)

Lighting

İskenderun

Although light is one of the most important sources we need today, it has become one of the most important sources of pollution with the effects of overuse. Light pollution has serious effects on human, animal and plant health. A significant amount of these negative effects can be controlled with appropriate lighting elements selected depending on the area usage. The aim of this study is to control the light pollution in İskenderun district center and its surroundings, which is an important coastal settlement in Turkey. In this context, measurements were taken at the center points of the 1x1 km grids with the Sky Quality Meter (SQM-LU) device and a light pollution distribution map was created according to the Bortle scale with the IDW (Inverse Distance Weighting) method. As a result of this evaluation, 30,02% of the study area was determined as sixth and seventh grade areas according to the Bortle scale, and 69,98% of it was determined as eighth and ninth grade areas. As a result, lighting elements that should be preferred for a more qualified quality of life and strategies that should be developed are presented in İskenderun district center and its vicinity, where a high level of light

## 1. Giriş

Dünya hızla gelişen teknolojik yeniliklerin etkisinde yol alırken, yarattığı çeşitli çevresel yüklerin de hızla artmasına neden olmaktadır. Işık, hiç şüphesiz bu süreçte ihtiyaç duyulan en önemli kaynaklardandır. Geceleri oluşan yapay ışık ise dünyanın her bölgesinde insanları etkileyen küresel bir sorundur (Falchi ve ark., 2016). Ortamın doğal ışık varlığının yapay ışık kaynakları kullanılarak, ihtiyacın ötesinde değiştirmesiyle ışık kirliliği ortaya çıkmaktadır (Aslan, 2019). Günümüz yaşam koşullarına bakıldığında ise dünya nüfusunun %80'inden fazlası, Avrupa'nın ise %99'u ışık kirliliği ile kirlenmiş gökyüzü altında yaşamaktadır (Mitchell ve Gallaway, 2019). Işık kirliliği terimi, 19. yüzyılın başında gaz lambalarının piyasaya sürülmesinden birkaç yıl sonra ortaya çıkmıştır (Van Bommel, 2015). 1918 yılında Squires ve Hanson tarafından yürütülen ilk çalışmayla da ışık kirliliğinin kuş göçü ve hareketleri üzerindeki etkileri incelenmiştir (Czarnecka ve ark., 2021).

Işık kirliliği, olumsuz estetik, sağlık veya ekolojik etkilere neden olan yapay gece aydınlatması olarak tanımlanabilir (Lyytimäki, 2015). Işık kirliliğinin temel nedenlerinden biri de birçok ülkede yasal düzenlemelerin olmamasıdır. Bu nedenle özellikle yerel yönetimler altyapı düzenlemelerinde insanlar ve çevreye zararlı olabilecek tercihler yapabilmektedir (Chepesiuk, 2009). Birleşmiş Milletler, 1999 yılında Viyana'da gerçekleşen Uzayın Barışçıl Amaçlarla Kullanılması Konferansı'nda uzayı tüm insanların ortak alanı olarak tanımlamış ve ışık kirliliğinin denetim altına alınması için üye ülkelerin harekete geçmesini istemişlerdir. 2009 yılında Brezilya'da gerçekleşen International Astronomical Union - Uluslararası Astronomi Birliği (IAU) Genel Kurulunda ise kirlenmemiş gökyüzünün tüm insanlık için önemi vurgulanmış ve her ülkenin uygun alanlarda nitelikli astronomi gözlem noktalarını korumaları istenmiştir (Aslan, 2019). Hem bir Birleşmiş Milletler ülkesi hem de Uluslararası Astronomi Birliği (IAU) üyesi olarak Türkiye'nin dış aydınlatma politikalarıyla ilgili uygulamalar yapması gerekmektedir (Aslan, 2019). 2005 yılında küresel olarak tüketilen enerjinin %8'i dış mekân aydınlatması için harcanmıştır (Atış ve Ekren, 2016). Doğru planlanmamış dış mekân aydınlatması gereksiz enerji tüketimine, ışık kirliliğine ve CO<sup>2</sup> emisyonuna neden olmaktadır (Küçük ve Ekren, 2021). Özellikle kış mevsiminde gece süresinin daha uzun olmasından dolayı ışık kirliliğinden daha fazla etkilenilmektedir (Bashiri ve Hassan, 2014). Aydınlatma birimlerinin konumu, sayısı ve ayarlarının yanlış yapılması gökyüzü parlamasını artırarak astronomik gözlemlerin yapılamamasına ve gece gökyüzünde değişikliklere yol açmaktadır (Pun ve So, 2011). Atış ve Ekren (2016)'e göre enerji tüketiminde tasarruf sağlamak ve karbondioksit emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunmak için gün ışığından daha fazla yararlanılması, iç ve dış aydınlatmada amaca uygun aydınlatma elemanlarının ve daha az enerji tüketen lambaların seçilmesi, aydınlatma sistemlerinde kontrol ve izleme sistemlerinin kullanılması gerekmektedir. Gerekli önlemler ve uygulamalar ile Türkiye'de yıllık 300 milyon liranın üstünde elektrik enerjisi tasarrufu sağlanabilecektir (Aslan, 2019).

Daha iyi görebilmek, güvende hissetmek, uzun süre aktif kalmak, yol ve kavşaklarda görünürlüğü artırmak ve tarihi yapılar vb. alanlarda farklı estetik deneyimler elde edebilmek amacıyla aydınlatma elemanları kullanılmaktadır (Boyce, 2013; Czarnecka ve ark., 2021). Yanlış aydınlatma uygulamaları ise insanların beden ve ruh sağlığını etkilediği gibi canlılar ve çevre üzerinde de olumsuz sonuçlar doğurmaktadır (Chepesiuk, 2009, Czarnecka, 2021). Uluslararası Karanlık Gökyüzü Birliği, çalışmalarında ışığın ekosistem ve peyzajın üzerinde buldozer gibi bir yıkım etkisi yarattığına dikkat çekmiştir (Moore, 2020). Amerikan Tabipler Birliği Bilim ve Halk Sağlığı Konseyi ise insan dâhil birçok türün hayatta kalması ve gelişmesi için karanlığa ihtiyacı olduğunu belirtmiştir (IDA, 2020). Işık kirliliğinin insanlar üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmalarda; konsantrasyon azalması, sinirlilik durumunun artması, davranış değişiklikleri ve karamsarlığın artması gibi birçok etkinin ortaya çıktığı görülmektedir (Chepesiuk, 2009). Bu etkilerin yanı sıra Haim ve Portnov (2013) yoğun ışığın, karanlıkta üretilmesi gereken melatonin hormonunu baskılayarak insanların günlük ritimlerinin ve vücut ısı dengesinin bozulmasına neden olduğunu ve hatta bağışıklık sisteminin zayıflayarak vücudun kanser hastalığına yakalanma riskinin arttığına dikkat çekmişlerdir. Yapılan başka bir çalışmada ise yoğun aydınlatma koşullarında gece vardiyasında çalışan kadınların meme riskine yakalanma riskinin %50 oranında arttığını belirlenmiştir (Anisimov, 2006).

Işık kirliliği insanları olduğu kadar hayvan ve bitkilerin yaşam kalitesini de etkilemektedir. Yapay ışık kirliliği, türler içinde doğal iletişim, göç ve üreme davranışını etkilediği, rekabet veya avlanma gibi topluluk etkileşimlerini bozması sebebiyle biyoçeşitlilik için önemli bir tehdittir (Barranco ve Hughes, 2015, Hölker ve diğerleri, 2010). Işık kirliliği nedeniyle hayvanlarda rastlanılan en belirgin değişim yumurtlama döngülerinin bozulmasıdır. Bu değişim de ekosistem döngüsünü doğrudan değiştirebilecek öneme sahiptir (Chepesiuk, 2009). Işık kirliliği deniz canlılarında da dikey göçü yönlendiren ana faktördür. Işık kirliliğinin tüm deniz canlıları açısından zararı belirlenememiş olsa da deniz kaplumbağaları ve deniz kuşları için zararları belgelenmiştir (Barranco ve Hughes, 2015).

Bitkiler ise büyüme hormonlarını karanlıkta üretirler. Işığın etkisiyle gerekli hormon üretimi için yeterli karanlık süreç sağlanamazsa metabolizmalarında ciddi değişiklikler gerçekleşerek renklerini koruyamaz ve çiçek açamazlar. Bu sürecin sonunda da bitki yaşamını sürdüremez (Raven ve Cockell, 2006, Chepesiuk, 2009). Tüm canlılar ve çevre üzerinde hayati etkileri olan, ekolojik ve ekonomik boyutta ciddi kayıplara neden olan yapay ışık kaynaklarının kontrolünün sağlanması gerekmekte, ilgili gözlem, denetim ve gelişen teknolojiler ışığında gerçekleştirilecek çalışmalarla alternatif uygulamalara yer verilmelidir.

Bu gelişmelerin ışığında 20. yüzyılın sonlarından bu yana ışık kirliliği sorununa ilişkin farkındalık artmış ve insanlar ışık kirliliğinin doğrudan ölçülmesi ve modellenmesi çalışmalarını üstlenmiştir (Czarnecka ve ark., 2021). Dünya nüfusunun üçte ikisi, yapay ışık kirliliğinin en yaygın olduğu kıyı bölgelerinde yaşamaktadır (Barranco ve Hughes, 2015; Elvidge ve diğerleri, 1997; Cinzano ve diğerleri, 2001). İlerleyen yıllarda demografik yayılmanın kıyı paralelinde gelişeceği öngörülmektedir (Depledge ve diğerleri, 2010). Bu nedenle Hatay'ın İskenderun ilçesi çalışma alanı olarak seçilmiş ve

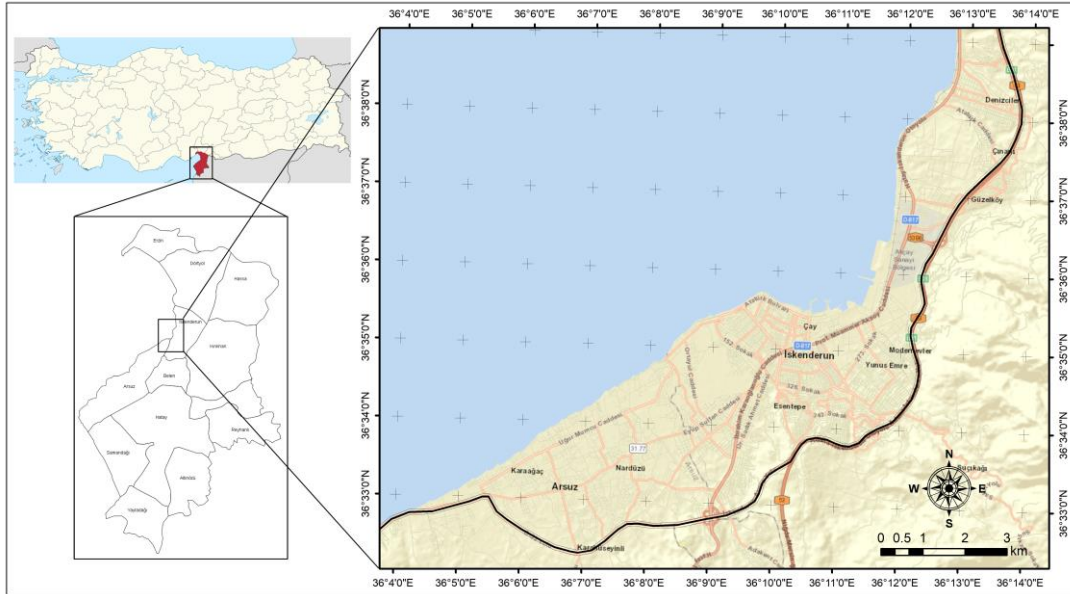


İskenderun ilçe merkezi ve yakın çevresinde ışık kirliliği analizi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, aydınlatmalardan kaynaklanan ışık kirliliğini tespit ederek, yanlış aydınlatma elemanlarının kullanımını önlemek ve bu sayede kentsel yaşam kalitesinin artışına katkıda bulunmaktır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Hatay ilinin en gelişmiş kıyı yerleşimi olan İskenderun ilçesi ve yakın çevresini kapsamaktadır. İskenderun, Türkiye'nin güneydoğusunda yer alan Hatay ilinin 15 ilçesinden biridir. İlçe doğusunda Amanos Dağları, batısında ise Akdeniz'in sınırladığı bir kıyı yerleşimidir. Hatay ilinin %4,5'ini kaplayan ilçe yüzölçümü 247 km<sup>2</sup>'dir (Harita Genel Komutanlığı, 2014). Hatay ili toplam nüfusunun %16'sının yaşadığı ilçenin, 2020 yılı Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS)'ne göre nüfusu 250 964'tür (TÜİK, 2020). Şekil 1'de verilmiş olan çalışma alanı, İskenderun kent merkezi ve yakın çevresindeki otoyol ve deniz kıyı hattı arasında kalan bölgede 36°4' -36°14' kuzey enlemleri ile 36°39'-36°32' doğu boylamları arasında yer almaktadır.








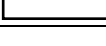


Şekil 1. Çalışma alanının konumu

### 2.2. Materyal

İskenderun ilçesinde gerçekleştirilen ışık kirliliği ölçümleri için SQM-LU cihazı kullanılmıştır. SQM-LU cihazı, gökyüzü parlaklığının ölçülmesi için kullanılan en yaygın cihazdır. SQM-LU cihazı ile bilgisayar bağlantısı sağlanarak ölçüm yapılan alanda Küresel Konumlandırma Sistemi - Global Positioning System (GPS) verileri geniş alanların haritasını çıkarmak için kullanılabilir (Miguel ve ark., 2017). Gökyüzü karanlığını tanımlamak için Bortle Karanlık Gökyüzü Ölçeği kullanılmıştır. Bu ölçek, farklı gök cisimlerinin gözlemlenme düzeyini temel almakta ve gökyüzünü karanlığının kalitesini nitel bir perspektifte tanımlamaktadır. Tablo 1'de gökyüzü karanlık dereceleri verilmiştir.

**Tablo 1.** Karanlık gökyüzünün Bortle ölçeği ve parlaklık değerleri (Ledesma ve ark., 2019)

Tanım	Renk	Bortle Ölçeği	Gökyüzü parlaklığı
Mükemmel gökyüzü		1	>21.90
Tipik karanlık gökyüzü		2	21.90-21.50
Kırsal gökyüzü		3	21.50-21.30
Kırsal/banliyö geçişi		4	21.30-20.80
Banliyö		4.5	20.80-20.10
Parlak banliyö		5	21.10-19.10
Banliyö/şehir geçişi		6,7	19.10-18.00
Şehir		8,9	<18.00

Tablo 1’de belirtilen birinci sınıf mükemmel gökyüzü görünürlüğünü, dokuzuncu sınıf ise kentsel alan kullanımlarının yoğunluğuna bağlı olarak tamamen yok olmuş gökyüzünü ifade etmektedir. SQM cihazıyla elde edilen sayısal gökyüzü parlaklık değerleri ise kadir/açısıaniye<sup>2</sup> birimindedir (Ledesma ve ark., 2019). Belirtilen değerlerin hassasiyetini ifade etmek için, SQM değerindeki 5 kadir/açısıaniye<sup>2</sup> azalmanın, gökyüzü parlaklığının algılanma düzeyini 100 kat arttırdığı söylenebilir (Nilüfer Belediyesi vd., 2017).

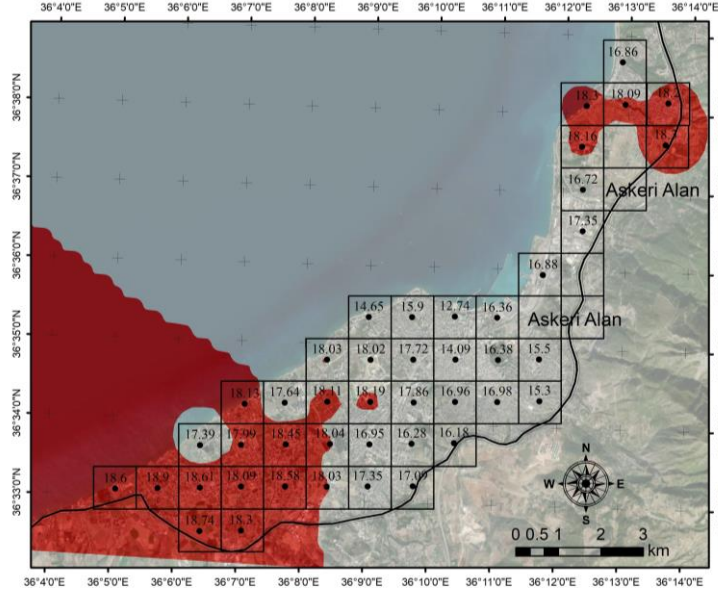
### 2.3. Metot

Çalışma kapsamındaki ölçümler gerçekleştirilirken, Nilüfer Belediyesi vd. (2017)’nin kullandığı yöntem dikkate alınarak, ArcMap ortamında çalışma alanı 1x1 km’lik gridlere bölünmüş ve bu gridlerin orta noktalarındaki koordinatlara göre GPS yardımıyla ilgili ölçümler gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı içerisinde askeri alanlar bulunduğu için belirlenen gridlerden 5 tanesinde ölçüm yapılamamış, ölçüm alınabilen 44 noktada alınan sonuçlar kullanılmıştır. SQM-LU cihazıyla elde edilen ölçümlerin haritalanması için temel alınan ölçütler Tablo 1’de yer alan parlaklık değerlerine göre sınıflandırılmıştır. Elde edilen ölçümler ArcMap ortamında oluşturulan grid merkez noktalarının öznitelik tablosuna eklenmiştir. Ölçüm değerlerine göre yakındaki noktaların uzaktaki noktalarda daha fazla ağırlığa sahip olması esasına dayandırılan Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yöntemi (Inverse Distance Weighted – IDW) kullanılarak noktalar arasındaki ışık dağılımı haritası oluşturulmuştur.

### 3. Bulgular

Çalışma alanına ait ışık kirliliğinin tespitinde kullanılan SQM cihazı ile gerçekleştirilen ölçümlerin doğru sonuç vermesi için saha çalışmasının aysız gökyüzü dönemlerinde yapılması gerekmektedir. Bu nedenle saha çalışması için aysız gökyüzü dönemi olan 25 Kasım-04 Aralık 2021 tarihleri seçilmiştir (Anonim, 2021). 1x1 km’lik gridlerin merkezlerinde üçer kez alınan ölçüm sonuçlarının ağırlıklı ortalaması hesaplanmış ve bu sonuçlara göre ArcMap programında öznitelik verileri oluşturulmuştur.

Bu veriler IDW yöntemi kullanılarak Tablo 1’de verilen Bortle ölçeğine göre değerlendirilmiş ve çalışma alanına ait ışık kirliliği haritası ortaya çıkmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanına ait SQM-LU ölçüm sonuçları ve ışık kirliliği dağılımı

Alınan ölçümler sonucunda oluşturulan Şekil 2’deki haritaya göre çalışma alanının %30,02’lik bölümü Bortle ölçeğine göre altıncı ve yedinci sınıf alanlar, % 69,98’lik bölümü ise sekizinci ve dokuzuncu sınıf alanlar olarak belirlenmiştir. Çalışma alanındaki ışık kirliliğinin en yoğun olduğu bölge, 12,74 kadir/açısanıye<sup>2</sup>’lik ölçümün yapıldığı İskenderun limanı yakın çevresi ile çocuk oyun alanı, lunapark ve halka açık spor tesislerinin bulunduğu alan olarak belirlenmiştir. Karanlık düzeyi en fazla olan bölgelerin ise çalışma alanının güneybatısında yer alan Arsuz yolu ve çalışma alanının kuzey doğu kesimlerinde yer alan askeri alan çevresinde olduğu görülmektedir. Arsuz yolu üzerinde 18,74 kadir/açısanıye<sup>2</sup>’lik ölçüm noktasının kent merkezinde bulunan konut yoğunluğundan nispeten uzak olan tarım arazisi üzerinde olduğu görülmüştür. Askeri alan çevresindeki 18,3 kadir/açısanıye<sup>2</sup>’lik ölçüm ise askeri güvenlik nedeni ile ışıklandırmanın az miktarda kullanıldığı kıyının doğu bölgelerinde saptanmıştır.

Çalışma alanına ait ölçümlerde ışık kirliliğinin tespit edildiği alanlara ait görseller Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5’te verilmiştir. Şekil 3’te İskenderun sahil şeridinin özellikle yaz aylarında sıkça kullanıldığı alanlardır. Bu ölçüm değerlerinin çok yüksek çıkmasının temel nedeni, ihtiyaç duyulan aydınlatma düzeyinin üzerinde ışık kullanımındır. Bu bölge ölçüm ortalaması 14,65 kadir/açısanıye<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.



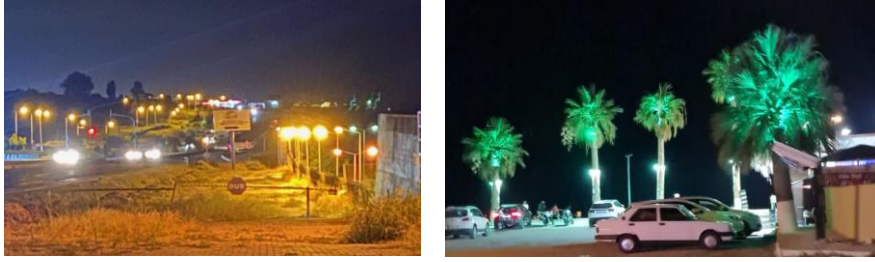
**Şekil 3.** İskenderun sahil şeridinde aydınlatma elemanlarının kullanımı

İskenderun sahil şeridi yılın her döneminde kullanılmamasının yanında özellikle yaz aylarında neredeyse 24 saat aktif haldedir. Sahil şeridinden doğuya doğru ilerledikçe yerleşim ve ticaret bölgelerinin yoğunlaştığı görülür. Bu alanlar da yine yaz aylarında daha hareketli olsa da yılın her döneminde hareketliliğin devam ettiği alanlardır. Bu alanlara ait görseller ise Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 3'te olduğu gibi bu alanlarda da ihtiyaç fazlası ışık miktarı dikkat çekmektedir. Aydınlatma elemanlarından kaynaklanan ışık dağılımının da yine amacı dışında alanları aydınlattığı hatta fazla ışığın yansıdığı görülmektedir. Bu bölge ölçüm ortalaması 15,9 kadir/açı saniye<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.** İskenderun sahil şeridine yakın yerleşim bölgelerinde aydınlatma elemanlarının kullanımı

İskenderun yerleşiminin kuzeyinde ve güneydoğusunda yer alan kıyı bölgesinden alınan görseller ise Şekil 5'te görülmektedir. Özellikle İskenderun'un kuzeyinde bulunan askeri bölgenin kıyı şeridinde herhangi bir kullanım olmamasına rağmen tercih edilen aydınlatma elemanlarının yoğunluğu, Şekil 5'te de görüldüğü gibi ciddi bir ışık kirliliği oluşturmaktadır. Bu alana ait ölçüm sonucu 16,88 kadir/açı saniye<sup>2</sup> olarak görülmektedir. İskenderun kıyı şeridinin güneydoğusunda bulunan alanda ise daha çok estetik amaçlı yapılan aydınlatmalarda ölçüm sonucu 18,03 kadir/açı saniye<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 5.** İskenderun sahil şeridinin kuzey ve güneybatı yönünde bulunan aydınlatma elemanlarının kullanımı

Karanlık alanların oluşturulması, ışık kaynaklarının kontrolü ve alan kullanımlarına uygun tercihlerin planlamasıyla kontrol altına alınabilmektedir. Bu kontrol, aydınlatma elemanlarının doğru tercihiyle sağlanabilmektedir. Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5'te incelenen çalışma alanındaki aydınlatma birimlerine ait yapılan incelemeler sonucunda alanda kullanılan armatür tasarımları ve mevcut tasarımların yer değiştirebileceği öneri tasarımlar Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'da önerilen değişimler, ışığın belirlenen alanda, yeteri miktarda ve ihtiyaç duyulan zaman aralıklarında aktif olmasını sağlamaktadır.

Alana ait görseller	Kullanılan armatürler	Öneri armatürler	Alana ait görseller	Kullanılan armatürler	Öneri armatürler

**Şekil 6.** Çalışma alanına ait aydınlatma örnekleri ve önerileri

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Işığın yanlış yerde, yanlış yönde, yanlış miktarda ve yanlış zamanda kullanımı sonucunda ortaya çıkan ışık kirliliği kontrol edilebilmektedir (Aslan, 2019). Aydınlatmanın sınırlandırılması sadece karanlık gökyüzüne sahip olmak için değil başta insan sağlığı olmak üzere, kişisel güvenliğin, doğal ve vahşi yaşamın, kırsal manzaraların ve kültürel miras öğelerinin bütünlüğünün ve özgünlüğünün korunması ile sürdürülebilirliğinin ve enerji verimliliğinin sağlanması ve astronomi çalışmalarına olanak tanınması açısından da oldukça önemlidir (Welch ve Dick, 2012). Bu nedenle yeterli miktarda karanlığa sahip



olmak için yeryüzündeki aydınlatma seçeneklerini doğru kullanmak gerekmektedir. Falchi ve ark. (2016) yapay ışık kaynaklarının insan yaşamını ciddi oranda etkilediğini, Mitchell ve Gallaway (2019) ise Avrupa'nın tamamına yakınının ışık kirliliğiyle mücadele ettiğini belirtmişlerdir. İlerleyen yıllarda İskenderun ilçesi gibi, kıyı bölgelerinde nüfus artışlarının yaşanacağı öngörülerine (Depledge ve ark., 2010) paralel olarak, Chepesiuk (2009)'un da belirttiği gibi özellikle bu bölgelerde yerel yönetimlerin tercihleri doğrultusunda yanlış aydınlatma tercihleri kullanımı sonucunda ortaya çıkan ışık kirliliği engellenmelidir. Işık kaynaklarının kullanımının gece aydınlatma ihtiyacının daha çok olduğu kış aylarında artması beklenirken (Bashiri ve Hassan, 2014), İskenderun'un iklimsel özellikleri ve bir kıyı yerleşimi olmasından dolayı, kış veya yaz farkı olmaksızın kıyının aktif kullanımı geceleri yoğun bir ışık kirliliğine neden olmaktadır. Işık kirliliğinin önüne geçmek için doğru aydınlatma elemanlarının kullanımı basit ama en etkili yöntemlerden biridir. Bu kapsamda aydınlatılacak alanla ilgili öncelikler ve ihtiyaç duyulan ışık miktarı belirlenmelidir. Aydınlatılacak olan alanın sınırları ve ihtiyaç duyulan ışık miktarı ve süresi ise doğru şekilde planlanmalı ve planlamaya uygun armatür seçimleriyle uygulamaya geçilmelidir. Belirli önlemler çerçevesinde gerçekleştirilecek aydınlatma planlarıyla yerleşim bölgelerinde ışık kirliliği düzeyinin azaltılacağı düşüncesi tek başına yeterli olmayacaktır. Uluslararası Karanlık Gökyüzü Birliği - International Dark-Sky Association (IDA) ışık kirliliğinin zararlı etkilerini en aza indirmek için aydınlatma birimlerinin sadece gerektiğinde açık olan, ihtiyaç duyulan alanı aydınlatan ve gerekenden daha parlak olmayan şekilde seçilmesi gerektiğini belirtir. Bu aydınlatma birimlerinde ışık yönünün tamamen aşağıya dönük tasarlanması ve mavi ışık emisyonlarının minimum düzeye indirilmesi gerekmektedir (IDA, 2021).

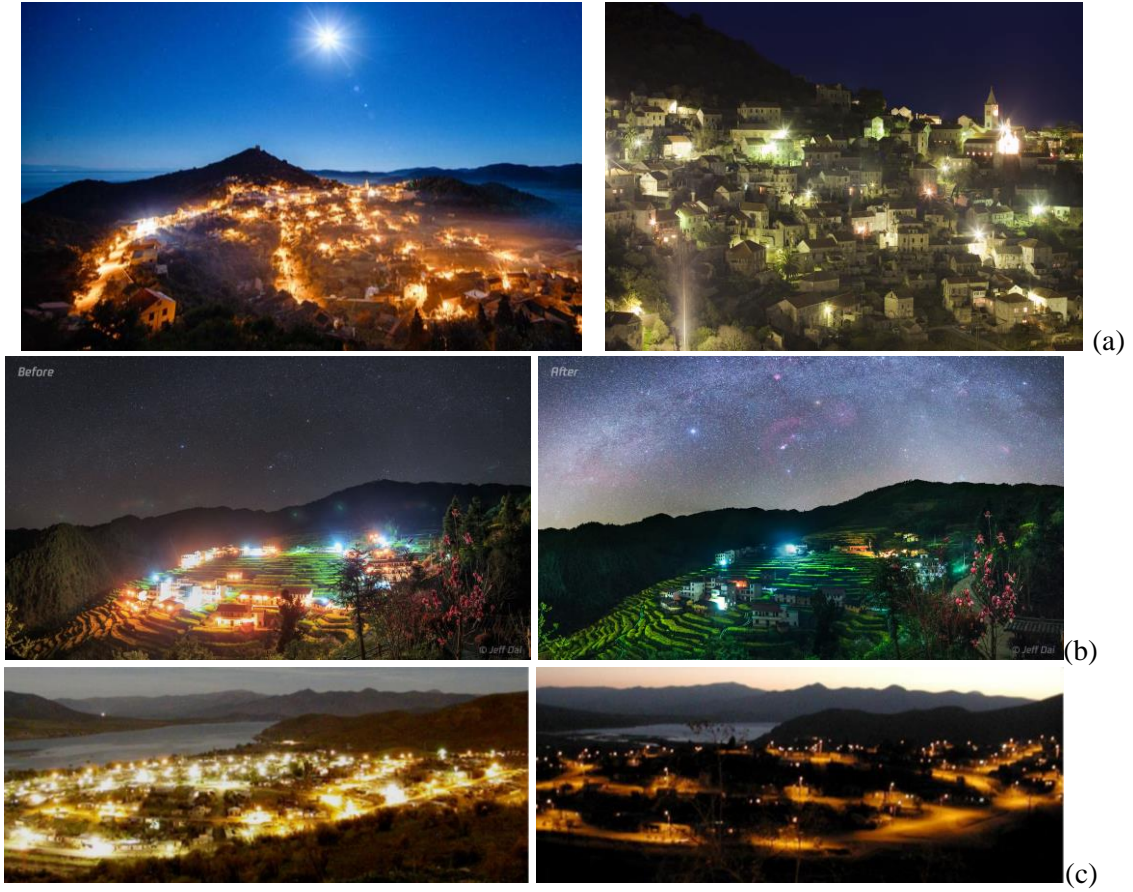
Işık kaynaklarının doğru kullanımını yönlendirmek amacıyla öncelikle yanlış kullanım alanlarını belirlemek ve ışık kirlilik alanlarını saptamak gerekmektedir. Bu kapsamda araştırma alanımız olan İskenderun kıyı şeridinde saptanan çalışma alanında ait bulgular şu şekilde özetlenebilir:

-İskenderun ilçesi otoyol ve deniz kıyı hattı arasında kalan çalışma alanında yapılan farklı 44 ölçüm noktasında üçer kez alınan ölçüm sonuçlarının ortalamasına göre en aydınlık alan, 12,74 kadir/açısanıye<sup>2</sup> ile İskenderun limanı çevresinde bulunan çocuk oyun alanı, lunapark ve halka açık spor tesisinin bulunduğu bölge, en karanlık alan ise 18,74 kadir/açısanıye<sup>2</sup> ile konut yerleşimlerinden nispeten uzak, tarım arazileri üzerinde kalan kır-kent arasındaki kullanım alanlarıdır.

- Alınan ölçüm sonuçlarına göre çalışma alanının %69,98'i, Bortle ölçeğine göre şehir aydınlığı sınıfına girerken, %30,02'si banliyö/şehir geçişi sınıfında yer almaktadır.

- Bulgular bölümünde verilen Şekil 3, 4 ve 5'teki görsellerde de mevcut aydınlatma birimlerinin kullanım yoğunluğu ve tasarımlarından kaynaklı ışığı dağılmasına sağladıkları katkılar da dikkate alınarak, Şekil 6'da mevcut aydınlatma birimleri yerine kullanılacak tasarımlar örneklendirilmiştir. Yapılması öneriler çerçevesinde gerçekleştirilebilecek değişimler oldukça etkili olabilmektedir. Bu kapsamda yerleşim alanlarında aydınlatma elemanları ve ışık kaynaklarının değişimi ile gerçekleştirilmiş çeşitli uygulama örnekleri bulunmaktadır. Lastovo Adası (Adriyatik denizi), Kaihua (Çin Halk Cumhuriyeti) ve Monte Patria (Şili) yerleşimlerinde gerçekleşen bu uygulama örnekleri,

aydınlatma elemanlarının planlama sürecinin öncesi ve sonrasında elde edilen görseller Şekil 7’de verilmiştir.



**Şekil 7.** Lastovo Adası (Adriyatik denizi) (a), Kaihua (Çin Halk Cumhuriyeti) (b) ve Monte Patria (Şili) (c) yerleşimlerinde aydınlatma elemanlarının kontrollü şekilde kullanımı sonucunda oluşan görünüm (Welch ve Dick, 2012, Anonim, 2019, Küçük ve Ekren, 2021)

Şekil 7’de verilen örneklerde, yerleşim alanlarında oluşan ve özellikle dış mekân aydınlatmalarından kaynaklanan ışık kirliliğinin etkili bir şekilde kontrol edilebileceği görülmektedir. Dünya nüfusunun hızlı artışı sonucunda artan yerleşim talebi karşısında mekânsal alanların aydınlatılması kamusal bir hizmet olarak sağlanmaktadır. Bu hizmetin çevreye ve canlılara zarar vermeden kontrollü şekilde uygulanması amacıyla, gerçekleştirilen örnekler dikkate alınmalı ve doğru aydınlatma planlarıyla ışık kirliliği önlenmelidir.

Gerçekleştirilecek çalışmaların temelini toplumun ışık kirliliğine karşı bilinçlendirilmesi oluşturmaktadır. Gelişen teknolojiye uyumlu olarak enerji verimliliğini koruyan akıllı sistemlerin kullanılması yaygınlaştırılmalıdır. Bu sistemlerin oluşturulması ve sürdürülebilir kullanımının sağlanmasında IDA ve Uluslararası Aydınlatma Komisyonu - International Commission on Illumination (CIE) ’nun hazırlamış olduğu aydınlatma ve armatür sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu öneriler doğrultusunda ışık kirliliğinin olumsuz etkileri kontrol altına alınabilecek ve canlıların sağlıklı yaşam koşulları desteklenebilecektir.

## **Teşekkür**

Çalışmamız süresince verdiği destekler için Fen ve Teknoloji Öğretmeni Sayın Ayşe FİZAN SASA'ya çok teşekkür ederiz.

## **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

## **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamıştır.

## **Kaynakça**

- Anisimov VN. Light pollution, reproductive function and cancer risk. *Neuro Endocrinology Letters* 2006; 27(1-2): 35-52.
- Anonim. Cielos Oscuros: Enciendan la Noche 2019. <https://astro.org.sv/imagendeldia/mayo-16-2019-cielos-oscuros-enciendan-la-noche-mayo-16-2019-cielos-oscuros-enciendan-la-noche/> (Erişim tarihi: 17.09.2020)
- Anonim. EXPO'21 Hatay 2021. <https://expo2021hatay.com/hatay/kultur/toplum/> (Erişim tarihi: 22.10.2021)
- Aslan Z. Işık kirliliği: Öğretmenlerimizle Türkiye'de yaptığımız çalışmalar. *Anadolu Öğretmen Dergisi* 2019; 3(2): 246-257.
- Atış S., Ekren N. Development of an outdoor lighting control system using expert system. *Energy and Buildings* 2016; 130: 773-786.
- Barranco CN., Hughes L. E. Effects of light pollution on the emergent fauna of shallow marine ecosystems: Amphipods as a case study. *Marine Pollution Bulletin* 2015; 94: 235-240
- Boyce PR. Human factors in lighting. 3rd ed. London: Taylor & Francis; 2014.
- Bashiri F., Hassan CRC. Light pollution and its effect on the environment. *International Journal of Fundamental Physical Sciences* 2014; 4(1): 8-12.
- Chepesiuk R. Missing the dark: effects of light pollution. *Environmental Health Perspective* 2009; 117(1): 20-27.
- Czarnecka K., Błazejczyk K., Morita T. Characteristics of light pollution-A case study of Warsaw (Poland) and Fukuoka (Japan). *Environmental Pollution* 2021; 291(2021): 1-8.
- Depledge MH., Godard-Codding, CAJ., Bowen RE. Light pollution in the sea. *Marine Pollution Bulletin* 2010; 60(9): 1383-1385.
- Falchi F., Cinzano P., Duriscoe D., Kyba CCM., Elvidge CD., Baugh K., Boris PA., Rybnikova NA., Furgoni R. The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances* 2016; 2016(2): 1-25.



- Harita Genel Komutanlığı. İl ve ilçe yüz ölçümleri 2016. [https://web.archive.org/web/20160304141226/http://www.hgk.msb.gov.tr/images/urun/il\\_ilce\\_alanlari.pdf](https://web.archive.org/web/20160304141226/http://www.hgk.msb.gov.tr/images/urun/il_ilce_alanlari.pdf) (Erişim tarihi: 10.09.2021).
- Hölker F., Wolter C., Perkin EK., Tockner K. Light pollution as a biodiversity threat. *Trends in Ecology & Evolution* 2010; 25(12): 681–682.
- IDA. Light pollution affects us all, 2020. <https://www.darksky.org/> (Erişim tarihi: 03.07.2020)
- IDA. Outdoor Lighting Basics 2021. <https://www.darksky.org/our-work/lighting/lighting-for-citizens/lighting-basics/> (Erişim tarihi:13.12.2021)
- Küçük ZK., Ekren Z. Light pollution and smart outdoor lighting. *Balkan Journal Of Electrical & Computer Engineering* 2021; 9(2): 191-200.
- Ledesma MM., Sanhueza P., Falchi F. Spectral and zonal restriction justification - review process of DS043/2012 MMA (Ministry of Environment). Erişim tarihi: 28.06.2021. [https://www.researchgate.net/publication/337547281\\_Spectral\\_and\\_Zonal\\_Restriction\\_Justification\\_-\\_Review\\_Process\\_of\\_DS0432012\\_MMA\\_Ministry\\_of\\_Environment](https://www.researchgate.net/publication/337547281_Spectral_and_Zonal_Restriction_Justification_-_Review_Process_of_DS0432012_MMA_Ministry_of_Environment)
- Lyttimäki J. Towards eco-efficient and enjoyable lighting. Brief for GSDR 2015. [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5520Light%20pollution\\_rev.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5520Light%20pollution_rev.pdf)
- Miguel AS., Aub'e M., Zamorano J., Kocifaj M., Roby J., Tapia C. Sky quality meter measurements in a colour changing world. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society(MNRAS)* 2017; 467: 2966-2979.
- Mitchell DM., Gallaway T. Dark sky tourism: economic impacts on the Colorado Plateau Economy, USA. *Tourism Review* 2019; 74(4): 930-942.
- Moore C. Işık kirliliğinin yaban hayatı ve ekosistemler üzerindeki etkileri 2020. Erişim tarihi:05.08.2020, <https://www.darksky.org/light-pollution/wildlife/>
- Nilüfer Belediyesi, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası (EMO), Bursa Amatör Astronomi Kulübü (BAAK),isikkirliligi.org. Nilüfer İlçesi Işık Kirliliği Araştırma Projesi Sonuç Raporu, 2017.
- Pun CSJ., So, C. Night-sky brightness monitoring in Hong Kong: a city-wide light pollution assessment. *Environmental Monitoring Assessment*, 2011; 184(4): 2537-2557.
- Squires WA., Hanson HE. The destruction of birds at the lighthouses on the coast of California. *The Condor* 1918; 20(1): 6-10.
- TÜİK. Türkiye İstatistik Kurumu. Nüfus ve demografi. İlçe nüfusu. <https://biruni.tuik.gov.tr/nufusapp/idari.zul>, 2020, (24.10.2021).
- Van Bommel W. Road lighting: fundamentals, technology and application.1st ed. Switzerland: Springer International Publishing; 2015.
- Viola AU., James LM., Sclangen LJ., Dijk DJ. Blue-enriched White light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality. *Scand J Work Environ Health* 2008; 34(4): 297-306.

Welch D., Dick R. Problems and solutions related to white led lighting, Dark-sky parks 2012. J. Anderson (Ed.), 22-25, Cansel Mdc, Canada.



## Impact of Covid-19 Outbreak on Turkey Electricity Generation

Burhan BARAN<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Inonu University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Malatya, Türkiye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-6394-412X>

\*Corresponding author: burhanbaran@gmail.com

### Research Article

### ABSTRACT

#### Article History:

Received: 29.09.2022

Accepted: 13.02.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Covid-19

Electrical generation

Forecasting

Mean absolute percentage error

With this study, it was aimed to analyze the change of electricity generation in Turkey depending on COVID-19 pandemic. For this purpose, analyzes of the changes in nine different electricity generation sectors besides total electricity generation were done. In addition, these analyzes were also carried out on a monthly basis in order to better understand the change in total electricity generation. Trend, naive, exponential smoothing and holt linear trend methods were used for the analysis. The results were obtained by taking into account the 2020 forecast values of the method belonging to the mean absolute percentage error (MAPE) values obtained from these methods. According to these results, it was concluded that the COVID-19 pandemic negatively affected electricity generation from total, dam, lignite, stream, imported coal and wind and did not adversely affect electricity generation from natural gas, wind, solar, geothermal and biomass in Turkey for 2020. From the results of the analysis done for the monthly change in total electricity generation in 2020, it was seen that there was a decrease in the total electricity generation compared to the expected in the months when there were restrictions.

## Covid-19 Salgınının Türkiye Elektrik Üretimine Etkisi

### Araştırma Makalesi

### ÖZ

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 29.09.2022

Kabul tarihi: 13.02.2023

Online yayınlama: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Covid-19

Elektrik üretimi

Tahmin

Ortalama mutlak yüzde hata

Bu çalışma ile COVID-19 salgınına bağlı olarak Türkiye'de elektrik üretim değişiminin analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla toplam elektrik üretiminin yanı sıra dokuz farklı elektrik üretim sektöründeki değişimlerin analizleri yapılmıştır. Ayrıca toplam elektrik üretimindeki değişimi daha iyi anlayabilmek için bu analizler aylık olarak da yapılmıştır. Analizler için trend, naive, üstel düzeltme ve holt doğrusal eğilim yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemlerden elde edilen ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) ve değerlerine ait yöntemin 2020 tahmin değerleri dikkate alınarak sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre 2020 yılında Türkiye'de COVID-19 salgınının toplam, baraj, linyit, akarsu, ithal kömür ve rüzgardan elektrik üretimini olumsuz etkilediği, doğalgaz, rüzgar, güneş, jeotermal ve biyokütleden elektrik üretimini olumsuz etkilemediği sonucuna varılmıştır. 2020 yılında toplam elektrik üretimindeki aylık değişim için yapılan analiz sonuçlarına göre ise kısıtlamaların olduğu aylarda toplam üretimde beklenene göre düşüş olduğu görülmüştür.

**To Cite:** Baran B. Impact of Covid-19 Outbreak on Turkey Electricity Generation. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 2136-2153.

## 1. Introduction

COVID-19 first appeared in Chinese province of Wuhan in December 2019 and was reported to be a pandemic in March 2020. This highly contagious acute respiratory disease can spread between people through small airborne droplets or contaminated surfaces (Wilder-Smith et al., 2020). The epidemic has significantly affected every aspect of life from the moment it first emerged. With the occurrence of the cases, the measures taken in the countries forced people to reorganize their lives. In this process, governments had taken various measures to manage the economic and social effects of the epidemic (Bulut, 2020; Norouzi et al., 2021; Baran 2019). Distance education in schools, flexible working in the public sector, daytime curfews and closure of workplaces were some of these measures. Those who remained outside of the compulsory working areas started to follow their work from their homes. The virus has affected many sectors such as health, education, environment and energy in all countries with cases. Energy is an important part of economic growth in every country. Due to the restrictions experienced on a global scale, electrical energy consumption has shifted from places such as industry, business and educational institutions, especially to homes and hospitals. These changes in demand have made it difficult to manage energy generation and distribution (İcel, 2013; Dincer, 2020; Baran, 2021; Ceylan, 2021). The first case in Turkey was announced on 11 March 2020. There has been a continuous increase in electricity demand due to both the increasing population structure of Turkey and COVID-19. Commercial and industrial electricity usage, on the other hand, experienced sharp declines. This situation also had an impact on electricity generation (Halbrügge et al., 2021).

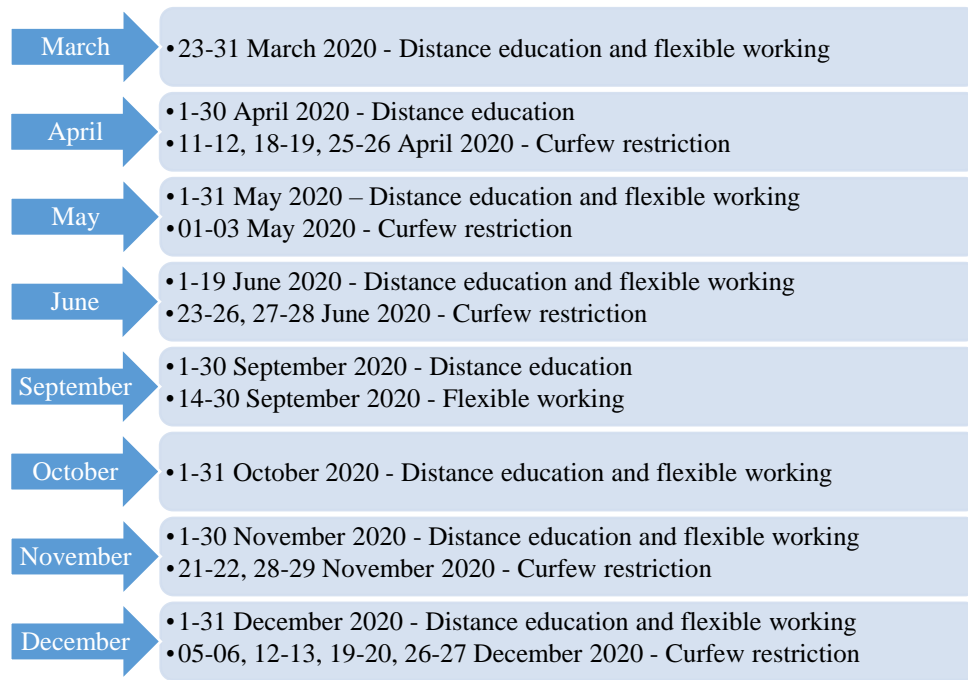
Sahin et al. (2021) examined the effect of the COVID-19 quarantine on electricity generation in European countries. Linear regression, support vector machines and RF algorithms were used to estimate monthly electricity generation. According to the results, electricity generation from non-renewable sources for UK, Spain, Germany and France decreased by 21% -25% compared to the same period of 2019. For Turkey, this decrease had forecasted to be approximately 11%. In the study conducted by Ghenai et al. (2021), they concluded that the electricity generation from coal, natural gas and nuclear power plants in European countries decreased by 35%, 25% and 20% compared to the previous period during the COVID-19 process. They also forecasted that the share of renewable energy increased by up to 9%. In the study, digitalization and decentralization methods were used. Alhajeri et al. (2020) used regression analysis and genetic algorithm to forecast Kuwait's electricity generation during the COVID-19 period. In the study conducted by Ceylan (2021), the effect of COVID-19 on electricity demand in Turkey was examined. Gaussian process regression (GPR), sequential minimal optimization regression (SMOReg), correlated Nyström views (XNV), linear regression (LR), reduced error pruning tree (REPTree), and M5P model tree (M5P) were used. In the study conducted by Bulut (2020), it was determined that the electricity consumption in Turkey decreased in workplaces and increased in residences during the COVID-19 period. In the study conducted by Delgado et al. (2021), the decreases at electricity consumption in Brazil due to the COVID-19 epidemic were calculated as 14%, 15% and 19% by region. Data were analyzed by the

Joinpoint Regression Program. Monte Carlo Permutation method was employed to test the significance. Rayash et al. (2020) determined a 14% decrease in monthly electricity demand for the Canadian province of Ontario. Snow et al. (2020) conducted a study in Australia, which determined that there was an increase in electricity consumption caused by the usage of digital devices such as ovens, stoves, televisions and tablets during the quarantine period. Edomah et al. (2020) examined the impact of electricity consumption on industrial, residential and commercial sectors during the COVID-19 process in Lagos, Nigeria. In the study by Zhong et al. (2020), the changes in the load distribution during the Covid-19 process were examined. Apart from these studies, Elavarasan et al. (2020), Huang et al. (2021), Bahmanyar et al. (2020), Halbrügge et al. (2021), Kanitkar (2020), Cicala (2020) ve Janzen et al. (2020) also conducted studies on the effect of the quarantine period on electricity consumption.

The purpose of this article is to reveal the impact of the restrictions due to COVID-19 on Turkey's electricity generation. Based on this information, analyzes were done on the electricity generation data before and after the epidemic. Total and nine different electricity generation sectors were examined. In order to better understand the changes, the total electricity generation was also examined on a monthly basis. Trend, naive, exponential smoothing and holt linear trend methods were used for the analysis. The main contribution of this study is the analysis of the effect of the quarantine period on electricity generation in Turkey in ten different sectors. After this stage, the study consists of four sections. The materials used in the study are presented in the second section, and the method is presented in the third section. In the fourth section, the findings obtained in the study are given. Finally, in the fifth section, the results of the changes in electricity generation due to the COVID-19 epidemic in Turkey were presented.

## **2. Materials**

The electricity generation data used in this study were taken from the publicly accessible Energy Exchange Istanbul (EXIST) (EXIST, 2021) website. There had been various restrictions since March 2020, when the first case was seen in Turkey. The timeline of these restrictions is as in Figure 1.



**Figure 1.** COVID-19 restrictions timeline in Turkey in 2020

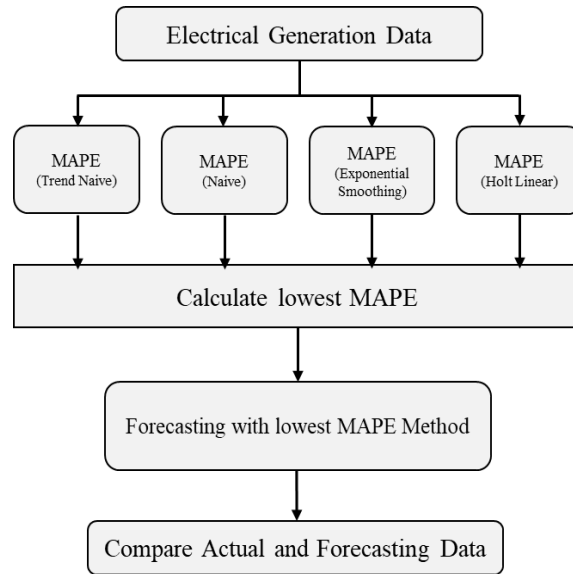
The study was conducted for nine sectors and total generation used in electricity generation in Turkey. These nine sectors had been selected in this study because of their being the largest sectors playing a role in electricity generation in Turkey. Table 1 shows the electricity generation values between these sectors and the years 2014-2020.

**Table 1.** Electricity generation sectors and quantities in Turkey between 2014-2020 (EXIST, 2021)

Year	Total (MWh)	Natural Gas (MWh)	Dam (MWh)	Lignite (MWh)	Stream (MWh)	Imported Coal (MWh)	Wind (MWh)	Solar (MWh)	Geothermal (MWh)	Biomass (MWh)
2014	247842780,6	119169251,6	29250779	36035986	10547347	34877549	8484606	0,0	2102456	974720
2015	258415758,9	98533033,7	47517199	31105021	18876017	40038430	11657918	0,0	3060651	1158767
2016	269290507,2	88345823,8	48734170	37873357	18213324	47611089	15377383	1706,2	4213685	1498091
2017	289855258,3	109200983,1	41157951	39967138	16965265	50898234	17716692	21577,7	5287455	1871676
2018	291170736,3	90085199,9	40885859	44821132	18830892	62149282	19755914	57389,0	6905581	2305553
2019	289815303,1	54883429,2	65624215	46718392	22982596	60403122	21512281	187916,7	8229709	3148797
2020	290227386,4	68072555,1	57320772	37789515	20513348	62466466	24486679	421041,1	9316382	4065611

### 3. Modeling Methodology

To better evaluate modeling performance of trend naïve, naïve, exponential smoothing and holt linear methods, the generation data from EXIST (EXIST, 2021) was used. These methods can achieve successful results in time series forecasting. Figure 2 shows the flowchart of modeling and validation process used in this study.



**Figure 2.** Flowchart of the modeling and validation process

There are many methods developed to evaluate the performance of the forecast models. Two of these methods are RMSE and MAPE. The results were obtained by considering the forecast values of the method giving the lowest RMSE and MAPE values for 2020. The RMSE value was calculated by using equation (1) and the MAPE value was calculated by using equation (2) (Ozkurt et al., 2020).

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (y_a - y_p)^2} \quad (1)$$

$$\text{MAPE} = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^n \frac{|y_a - y_p|}{|y_a|} \quad (2)$$

Where the parameter N is the number of samples, the parameter  $y_a$  is the actual value, and the parameter  $y_p$  is the forecasted value. Trend, naive, exponential smoothing and holt linear trend methods are compared with LSTM because they have high performance in time series analysis forecasts.

### 3.1. Trend Method

It is a kind of linear regression method. It uses historical data on different variables, both dependent and independent, for forecasting. It examines the behavior of the factors behind past trends. It works on the assumption that this pattern of behavior will continue in the same way in the future. Its representation with the formula is as in equation (1) (Forecasting Methods, 2021):

$$Y = a + bX \quad (3)$$

a and b values in equation (3) are calculated by solving equation (4) and equation (5).

$$\sum Y = an + b \sum X \quad (4)$$

$$\sum XY = a \sum X + b \sum X^2 \quad (5)$$

The n value in equation (4) is equal to the total data items in a given series.

### 3.2. Naive Method

In this method, when forecasting the next period, the data in the previous period is used as the forecast data. This situation is represented by the formula in equation (6) (Forecasting Methods, 2021; Naïve Models, 2021):

$$Y'_{t+1} = Y_t \quad (6)$$

$Y'_{t+1}$  represents forecasted and  $Y_t$  represents actual value. The advantage of this method is that it is inexpensive to develop, store and operate, while the disadvantage is that it does not consider possible causal relationships underlying the forecasted variable.

### 3.3. Exponential Smoothing Method

In this method, forecasts are determined by using weighted averages based on past observations. More importance is given to the last data in a given sequence. Also, the weights start to decrease exponentially with past observations. Each new forecast is calculated as in equation (7) (Forecasting Methods, 2021).

$$\text{New forecast} = \text{Past forecast value} + \alpha (\text{Actual demand value} - \text{Past forecast value}) \quad (7)$$

The value of  $\alpha$  is considered a smoothing constant ranging from 0,01 to 0,50 (Exponential Smoothing, 2021; Holt's Linear Trend-1, 2021).

### 3.4. Holt Linear Trend Method

This method is a suitable method that can be used when the growth rate of the time series changes. Equations developed for the model are shown in equation (8-10) (Exponential Smoothing, 2021; Holt's Linear Trend-1, 2021).

$$F_{t+n} = L_t + nT_t \quad (8)$$

$$L_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (9)$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (10)$$

$L_t$  is the level forecast of the series at time t, and  $T_t$  is a forecast of the slope of the time series at time t.  $\alpha$  is a correction parameter for level and takes a value between 0 and 1.  $\beta$  is a correction parameter for



the trend and takes a value between 0 and 1 (Benli et al., 2014). In this method, these processes are not applied for the first period while determining the level and trend values. When the studies in the literature are examined, it has been seen that values such as 0,3, 0,4, 0,5 and 0,2, 0,22 and 0,3 are usually given for the  $\alpha$  and  $\beta$  coefficients. In this study, 0,5 ( $\alpha$ ) and 0,3 ( $\beta$ ) values, which are close to the values in literature, were chosen.

## 4. Result and Discussion

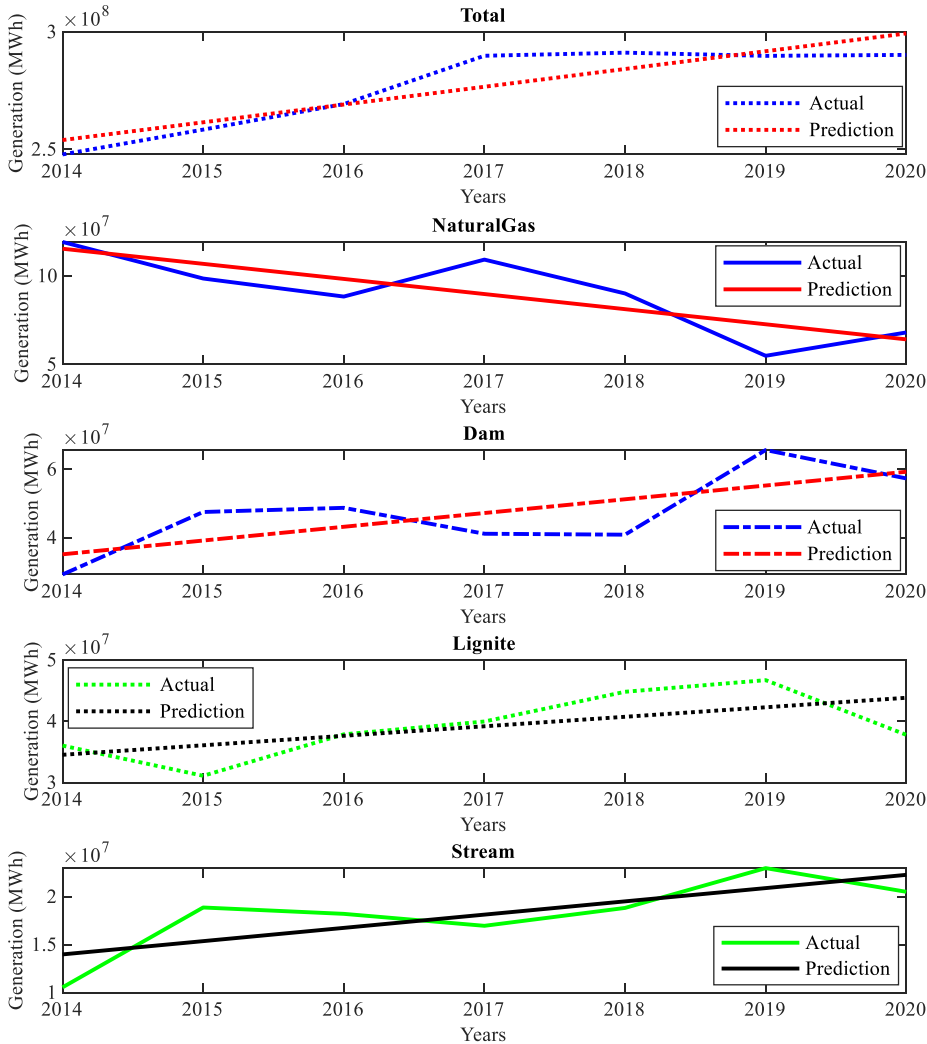
### 4.1. Annual Analysis

In the annual analysis, generation data of 2019 (the year before COVID-19) and year 2020, (when the restrictions began) were taken into account. In addition to the total electricity generation, analyzes were made in nine different electricity generation sectors. The forecasting data of the lowest MAPE (%) value from the trend, naive, exponential smoothing and holt linear trend methods were used. The results that were obtained are shown in Table 2.

**Table 2.** Forecasting methods and obtained values (for ten sectors)

TOTAL GENERATION			IMPORTED COAL		
Model	RMSE	MAPE (%)	Model	MSE	MAPE (%)
Trend	$7,14 \times 10^6$	0,0207	Trend	$2,80 \times 10^6$	0,0393
Naïve	$1,05 \times 10^7$	0,0271	Naïve	$6,17 \times 10^6$	0,0993
Exponential Smoothing	$9,34 \times 10^6$	0,0248	Exponential Smoothing	$3,65 \times 10^6$	0,0579
Holt Linear	$1,35 \times 10^7$	0,0428	Holt Linear	$6,84 \times 10^6$	0,1135
NATURAL GAS			WIND		
Model	RMSE	MAPE (%)	Model	RMSE	MAPE (%)
Trend	$1,18 \times 10^7$	0,1267	Trend	$6,00 \times 10^5$	0,0372
Naïve	$2,14 \times 10^7$	0,2605	Naïve	$2,75 \times 10^6$	0,1587
Exponential Smoothing	$1,71 \times 10^7$	0,1834	Exponential Smoothing	$1,73 \times 10^6$	0,0926
Holt Linear	$1,97 \times 10^7$	0,2262	Holt Linear	$2,95 \times 10^6$	0,1627
DAM			SOLAR		
Model	RMSE	MAPE (%)	Model	RMSE	MAPE (%)
Trend	$7,47 \times 10^6$	0,1548	Trend	$8,06 \times 10^4$	5,4218
Naïve	$1,34 \times 10^7$	0,1870	Naïve	$1,10 \times 10^5$	0,7586
Exponential Smoothing	$1,29 \times 10^7$	0,1794	Exponential Smoothing	$5,00 \times 10^4$	0,4993
Holt Linear	$1,22 \times 10^7$	0,2079	Holt Linear	$1,27 \times 10^5$	0,8196
LIGNITE			GEOTHERMAL		
Model	RMSE	MAPE (%)	Model	RMSE	MAPE (%)
Trend	$1437 \times 10^{10}$	0,0819	Trend	$3,79 \times 10^6$	0,0354
Naïve	$3023 \times 10^{10}$	0,1291	Naïve	$5,50 \times 10^6$	0,2169
Exponential Smoothing	$3659 \times 10^{10}$	0,1219	Exponential Smoothing	$6,05 \times 10^6$	0,1139
Holt Linear	$3543 \times 10^{10}$	0,1455	Holt Linear	$5,95 \times 10^6$	0,2394
STREAM			BIOMASS		
Model	RMSE	MAPE (%)	Model	RMSE	MAPE (%)
Trend	$2,25 \times 10^6$	0,1249	Trend	$2,66 \times 10^5$	0,1219
Naïve	$4,04 \times 10^6$	0,1585	Naïve	$5,81 \times 10^5$	0,2111
Exponential Smoothing	$4,02 \times 10^6$	0,1506	Exponential Smoothing	$3,19 \times 10^5$	0,1046
Holt Linear	$3,93 \times 10^6$	0,1562	Holt Linear	$6,33 \times 10^5$	0,2379

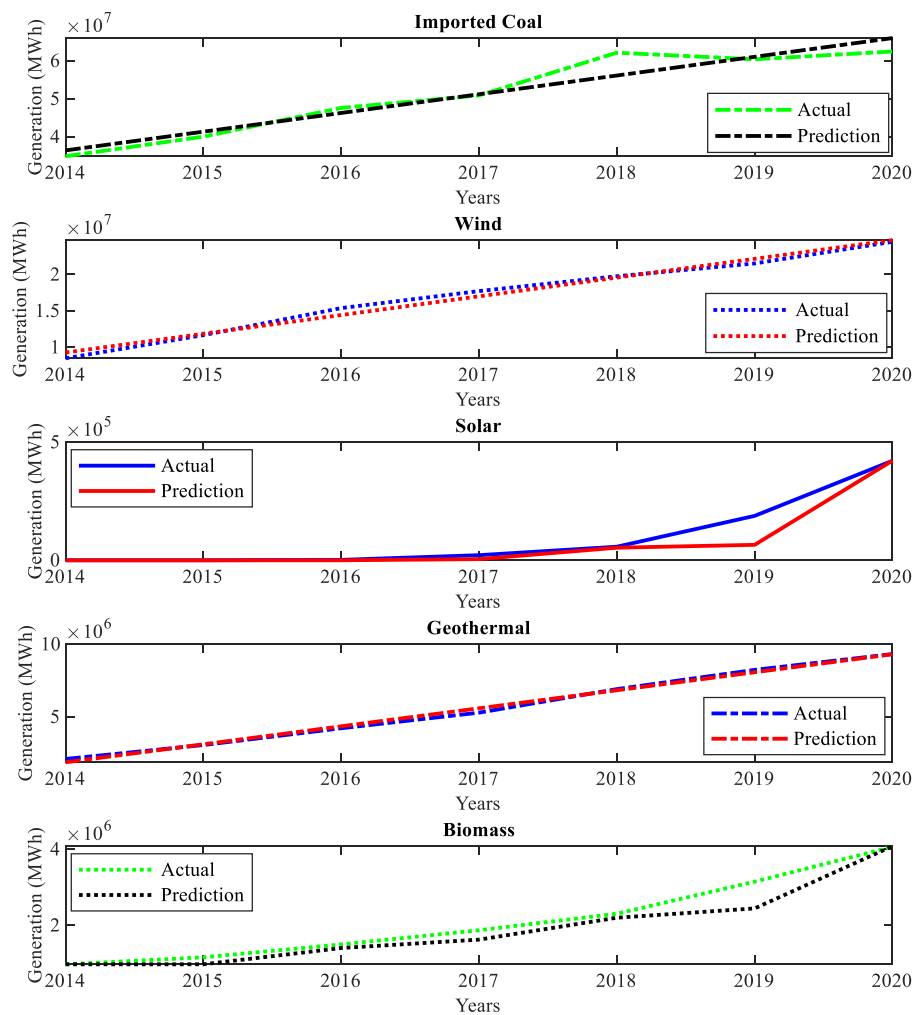
While doing annual forecasting, different MAPE (%) values were obtained for different  $\alpha$  values in the exponential smoothing method. For this reason, excel solver application was used to find the  $\alpha$  value, which gives the low MAPE (%) value. Thus, the  $\alpha$  values giving the minimum MAPE (%) value were calculated as 1,293 for total, 2,827 for imported coal, 2,112 for natural gas, 1,987 for wind, 0,658 for dam, 2,905 for solar, 0,078 for lignite, 2,181 for geothermal, 0,897 for stream and 2,328 for biomass. As can be seen from Table 2, the best estimation in eight of the ten sectors is realized by the trend method. In the remaining two sectors, the exponential smoothing method obtained the best predictive value. The RMSE and MAPE (%) values obtained for each sector by these methods are shown in Table 2. Graphs showing the forecasted electricity generation values and the actual generation values of the method providing the lowest MAPE (%) value for 2020, obtained from Table 2, are obtained as in Figure 3 and Figure 4.



**Figure 3.** Comparison of the generation values obtained by the forecasting methods and the actual generation values (for five sectors-1)

Considering Table 2 and Figure 3, it was examined how the restrictions due to COVID-19 affect electricity generation in Turkey:

Total electricity generation was 289815303,06 MWh in 2019 and was 290227386,39 MWh in 2020 (EXIST, 2021). Total electricity generation increased by 0,14% compared to 2019 generation. The lowest MAPE (%) value for total generation is obtained from the trend method with 0,0207. The forecasted generation for 2020 obtained from this method was 299356083,11 MWh. That is, the actual generation is 9128696.72 MWh (3,05%) less than forecasted. In 2020, natural gas electricity generation increased by 24.03% compared to 2019. The forecasted natural gas electricity generation for 2020 is calculated as 64164690.68 MWh. According to this forecasted value, 6.09% more natural gas electricity is generated. Dam electricity generation decreased by 12.65% in 2020 compared to the previous year. In this study, it was forecasted that there would be 59274674.29 MWh of electricity generation in 2020. Actual generation was found to be 3,30% less than expected. Lignite electricity generation decreased by 19.11% compared to 2019. The forecasted electricity generation for 2020 was 43840981.29 MWh. 13,80% less lignite electricity was generated compared to the actual generation. Stream electricity generation in 2020 decreased by 10,74% compared to 2019. Forecasted stream electricity generation for 2020 was calculated as 22282190,82 MWh. 7,94% less stream electricity was generated than expected.



**Figure 4.** Comparison of the generation values obtained by the forecasting methods and the actual generation values (for five sectors-2)

According to Table 2 and Figure 4, it was examined how the restrictions caused by COVID-19 affect electricity generation in Turkey:

Imported coal electricity generation increased by 3,42% compared to 2019. The forecasted generation for 2020 was calculated as 65995702,57 MWh. Actual imported coal generation was 5,35% less than expected. Compared to 2019, 13,83% more wind electricity was generated in 2020. Wind electricity generation for 2020 was forecasted as 24723082,86 MWh. 0,96% less wind electricity was generated than expected. Solar electricity generation in 2020 has increased by 124,06% compared to 2019. The forecasted solar electricity generation for 2020 was calculated as 421527,47 MWh. Solar electricity generation was 0,17% less than expected. Geothermal electricity generation was increased by 13,2% compared to 2019. Geothermal electricity generation for 2020 was forecasted as 9302823,07 MWh. Geothermal electricity generation was 0,15% more than expected. Compared to 2019, 29,12% more

biomass electricity was generated in 2020. The forecasted biomass electricity generation for 2020 was calculated as 4083157,51 MWh. It can be concluded that 0.48% less biomass electricity generation was realized than the expected generation rate. According to these data, it was concluded that the COVID-19 epidemic experienced in 2020 adversely affected the total, dam, lignite, stream, imported coal, wind electricity generation in Turkey and did not adversely affect electricity generation from natural gas, wind, solar, geothermal and biomass electricity generation.

According to the data obtained from the General Directorate of Meteorology (MGM, 2021), the amount of rainfall in Turkey was measured as 580 mm in 2019 and 500 mm in 2020. This decrease in rainfall is thought to adversely affect the generation of electricity caused by dam and streams. In addition, the increases in the generation of electrical energy from the sun and wind are thought to be due to an increase in investment in renewable energy sources.

#### 4.2. Monthly Total Electricity Generation Analysis

In the monthly analysis, the monthly total electricity generation data of 2019 (no COVID-19 epidemic) and 2020 (the restrictions began) were analyzed. As in the annual analysis, trend, naïve, exponential smoothing and holt linear trend methods were used. The forecasting data of the method with the lowest MAPE (%) value obtained from these methods were used. Accordingly, the results obtained were depicted in Table 3.

**Table 3.** Forecasting methods and obtained values (for twelve months)

JANUARY			FEBRUARY		
Model	RMSE	MAPE (%)	Model	RMSE	MAPE (%)
Trend	$6,00 \times 10^5$	0,0214	Trend	$4,36 \times 10^5$	0,0152
Naïve	$1,11 \times 10^6$	0,0430	Naïve	$1,10 \times 10^6$	0,0424
Exponential Smoothing	$8,77 \times 10^5$	0,0289	Exponential Smoothing	$1,03 \times 10^6$	0,0374
Holt Linear	$1,33 \times 10^6$	0,0496	Holt Linear	$1,12 \times 10^6$	0,0462
MARCH			APRİL		
Model	RMSE	MAPE (%)	Model	RMSE	MAPE (%)
Trend	$5,92 \times 10^5$	0,0219	Trend	$1,31 \times 10^6$	0,0533
Naïve	$8,72 \times 10^5$	0,0309	Naïve	$1,57 \times 10^6$	0,0559
Exponential Smoothing	$7,75 \times 10^5$	0,0226	Exponential Smoothing	$1,43 \times 10^6$	0,0438
Holt Linear	$1,12 \times 10^6$	0,0449	Holt Linear	$1,89 \times 10^6$	0,0680
MAY			JUNE		
Model	RMSE	MAPE (%)	Model	RMSE	MAPE (%)
Trend	$1,43 \times 10^6$	0,0566	Trend	$6,32 \times 10^5$	0,0259
Naïve	$1,82 \times 10^6$	0,0635	Naïve	$9,59 \times 10^5$	0,0290
Exponential Smoothing	$1,82 \times 10^6$	0,0625	Exponential Smoothing	$9,64 \times 10^5$	0,0276
Holt Linear	$2,09 \times 10^6$	0,0715	Holt Linear	$1,06 \times 10^6$	0,0336
JULY			AUGUST		
Model	RMSE	MAPE (%)	Model	RMSE	MAPE (%)
Trend	$1,17 \times 10^6$	0,0379	Trend	$7,00 \times 10^5$	0,0203
Naïve	$1,67 \times 10^6$	0,0410	Naïve	$1,08 \times 10^6$	0,0370
Exponential Smoothing	$1,62 \times 10^6$	0,0364	Exponential Smoothing	$1,12 \times 10^6$	0,0374
Holt Linear	$2,01 \times 10^6$	0,0611	Holt Linear	$1,21 \times 10^6$	0,0387

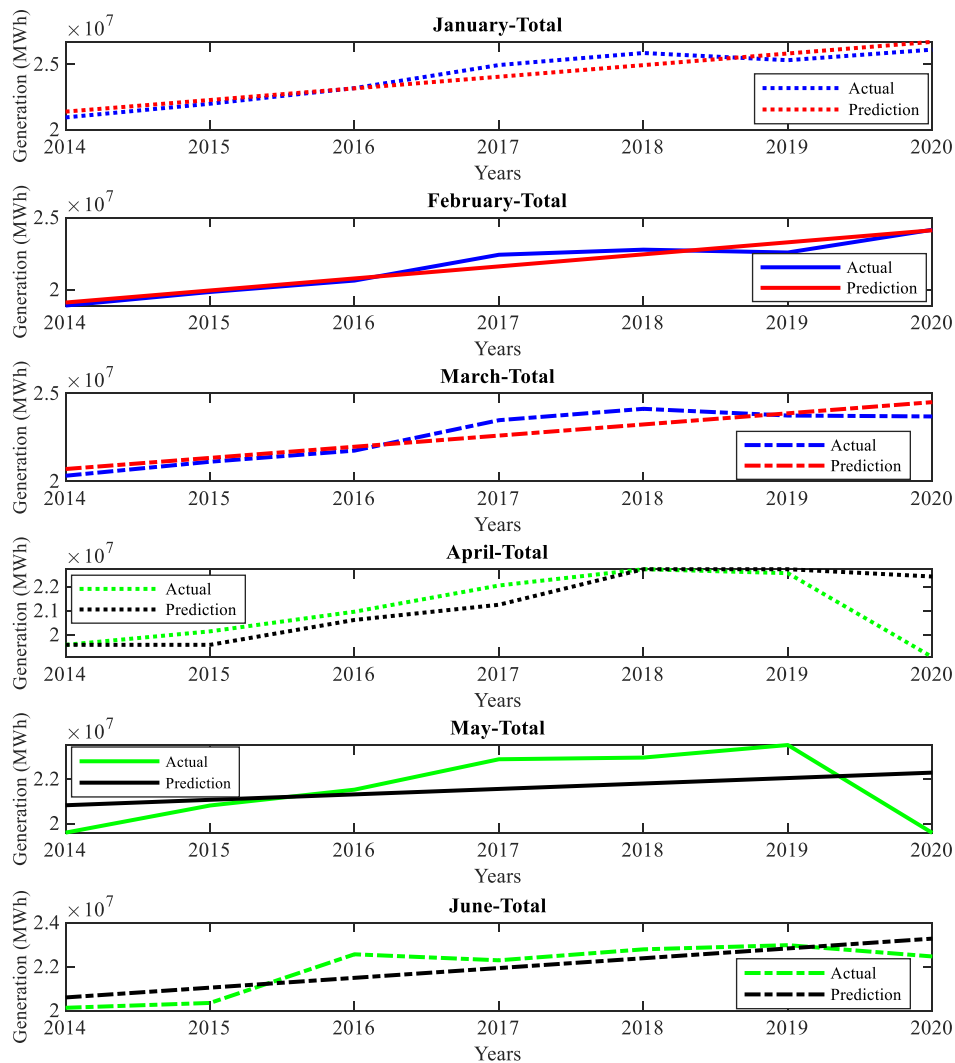
SEPTEMBER			OCTOBER		
Model	RMSE	MAPE (%)	Model	RMSE	MAPE (%)
Trend	$7,14 \times 10^5$	0,0262	Trend	$6,48 \times 10^5$	0,0235
Naïve	$1,48 \times 10^6$	0,0433	Naïve	$1,20 \times 10^6$	0,0473
Exponential Smoothing	$1,50 \times 10^6$	0,0412	Exponential Smoothing	$1,19 \times 10^6$	0,0471
Holt Linear	$1,40 \times 10^6$	0,0441	Holt Linear	$1,29 \times 10^6$	0,0496

NOVEMBER			DECEMBER		
Model	RMSE	MAPE (%)	Model	RMSE	MAPE (%)
Trend	$6,56 \times 10^5$	0,0222	Trend	$6,16 \times 10^5$	0,0212
Naïve	$1,11 \times 10^6$	0,0422	Naïve	$1,03 \times 10^6$	0,0377
Exponential Smoothing	$1,14 \times 10^6$	0,0426	Exponential Smoothing	$9,70 \times 10^5$	0,0346
Holt Linear	$1,20 \times 10^6$	0,0428	Holt Linear	$1,20 \times 10^6$	0,0414

While doing monthly total electricity generating forecasting, different MAPE (%) values were obtained for different  $\alpha$  values in the exponential smoothing method. For this reason, excel solver application was used to find  $\alpha$  value, which provides the low MAPE (%) value. Thus,  $\alpha$  values giving the minimum MAPE (%) value were calculated as 1,958 for January, 1,331 for February, 1,470 for March, 1,846 for April, 1,098 for May, 0,893 for June, 1,129 for July, 0,844 for August, 1,144 for September, 1,077 for October, 0,885 for November and 1,499 for December. As can be seen from Table 3, the best estimation was made by the trend method in ten of the twelve months. In April and July, it was realized with the exponential smoothing method. The RMSE and MAPE (%) values obtained for each sector by these methods are shown in Table 2. As can be seen, the obtained values are generally close to each other.

Graphs showing the forecasted electricity generation values and the actual generation values of the method that provides the lowest MAPE (%) value for 2020 (for twelve months), obtained from Table 3, are obtained as in Figure 5 and Figure 6.

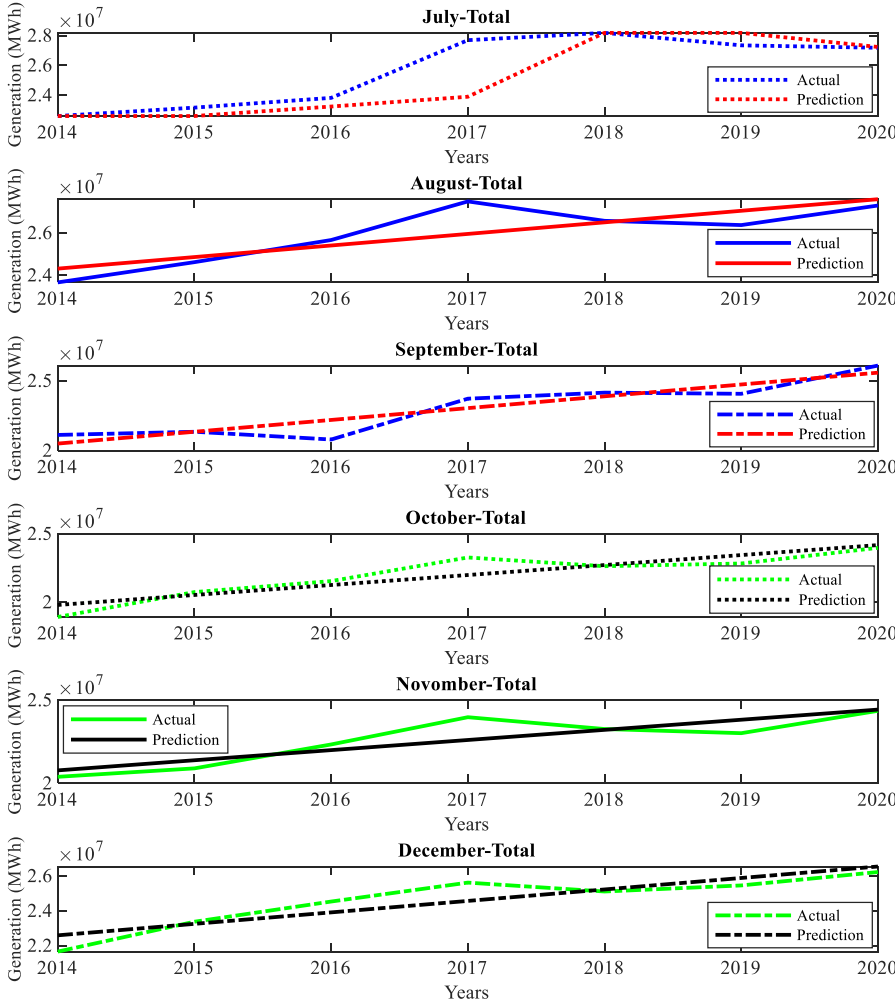


**Figure 5.** Comparison of the monthly generation values obtained by forecasting methods and the actual monthly generation values of 2020 (First six month)

Considering Table 3 and Figure 5, it was examined how the restrictions due to COVID-19 affect electricity generation in Turkey:

While the actual total electricity generation in January 2019 was 25316677,32 MWh, this value was 26124057,09 MWh in 2020 (EXIST, 2021). Compared to the actual generation in January 2019, it increased by 3,19%. In the analyzes done for the forecasted total electricity generation for January 2020, the lowest MAPE (%) value was obtained from the trend method with 0,0214. The forecasted total electricity generation obtained was 26719101,15 MWh. 595044,06 MWh (2,23%) less generation was realized than the expected total generation. Total electricity generation in February 2020 increased by 6,97% compared to the total electricity generation in February 2019. Total electricity generation for February 2020 was forecasted as 24125361,92 MWh. The total electricity generation is 0,14% higher

than expected. Total electricity generation for March 2020 decreased by 0,22% compared to 2019. Total electricity generation for March 2020 was forecasted as 24504174,07 MWh. Total electricity generation is 3,32% less than the expected total generation. Total electricity generation in April 2020 decreased by 15,43% compared to the total electricity generation in April 2019. The forecasted total electricity generation for April 2020 was calculated as 22422179,11 MWh. Total electricity generation was 14,91% less than expected. Total electricity generation in May 2020 decreased by 16,81% compared to the total electricity generation in May 2019. Total electricity generation for April 2020 was forecasted as 22290577,14 MWh. Total electricity generation was 12,17% less than the expected total generation. Total electricity generation in 2020 for June decreased by 2,24% compared to 2019. The forecasted total electricity generation for June 2020 was calculated as 23278997,37 MWh. Total electricity generation was found to be 3,49% less than expected.



**Figure 6.** Comparison of the monthly generation values obtained by forecasting methods and the actual monthly generation values of 2020 (Second six month)



Considering Table 3 and Figure 6, it was examined how the restrictions due to COVID-19 affect electricity generation in Turkey:

Total electricity generation in July 2020 decreased by 0,60% compared to the total electricity generation in July 2019. Total electricity generation for July 2020 was forecasted as 27237400,08 MWh. The total electricity generation was 0,20% less than the expected total generation. Total electricity generation in 2020 for August was increased by 3,50% compared to 2019. The forecasted total electricity generation for August 2020 was calculated as 27593481,13 MWh. Total electricity generation was 1,08% less than the expected total generation. Total electricity generation in September 2020 increased by 8,40% compared to the total electricity generation in September 2019. Total electricity generation for September 2020 was forecasted as 25584109,63 MWh. Total electricity generation was 1,99% less than expected. Total electricity generation in October 2020 increased by 5,00% compared to the total electricity generation in October 2019. Total electricity generation for October 2020 was forecasted as 24175562,06 MWh. Total electricity generation was 0,84% less than the expected total generation. For November, the total electricity generation in 2020 increased by 5,84% compared to 2019. The forecasted total electricity generation for November 2020 was calculated as 24433241,86 MWh. Total electricity generation was 0,31% less than expected. Total electricity generation in December 2020 increased by 3,02% compared to the total electricity generation in December 2019. Total electricity generation for December 2020 was forecasted as 26545324,18 MWh. The total electricity generation was 1,20% less than the expected total generation. According to these data, total electricity generation in 2020 didn't change in January and February (no restrictions), but decreased in the remaining ten months compared to what was expected. While the decrease rates in April and May were especially high, the decrease rates in the remaining months were below 4%.

When the studies in literature were examined, it was seen that the studies had been carried out to analyze the changes in electricity generation and consumption during COVID-19 epidemic. In this study, unlike other studies, both the total and nine different sectors were taken into account in the electricity generation forecasting. In addition, the monthly changes of total electricity generation was also examined. Trend, naive, exponential smoothing and holt linear trend methods were used as forecasting methods. In the study conducted by Sahin et al. (2021), it was forecasted that the electricity production from non-renewable sources in Turkey decreased by 11% in 2020 compared to 2019. In this study, lignite and imported coal, which are non-renewable energy sources, were analyzed. It was forecasted that the electricity generation expected from lignite in 2020 decreased by 13,80% compared to the actual lignite electricity generation of the same year. In addition, electricity generation from imported coal was forecasted to had decreased by 5,35%. When both were taken into account, it was forecasted that there was an average decrease of 9,58%. A value close to the study done by Sahin et al. was obtained. In the study by Ghenai et al. (2021), it was forecasted that electricity generation from coal and natural gas in European countries decreased by 35% and 25%

compared to the previous period during the COVID-19 quarantine period. According to the forecasting analyzes done in this study, it was forecasted that the real value of electricity generation from imported coal in 2020 decreased by 5,35% compared to the forecasted value expected to be generated in 2020, while electricity generation from natural gas increased by 6,09%. It is believed that this study will contribute to literature not only with the technical analysis, but also with the evaluations it contains.

## **5. Conclusions**

In this study, changes in electrical energy generation in Turkey during COVID-19 period were analyzed annually and monthly. Trend, naive, exponential smoothing and holt linear trend methods were used for the analysis. The forecasted electricity generation values for 2020 were obtained from the method that gave the lowest MAPE (%) value. As a result of comparing these forecasted electricity generation values with the actual electricity generation values for 2020, it had been concluded that the actual total electricity was generated 3,05% less, electricity from natural gas was 6,09% more, electricity from dam was 3,30% less, electricity from lignite was 13,80% less, electricity from stream was 7,94% less, electricity from imported coal was 5,35% less, electricity from wind was 0,96% less, electricity from solar was 0,17% less, electricity from geothermal was 0,15% more and electricity from biomass was 0,48% less. Monthly changing analyzes of total electricity generation were done. According to these analyses, the actual generation of 2020 was 2,23% less in January, 0,14% more in February, 3,32% less in March, 14,91% less in April, 12,17% less in May, 3,49% in June, 0,20% less in July, 1,08% less in August, 1,99% less in September, 0,84% less in October, 0,31% less in November and 1,20% less in December than the forecasted electricity generation. This study determined the changings in electricity generation caused by the outbreak, and it is thought that it will guide government officials in terms of what kind of precautions can be taken in case of similar restrictions that may occur in the future.

## **Conflict of Interest**

Authors have declared no conflict of interest.

## **Author's Contributions**

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

## **References**

- Abu-Rayash A., Dincer I. Analysis of the electricity demand trends amidst the COVID-19 coronavirus pandemic. *Energy Research & Social Science* 2020; 68: 101682.
- Alhajeri HM., Almutairi A., Alenezi A. Energy demand in the State of Kuwait during the Covid-19 pandemic: technical, economic, and environmental perspectives. *Energies* 2020; 13(17): 4370.

- Bahmanyar A., Estebarsari A., Ernst D. The impact of different COVID-19 containment measures on electricity consumption in Europe. *Energy Research & Social Science* 2020; 68.
- Baran B. Prediction of air quality index by extreme learning machines. 2019 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP) 2019;1-8, IEEE.
- Baran B. Air quality index prediction in Besiktas district by artificial neural networks and k nearest neighbors. *Journal of Engineering Sciences and Design* 2021; 9(1): 52-63.
- Benli YK., Yıldız A. Altın fiyatının zaman serisi yöntemleri ve yapay sinir ağları ile öngörüsü. *Dumlupınar University Journal of Social Sciences* 2014; 42, 213-224.
- Bulut M. Analysis of the Covid-19 impact on electricity consumption and production. *Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences* 2020; 3:3.
- Ceylan Z. The impact of COVID-19 on the electricity demand: a case study for Turkey. *International Journal of Energy Research* 2021; 45(9): 13022-13039.
- Cicala S. Powering Work From Home. NBER Working 2020. Paper No. 27397
- Delgado DBDM., Lima KMD., Cancela MDC., Siqueira CADS., Carvalho M., Souza DLBD. Trend analyses of electricity load changes in Brazil due to COVID-19 shutdowns. *Electric Power Systems Research* 2021; 193, 107009.
- Dincer I. Covid-19 coronavirus: Closing carbon age, but opening hydrogen age. *International Journal of Energy Research* 2020; 44: 6093–6097.
- Edomah N., Ndulue G. Energy transition in a lockdown: an analysis of the impact of COVID-19 on changes in electricity demand in Lagos Nigeria. *Global Transitions* 2020; 2: 127-137.
- Elavarasan RM., Shafiullah GM., Raju K., Mudgal V., Arif MT., Jamal T., Subramanian S., Balaguru VSS., Reddy KS., Subramaniam U. COVID-19: Impact analysis and recommendations for power sector operation. *Applied Energy* 2020; 279, 115739.
- Energy Exchange Istanbul (EXIST). Electricity generation. URL: <https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/uretim/gerceklesen-uretim/gercek-zamanli-uretim.xhtml>, 2021.
- Exponential Smoothing. [https://www.researchgate.net/publication/345413376\\_Usage\\_of\\_Holt's\\_Linear\\_Trend\\_Exponential\\_Smoothing\\_for\\_Time\\_Series\\_Forecasting\\_in\\_Agricultural\\_Research](https://www.researchgate.net/publication/345413376_Usage_of_Holt's_Linear_Trend_Exponential_Smoothing_for_Time_Series_Forecasting_in_Agricultural_Research), 2021.
- Ghenai C., Bettayeb M. Data analysis of the electricity generation mix for clean energy transition during COVID-19 lockdowns, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 2021.
- Halbrügge S., Schott P., Weibelzahl M. How did the German and other European electricity systems react to the COVID-19 pandemic?. *Applied Energy* 2021; 285: 116370.
- Holt's Linear Trend-1. [https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F1-4020-0612-8\\_409](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F1-4020-0612-8_409), 2021.

- Huang L., Liao Q., Qiu R. Prediction-based analysis on power consumption gap under long-term emergency: a case in China under COVID-19. *Applied Energy* 2021; 283: 116339.
- İcel Y., Baran B., Kaygusuz A., Bektas O. Yenilenebilir kaynakları içeren güç sistemlerinin power world programı ile analizi. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK* 2013. 2013; 27-32.
- Janzen B., Radulescu D. Electricity use as a real time indicator of the economic burden of the COVID-19-related lockdown: Evidence from Switzerland. *CESifo Economic Studies* 2020; 66(4): 303-321.
- Kanitkar T. The COVID-19 lockdown in India: impacts on the economy and the power sector. *Global Transitions* 2020; 2, 150- 156.
- MGM, General Directorate of Meteorology. <https://mgm.gov.tr/veeridegerlenda/yillik-toplam-ygis-verileri.aspx>, 2021.
- Norouzi N., Gerardo Z., Rubens ZD., Enevoldsen P., Forough AB. The impact of COVID-19 on the electricity sector in Spain: An econometric approach based on prices. *International Journal of Energy Research* 2021; 45: 6321-6332.
- Ozkurt N., Sekerci Oztura H., Guzelis C. 24-hour electricity consumption forecasting for day ahead market with long short term memory deep learning model, 12th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), IEEE 2020; 173-177.
- Sahin U., Ballı S., Chen Y. Forecasting seasonal electricity generation in European countries under Covid-19-induced lockdown using fractional grey prediction models and machine learning methods, *Applied Energy* 2021; 302, 117540.
- Snow S., Bean R., Glencross M., Horrocks N. Drivers behind residential electricity demand fluctuations due to COVID-19 restrictions. *Energies* 2020; 13: 5738.
- Wilder-Smith A., Freedman DO. Isolation, quarantine, social distancing and community containment: pivotal role for old-style public health measures in the novel coronavirus (2019-nCoV) outbreak. *Journal of Travel Medicine* 2020; 27: 2.
- Zhong H., Tan Z., He Y., Xie L, Kang C. Implications of COVID-19 for the electricity industry: a comprehensive review, 2020; 6(3): 489-495.

## Türkiye’de Tarım, Yenilenebilir ve Yenilenemez Enerji Tüketimi, Doğrudan Yabancı Sermaye ve CO<sub>2</sub> Emisyonu Arasındaki İlişki: ARDL Analizi

Tuğçe DALLI<sup>1\*</sup>, Esra KÜTÜKÇÜ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, 46050, Kahramanmaraş

<sup>2</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, 46050, Kahramanmaraş

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-5862-1964>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-7869-2233>

\*Sorumlu yazar: dallitugce1@gmail.com

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 10.09.2022

Kabul tarihi: 18.02.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Çevresel Kuznets eğrisi hipotezi

Birim kök testi

ARD

Sınır testi

### ÖZ

Çalışmada Türkiye’de, CO<sub>2</sub> emisyonu, yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimi, reel tarımsal katma değer, ekonomik büyüme, doğrudan yabancı sermaye girişi ve finansal gelişme arasındaki ilişki 1974-2019 dönemine ait yıllık veriler kullanılarak test edilmiştir. Durağanlık sınaması için geleneksel ADF ve PP birim kök testi, eş bütünleşme ilişkisi için ARDL sınır testi tercih edilmiştir. ADF ve PP birim kök test sonuçlarına göre doğrudan yabancı sermaye girişi hariç tüm değişkenler birinci farkında durağan bulunmuştur. ARDL bulgularına göre gerek kısa gerekse de uzun dönemde reel GSYH ve yenilenemez enerji tüketiminin karbondioksit emisyonunu artırdığı, reel GSYH’nin karesi ise negatif bulunmuştur. Diğer taraftan hem kısa hem de uzun dönemde finansal gelişme karbon emisyonunu artırmakta, doğrudan yabancı sermaye girişleri ise kısa dönemde karbon emisyonunu artırmakta ancak uzun dönemde azaltmaktadır. Dolayısıyla incelenen dönemde Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezi geçerlidir.

## The Relationship Between Agriculture, Renewable and Non-Renewable Energy Consumption, Foreign Direct Capital and CO<sub>2</sub> Emissions in Turkey: ARDL Analysis

### Research Article

#### Article History:

Received: 10.09.2022

Accepted: 18.02.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Environmental Kuznets curve

hypothesis

Unit root test

ARDL

Bound test

### ABSTRACT

In the study, the relationship between CO<sub>2</sub> emissions, renewable and non-renewable energy consumption, real agricultural value added, economic growth, foreign direct investment and financial development in Turkey was tested using annual data for the 1974-2019 period. Traditional ADF and PP unit root test were preferred for the test of stationarity, and ARDL bounds test was preferred for the cointegration relationship. According to the ADF and PP unit root test results, all variables were found to be stationary at the first difference, except for foreign direct investment. According to ARDL findings, real GDP and non-renewable energy consumption increase carbon dioxide emissions in both the short and long term, and the square of real GDP is negative. On the other hand, financial development increases carbon emissions both in the short and long term, while foreign direct capital inflows increase carbon emissions in the short term but decrease it in the long term. Therefore, the Environmental Kuznets Curve Hypothesis is valid in the examined period.

**To Cite:** Dalli T., Küçükçü E. Türkiye’de Tarım, Yenilenebilir ve Yenilenemez Enerji Tüketimi, Doğrudan Yabancı Sermaye ve CO<sub>2</sub> Emisyonu Arasındaki İlişki: ARDL Analizi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 2154-2170.

## 1. Giriş

Küreselleşmeyle birlikte artan ekonomik faaliyetler hem sanayileşmiş hem de sanayileşme yolunda olan ülkelerde hızlı ve kontrolsüz şekilde yaşanan ekonomik büyüme çevresel etkilerini de beraberinde getirmiştir. Ülkelerin ekonomik ve sosyokültürel yaşamlarında sanayileşme, köklü değişikliklere neden olmakla birlikte, özellikle 20. yy'den itibaren fark edilir bir biçimde doğal çevrenin de hızla değişip kirlenmesine neden olmuştur. Zira sanayileşmenin plan dâhilinde olmadığı salt sanayileşmenin hedef alınıp çevre faktörünün göz ardı edildiği iddia edilmektedir (Guha, 2000). Yenilenebilir enerji, karbon emisyonu ve temiz çevre politikasına yönelik uluslararası arenada özellikle son zamanlarda çalışmalar hız kazanmıştır. Diğer taraftan fosil yakıtların dünya genelinde kullanımı nedeniyle ortaya çıkan çevresel sorunların önlenmesi için, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması gerekmektedir. Tarım sektöründe, yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik uygulanabilirliği ve uygulama yönteminin bölgesel koşullara bağlı olarak değişmektedir. Tarım sektöründe etkin olarak yararlanılabilecek başlıca yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, rüzgâr, jeotermal ve biyokütle enerjileridir (Kendirli ve Çakmak, 2010; Ildırar ve ark., 2022). Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları türüne göre toplam kurulu güç içerisindeki payı en yüksek olan yenilenebilir enerji kaynağı rüzgâr enerjisiyken ikinci sırada güneş enerjisi yer almaktadır (Örnek ve Dalı, 2022). Dolayısıyla üretimde kullanılan rüzgâr ve güneş enerjisinin payının artırılmasının Türkiye’de hem çevre kirliliği hem de maliyetlerin azalmasında yardımcı olabilecektir.

Kuznets (1955) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ekonomik büyümeyle gelir dağılımı arasındaki ilişki analiz edilmiş ve ekonomik büyümeyle birlikte başlangıçta kişi başına düşen gelirin arttığı, ancak gelir dağılımında adaletsizliğin de arttığı, ekonomik büyümenin devam etmesiyle ise gelir adaletsizliğinde azalma yaşanacağı belirtilmiştir. Bu ilişki ise çalışmada grafiksel biçimde “Ters U” ya da “Çan Eğrisi” olarak gösterilmiştir. Dolayısıyla ekonomik büyümeyle gelir dağılımı değişkenleri arasındaki ilişkinin gösterildiği eğriye Kuznets Eğrisi denilmektedir.

Öte yandan ÇKE’nin (Çevresel Kuznets Eğrisi) literatürde, zaman içerisinde farklı kullanımlarının olduğu söylenebilir. Nitekim literatürde, Kuznets Eğrisinde yer alan gelir dağılımının yerini çevre kirliliğinin almasıyla birlikte ÇKE ortaya çıkmıştır (Aytun ve ark., 2017; Öngel ve ark., 2020). Grossman ve Krueger (1991) tarafından ilk defa ileri sürülen bu yaklaşımda ekonomik büyümenin ilk aşamasında, çevresel bozulmalar artmakta, ancak büyüme belirli bir eşiğe ulaştıktan sonra çevresel bozulmalar azalmaktadır. Dolayısıyla kişi başına gelir artarken, çevresel kirlenme azalmaya başlamaktadır. Grossman ve Krueger (1995) tarafından çevresel bozulmayla ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin Ters-U şeklinde olduğu ve ÇKE’ye bağlı olarak, çevre kirliliğinin ekonomik büyümenin artışıyla birlikte azalış gösterdiği belirtilmektedir. Çevre koşullarının bozulmasıyla kişi başına düşen gelir düzeyi arasındaki hipotetik ilişkiye açıklama getirmektedir. Çevre kirlenmesi ve kişi başına gelir arasındaki ilişkide çevre kirliliğine bağlı olarak yaşam kalitesinin başlangıçta bozulduğunu, daha sonra ise iyileştiği öne sürülmektedir. Diğer bir deyişle, bu hipoteze göre, çevre kirliliği, ekonomik gelişme sürecinde, çevre kirliliği ilk olarak artmakta daha sonra ise azalmaktadır

(Akyıldız, 2008; Erataş ve Uysal, 2014). Dolayısıyla ülkelerin büyüme pahasına göz ardı ettiği problemin büyümenin sağlanmasıyla gün yüzüne çıkacağı ve çözümü için çaba sarf edilebileceği söylenebilir (Kaygısız, 2018).

Bu ampirik çalışmadan sonra Çevresel Kuznets eğrisi hipotezinin geçerli olup olmadığının test edilmesine yönelik çalışmalar artmıştır. Yapılan çalışmaların çoğunda ise yenilenemez enerji tüketimi, GSYH, finansal gelişme ve karbondioksit arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Bu çalışmada ise yenilenebilir enerji tüketimi, tarım sektörü ve doğrudan yabancı sermaye girişleri de analize dahil edilmiştir. Diğer taraftan çalışmadaki bazı değişkenlere ait veri kısıtı nedeniyle örneklem dönemi 1974'ten başlamaktadır.

Bu çalışmanın amacı Türkiye için 1974-2019 dönemini kapsayan zaman periyodunda yıllık verilerle tarım sektörü, yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimi, ekonomik büyüme, doğrudan yabancı sermaye girişi ve CO<sub>2</sub> emisyonu arasındaki ilişkiyi test etmektir. Çalışmanın motivasyonunu son dönemlerde gittikçe artan çevreye duyarlılık unsurunun oluşturduğu söylenebilir. Diğer taraftan ÇKE hipotezi ile ilgili yapılan diğer çalışmalarla kıyaslandığında çalışmanın hem tarımı hem de yenilenebilir enerji tüketimini modele dahil etmesiyle literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde, konuyla ilgili daha önce alan yazında yapılan çalışmalara değinilip yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimi, ekonomik büyüme, karbondioksit emisyonu, doğrudan yabancı sermaye girişi ve tarımsal katma değer ilişkisi ampirik olarak test edilecektir. Son olarak sonuç ve değerlendirme ile çalışma sonlandırılacaktır.

## **2. Literatür Araştırması**

ÇKE hipotezinin geçerli olup olmadığına yönelik literatür çalışmaları incelendiğinde genel bir görüş birliğinin olmadığı gözlenmiştir. ÇKE hipotezinin geçerli olup olmadığına yönelik çalışmaların farklı sonuçlar vermesinin nedenleri arasında çalışmalarda uygulanan ekonometrik metotların farklılık içermesi, analiz dönemlerin farklılığı ve bağımsız değişkenlerin farklı olması gösterilebilir.

Grossman ve Krueger (1991) ÇKE hipotezini ilk kez ampirik olarak test etmişlerdir. Çalışmalarında çevre kirliliğiyle kişi başına düşen gelir arasındaki ilişki incelenmiş ve analiz sonucunda bu ilişkinin ters U şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Üç değişik çevre kirleticisi kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), duman ve süspansiyon halindeki partikül maddeyle kişi başına GSYH arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışma 42 NAFTA ülkesi üzerine yapılmış ve çalışma sonucunda iki ulusal kirleticisi (kükürt dioksit ve duman) için düşük milli gelir düzeylerinde kişi başına düşen GSYH ile konsantrasyonların arttığını, ancak daha yüksek gelir düzeylerinde GSYH büyümesi ile azaldığı ortaya konmuştur.

Seldon ve Song (1994), 30 ülke için ÇKE hipotezinin geçerli olup olmadığını En Küçük Kareler (EKK) ve panel veri analiziyle test etmişlerdir. Analiz sonucunda ÇKE ilişkisinin geçerli olduğuna dair bulgulara rastlanmıştır.

Grossman ve Krueger (1995), 1991'deki çalışmalarını genişleterek su kalitesiyle ekonomik büyüme arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Kirlilik göstergesi kapsamında çalışmada 14 farklı değişken kullanılmıştır. 5 değişkenin ters "U", 6 değişkenin ise "N" şeklinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Atıcı ve Kurt (2007) ise çalışmalarında 1968-2000 yıllarında Türkiye için kişi başına düşen karbondioksit emisyonu, su kirliliği, kişi başına düşen gelir, toplam ve tarımsal ihracat ve ithalat arasındaki ilişkiyi regresyon yöntemiyle analiz etmişlerdir. Araştırma sonucunda Türkiye'de incelenen dönemde ÇKE hipotezinin geçerli olduğu bulgusuna ulaşmışlardır.

Jalil ve Mahmud (2009) ise, Çin'de 1975-2005 dönemi arasında karbon emisyonu, enerji tüketimi, kişi başı gelir ve dış ticaret arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Analizde uzun dönemde kişi başı gelire karbon emisyonu arasında ÇKE hipotezini destekleyici sonuca ulaşılmıştır.

Zhang ve Cheng (2009) çalışmalarında Çin ekonomisinde, 1960-2007 döneminde karbon emisyonu, ekonomik büyüme ve enerji tüketimi arasındaki ilişkiyi Granger nedensellik analiziyle araştırmıştır. Bulgulara göre uzun dönemde ekonomik büyümeden enerji tüketimine, enerji tüketiminden de karbon emisyonlarına doğru tek taraflı nedensellik ilişkisi vardır.

Choi ve ark., (2010), Kore, Japonya ve Çin açısından ÇKE'nin test edilmesini amaçlamıştır. Araştırma sonucunda, CO<sub>2</sub> ile gelişmişlik ilişkisi açısından Çin için N Japonya için U şeklindedir. Ayrıca CO<sub>2</sub> ile açıklık arasındaki ilişkinin Japonya ve Kore'de Ters-U, Çin'de ise U şeklinde olduğu tespit edilmiştir.

Arı ve Zeren (2011) ise, Türkiye ve Akdeniz ülkelerinde 2000-2005 döneminde CO<sub>2</sub> ve kişi başı gelir arasındaki ilişkiyi inceleyerek ÇKE hipotezini test ettikleri çalışmalarında, panel veri yönteminden yararlanmışlardır. Analiz sonucunda CO<sub>2</sub> ve kişi başına düşen gelir arasında N şeklinde bir ilişki tespit edilmiştir. Ayrıca nüfus yoğunluğunun ve enerji tüketiminin çevre kirliliği üzerinde pozitif bir etkisinin sonucuna ulaşılmıştır.

Wang ve ark., (2011), ÇKE hipotezinin geçerliliğini 1995-2007 yıllarını kapsayan dönemde Çin'deki 28 bölge için test etmişlerdir. Pedroni eş bütünleşme testine göre ÇKE hipotezinin geçerli olmadığı tespit edilmiştir.

Lau ve ark., (2014) tarafından Malezya'da 1970-2008 dönemleri arasında ÇKE hipotezinin geçerli olup olmadığı test edilmiştir. ARDL analiz yöntemi sonuçlarına göre incelenen dönemde Malezya'da ÇKE hipotezi geçerlidir.

Örnek ve Türkmen (2019) çalışmalarında, 1975-2016 döneminde gelişmiş ve yükselen piyasa ekonomilerinde sürdürülebilir enerjisinin sağlanıp sağlanmadığını ÇKE hipotezi kapsamında analiz etmişlerdir. Kişi başına düşen gelir ve karbondioksit emisyonu verilerinin kullanıldığı çalışmada dinamik panel veri analizi gerçekleştirilmiştir. Bulgular analiz döneminde ÇKE hipotezinin geçerli olmadığını ortaya koymuştur.

Literatürdeki çalışmalardan bazılarında ise tarımın da çevre kirliliği üzerindeki etkisinin analiz edildiği gözlenmektedir. Waheed ve ark., (2017) çalışmalarında yenilenebilir enerji, tarımsal üretim, ormanlık alanla karbondioksit emisyonu arasındaki ilişkiyi 1990-2014 yılları arasında Pakistan için açıklamaya çalışmışlardır. Yenilenebilir enerji tüketimiyle ormanlık alan karbon emisyonunu azaltmakta tarımsal



üretim ise istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Jebli ve Youssef (2017) ise çalışmalarında, Kuzey Afrika ülkeleri için 1980-2011 dönemlerinde tarım sektörü, yenilenebilir enerji tüketimiyle ekonomik büyümenin karbondioksit emisyonu üzerine etkisini test etmişlerdir. Yenilenebilir enerji tüketimiyle ekonomik büyümenin karbon emisyonunu artırdığı tarımın ise karbon emisyonunu azalttığı gözlenmiştir. Liu ve ark., (2017) çalışmasında, ASEAN ülkeleri için 1970-2013 yılları arasında yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimi, GSYH, GSYH'nin karesiyle tarımsal üretimin karbondioksit emisyonu üzerine etkisini test etmişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre yenilenebilir enerji tüketimiyle tarımsal üretim karbon emisyonunda azalışa neden olmakla birlikte ASEAN ülkelerinde analiz döneminde ÇKE hipotezinin geçerli olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Literatür genel olarak değerlendirildiğinde çalışmaların gerek örneklem grubu gerekse de analiz döneminin farklılığı ve farklı ekonometrik yöntemlerin gerçekleştirilmesi ÇKE hipotezinin geçerli olup olmadığına yönelik bulguları etkilemektedir.

**Tablo 1.** Türkiye üzerine gerçekleştirilen ÇKE hipoteziyle ilgili çalışmalar

Yazar/lar	Veri Seti/ Dönem	Değişkenler	Yöntem	Bulgular
Atıcı ve Kurt (2007)	1968-2000	CO <sub>2</sub> , kişi başına düşen gelir, ticari açıklık ve tarım açıklığı	Regresyon analizi	ÇKE hipotezi geçerlidir.
Başar ve Temurlenk (2007)	1950-2000	CO <sub>2</sub> ve kişi başına düşen gelir	EKK ve regresyon analizi	ÇKE hipotezi geçerli değildir.
Halıcıoğlu (2009)	1960-2005	CO <sub>2</sub> , enerji tüketimi, GSYH ve dış ticaret	ARDL sınır testi	ÇKE hipotezi geçerlidir.
Aslan (2010)	1968-2005	Kişi başına gelir, nüfus yoğunluğu ve CO <sub>2</sub>	EKK analizi	ÇKE hipotezi geçerli değildir.
Öztürk ve Acaravcı (2010)	1968-2005	Ekonomik büyüme, CO <sub>2</sub> , enerji tüketimi ve istihdam oranı	Granger nedensellik ve ARDL sınır testi	ÇKE hipotezi geçerli değildir.
Saatçi ve Dumrul (2011)	1950-2007	CO <sub>2</sub> ve kişi başına düşen gelir	İki kırılmalı LM birim kök testi ve Kejriwal yapısal kırılmalı eşbütünleşme analizi	ÇKE hipotezi uzun dönemde geçerlidir
Dam ve Karakaya (2013)	1960-2010	Kişi başına gelir, enerji tüketimi ve CO <sub>2</sub>	Dinamik EKK analizi	ÇKE hipotezi geçerli değildir.

Omay (2013)	1980-2009	Ekonomik büyüme ve CO <sub>2</sub>	Doğrusal olmayan regresyon analizi	ÇKE hipotezi geçerli değildir.
Albayrak ve Gökçe (2015)	1975-2010	Kişi başına gelir, kişi başına gelirin karesi, enerji kullanım oranı ve dışa açıklık	Johansen eş bütünleşme testi	ÇKE hipotezi geçerlidir.
Bozkurt ve Okumuş (2015)	1966-2011	CO <sub>2</sub> emisyonu, ekonomik büyüme, enerji tüketimi, ticari açıklık ve nüfus yoğunluğu	Hatemi-J eş bütünleşme analizi	ÇKE hipotezi geçerlidir.
Erdoğan ve ark., (2015)	1975-2010	Kişi başına gelir, kişi başına gelirin karesi, ve CO <sub>2</sub>	Toda-Yamamoto nedensellik analizi	ÇKE hipotezi geçerli değildir.
Lebe (2016)	1960-2010	Kişi başı gelir, kişi başı gelirin karesi, dışa açıklık, CO <sub>2</sub> ve finansal gelişme	ARDL ve Granger nedensellik analizi	ÇKE hipotezi geçerlidir.
Destek (2018)	1990-2014	GSYH, kentleşme, enerji yoğunluğu ve ekolojik ayak izi	Stirpat modeli	Gerek kısa gerekse uzun dönemde ÇKE hipotezi geçerlidir.
Pata (2018a)	1974-2014	CO <sub>2</sub> , ekonomik büyüme, finansal gelişme, yenilenebilir hidroelektrik, alternatif enerji tüketimi ve kentleşme	ARDL analizi, FMOLS ve CCR tahmincileri ve GH ve HJ eşbütünleşme analizi	ÇKE hipotezi geçerlidir.
Pata (2018b)	1974-2013	CO <sub>2</sub> , ekonomik büyüme, finansal gelişme, toplam-birincil enerji tüketimi, endüstrileşme ve kentleşme	ARDL ve ECM modeli	ÇKE hipotezi geçerlidir.
Pata (2018c)	1971-2014	CO <sub>2</sub> , ekonomik büyüme, dışa açıklık, finansal	ARDL ve ECM modeli	ÇKE hipotezi geçerlidir.

		gelişme, kentleşme, endüstrileşme ve enerji tüketimi		
Pata ve Yurtkuran (2018)	1981-2014	CO <sub>2</sub> , ekonomik büyüme, nüfus yoğunluğu, finansal gelişme ve yenilenebilir enerji tüketimi	ARDL ve ECM modeli	ÇKE hipotezi geçerlidir
Ceylan ve Karaağaç (2020)	1960-2014	CO <sub>2</sub> , enerji tüketimi ve kişi başına gelir	Gregory-Hansen yapısal kırılmalı eş bütünleşme analizi	ÇKE hipotezi geçerli değildir.
Okumuş (2020)	1968-2014	Ekonomik büyüme, yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimi, dışa açıklık, tarımsal katma değer, kentleşme ve CO <sub>2</sub>	ARDL analizi	ÇKE hipotezi geçerlidir.
Güzel (2021)	1960-2015	CO <sub>2</sub> emisyonu, ekonomik büyüme, enerji tüketimi,	ARDL analizi	ÇKE hipotezi geçerli değildir.
Yurtkuran (2021)	1995-2016	Lojistik, ekonomik büyüme ve CO <sub>2</sub>	FMOLS, CCR, Toda-Yamamoto ve Fourier nedensellik analizi	ÇKE hipotezi geçerlidir.
Çağlar (2022)	1974-2019	Kişi başına düşen gelir, CO <sub>2</sub> , birincil enerji tüketimi, toplam nüfus ve çevre teknolojileri ile ilgili alınan patentler	Stirpat modeli	Gerek kısa gerekse uzun dönemde ÇKE hipotezi geçerlidir.
Çoban ve Özkan (2022)	1970-2019	Kişi başına gelir, CO <sub>2</sub> , kişi başına gelirin karesi ve KOF küreselleşme endeksi	Dinamik ARDL simülasyon	ÇKE hipotezi geçerlidir.

Tablo 1’de görüleceği üzere literatürde Türkiye’de, ÇKE hipotezinin geçerliliğini tespit etmeye yönelik çalışmaların bazılarında ekonometrik yöntem olarak Toda-Yamamoto nedensellik analizi, Stirpat modeli gerçekleştirilmiş diğerlerinde ise ARDL ve kimi yapısal eşbütünleşme testlerinden yararlanılmıştır. Literatürdeki çalışmaların bulguları genel olarak ÇKE hipotezinin geçerli olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan ulusal literatür gözlemlendiğinde çalışmalarda yer alan değişkenlerde hem tarımın hem de yenilenebilir enerji tüketiminin model içinde yer aldığı çalışma oldukça sınırlı düzeydedir. Dolayısıyla bu çalışmanın literatürdeki bu boşluğu dolduracağı düşünülmektedir.

### 3. Model ve Yöntem

Çalışmada Türkiye için 1974-2019 dönemi yıllık verileriyle tarım sektörü, yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimi, ekonomik büyüme, doğrudan yabancı sermaye girişi ve CO<sub>2</sub> emisyonu arasındaki ilişki test edilmiştir. Bu kapsamda, metrik ton cinsinden kişi başı CO<sub>2</sub> emisyonu, kişi başı reel GSYH 2010 yılı sabit fiyatlarla ABD doları cinsinden kişi başı reel GSYH ve kişi başı reel tarımsal katma değer, doğrudan yabancı sermaye girişi (ABD doları cinsinden sabit fiyatlarla) ve finansal gelişmeyi temsilen özel sektöre verilen kredilerin GSYH içerisindeki yüzde payı Dünya Bankası veri tabanından, kişi başı yenilenebilir enerji tüketimi (metrik ton cinsinden güneş, rüzgâr, biyokütle ve hidroelektrik enerjisi tüketimi toplamı) ve kişi başı yenilenemez enerji tüketimi (metrik ton cinsinden petrol, doğalgaz ve kömür tüketimi toplamı) ise BP (2021) veri tabanından elde edilmiştir. Uygulamada Eviews 12 paket programından yararlanılmıştır.

Ang (2007), Jebli ve Youssef (2017), Liu ve ark., (2017) ve Okumuş (2020)’un çalışmalarını takiben bu çalışmada, kuadratik ÇKE hipotezi modelinden faydalanılmıştır. Model, Denklem (1)’de gösterilmiştir:

$$\begin{aligned} \ln CO_{2t} = & \alpha_0 + \alpha_1 \ln GDP_t + \alpha_2 \ln GDP_t^2 + \alpha_3 \ln agr_t + \alpha_4 \ln energy_t + \alpha_5 \ln renergy_t + \alpha_6 \ln fd_t + \alpha_7 \ln fdi_t \\ & + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (1)$$

Denklem (1)’de bağımlı değişken metrik ton cinsinden kişi başı karbondioksit emisyonu iken bağımsız değişkenler sırasıyla  $\ln GDP$  (logaritmik kişi başına reel GSYİH),  $\ln GDP^2$  (logaritmik kişi başına reel GSYİH’nin karesi),  $\ln agr$  (logaritmik kişi başı reel tarımsal katma değer),  $\ln energy$  (logaritmik kişi başı yenilenemez enerji tüketimi),  $\ln renergy$  (logaritmik kişi başı yenilenebilir enerji tüketimi),  $\ln fd$  (logaritmik finansal gelişme) ve  $\ln fdi$  (logaritmik doğrudan yabancı sermaye girişi) değişkenleridir.

Sahte regresyon sorununu ortadan kaldırmak amacıyla zaman serisi analizlerinde serilerin durağanlığının test edilmesi önem arz etmektedir. Zira sahte regresyonun olması durumunda, seriler arasında yüksek korelasyonun olmasına rağmen modelde yer alan regresyon denklemi, gerçek bir ilişkiyi yansıtmayıp yanıltıcı sonuçlar doğurabilecektir (Granger ve Newbold, 1974; Güzel, 2021).

Dickey ve Fuller (1981) tarafından geliştirilen ADF testinde üç model bulunmaktadır. Bu modellere Denklem (2), (3) ve (4)’te yer verilmiştir.

$$\text{Sabitli-trendli model: } \Delta Y_t = \mu + \beta_t + \delta Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \delta_j \Delta Y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (2)$$

$$\text{Sabitli-trendli model: } \Delta Y_t = \mu + \delta Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \delta_j \Delta Y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (3)$$

$$\text{Sabitli-trendli model: } \Delta Y_t = \mu + \beta_t + \delta Y_{t-1} + \sum_{j=1}^p \delta_j \Delta Y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (4)$$

Denklem (2), (3) ve (4)'te yer alan Y ele alınan seriyi,  $\Delta$  serideki devresel farkı, p gecikme uzunluğunu ve  $\varepsilon_t$  hata terimini ifade etmektedir.

ADF testinde t istatistik değerleri McKinnon kritik değerleriyle karşılaştırılmaktadır. Bunun sonucunda yokluk hipotezi birim kökün varlığı biçiminde ifade edilmektedir (Dickey ve Fuller, 1981; Karas ve Karas, 2017).

PP testinin ADF testiyle kıyaslandığında hata terimlerine ilişkin varsayımı daha esneklerdir. Nitekim PP testinde, hata terimlerinin zayıf bağımlı ve heterojen olduğu kabul edilmektedir. ADF testinden farklı olarak ise, otokorelasyon sorununu önlemek amacıyla analizdeki denklemlere bağımlı değişken gecikmeleri, açıklayıcı değişken olarak eklenmemektedir. Bunun yerine  $\alpha_1$  katsayısına ilişkin t istatistiği Newey-West (1987) tahmincisi yardımıyla düzeltilmektedir. PP testindeki üç model Denklem (5), (6) ve (7)'de gösterilmiştir (Phillips ve Perron, 1988):

$$\text{Sabitli model: } \Delta X_t = \alpha_1 X_{t-1} + \mu_t \quad (5)$$

$$\text{Sabitli model: } \Delta X_t = \alpha_0 + \alpha_1 X_{t-1} + \mu_t \quad (6)$$

$$\text{Sabitli ve trendli model: } \Delta X_t = \alpha_0 + \alpha_1 X_{t-1} + \alpha_2 Trend + \mu_t \quad (7)$$

PP testinde de serilerin durağan olup olmadığına karar vermek için  $\alpha_1$  katsayısına ait t istatistikleri, MacKinnon (1996) tablo değeriyle karşılaştırılmaktadır.

Ampirik analize geçmeden önce analizdeki değişkenlerin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 2'de sunulmuştur.

**Tablo 2.** Analizdeki Değişkenlerin İstatistikleri

	<i>lnco2</i>	<i>lngdp</i>	<i>lngdp<sup>2</sup></i>	<i>lnpagr</i>	<i>lnenergy</i>	<i>lnrenergy</i>	<i>lnfd</i>	<i>lnfdi</i>
<b>Ortalama</b>	5,092213	8,745225	76,60168	6,525461	3,284808	1,086498	3,179128	20,67427
<b>Maksimum</b>	5,984208	9,393230	88,23277	6,656113	3,966701	3,199113	4,188704	23,81644
<b>Minimum</b>	4,033739	8,229541	67,72534	6,378847	2,445819	-3,218876	2,609215	16,11810
<b>Standart hata</b>	0,574111	0,354192	6,239734	0,071109	0,394717	2,397241	0,499933	2,268328
<b>Çarpıklık</b>	-0,180418	0,352469	0,401575	0,106997	-0,262421	-0,656194	0,987780	-0,178640
<b>Basıklık</b>	1,869097	1,946829	1,986148	1,987332	2,209219	1,525283	2,523980	1,846053
<b>Jarque-Bera</b>	2,700858 (0,259129)	3,078373 (0,214556)	3,206479 (0,201243)	2,053305 (0,358204)	1,726520 (0,421785)	7,469537 (0,023879)	7,914750 (0,01911)	2,796881 (0,246982)

Not: Parantez içerisindeki değerler olasılık değerlerini göstermektedir.

Tablo 2 incelendiğinde finansal gelişme değişkeni hariç diğer serilerin %5 anlamlılık düzeyinde normal dağılıma sahip olduğu görülmektedir. Zira olasılık değerleri yüzde 5'ten küçüktür.

**Tablo 3.** ADF testi bulguları

<i>Değişkenler</i>	<i>Düzye I(0)</i>		<i>Değişkenler</i>	<i>Birinci Fark</i>	
	<i>Sabit</i>	<i>Sabit-Trend</i>		<i>Sabit</i>	<i>Sabit-Trend</i>
<i>lnco2</i>	-1,334(0,605)	-2,849(0,188)	<i>lnco2</i>	-7,238***(0,000)	-7,309(0,000)
<i>lngdp</i>	0,402(0,980)	-2,140(0,509)	<i>lngdp</i>	-6,371***(0,000)	-6,435(0,000)
<i>lngdp<sup>2</sup></i>	0,559(0,987)	-1,983(0,594)	<i>lngdp<sup>2</sup></i>	-6,323***(0,000)	-6,431(0,000)
<i>lnagr</i>	-0,645(0,849)	-0,449(0,982)	<i>lnagr</i>	-11,870***(0,000)	-12,728(0,000)
<i>lnenergy</i>	-1,531(0,508)	-2,819(0,198)	<i>lnenergy</i>	-6,233***(0,000)	-6,211(0,000)
<i>lnrenergy</i>	-1,752(0,398)	-1,573(0,787)	<i>lnrenergy</i>	-7,379***(0,000)	-7,460(0,000)
<i>lnfd</i>	0,114(0,963)	-1,391(0,850)	<i>lnfd</i>	-4,870***(0,000)	-5,067(0,000)
<i>lnfdi</i>	-1,138(0,692)	-3,663**(0,035)	<i>lnfdi</i>	-9,506(0,000)	-9,392(0,000)
<b><i>Kritik Değerler</i></b>		<b><i>Kritik Değerler</i></b>	<b><i>Kritik Değerler</i></b>		<b><i>Kritik Değerler</i></b>
<b><i>1%: -3,5847</i></b>		<b><i>1%: -4,1756</i></b>	<b><i>1%: -3,5885</i></b>		<b><i>1%: -4,1809</i></b>
<b><i>5%: -2,9281</i></b>		<b><i>5%: -3,5130</i></b>	<b><i>5%: -2,9297</i></b>		<b><i>5%: -3,5155</i></b>
<b><i>10%: -2,6022</i></b>		<b><i>10%: -3,1868</i></b>	<b><i>10%: -2,6030</i></b>		<b><i>10%: -3,1882</i></b>

Not: Parantez içerisinde yer alan olasılık değerleri \*\*\*, \*\*, \* ifadeleri %1, %5, %10 anlamlılık düzeyinde istatistiksel anlamlılığı ifade etmektedir.

Tablo 3'e göre doğrudan yabancı sermaye girişi (fdi) hariç tüm değişkenler %1 anlamlılık düzeyinde birinci farkta durağandır.

**Tablo 4.** PP testi bulguları

<i>Değişkenler</i>	<i>Düzye I(0)</i>		<i>Değişkenler</i>	<i>Birinci Fark</i>	
	<i>Sabit</i>	<i>Sabit-Trend</i>		<i>Sabit</i>	<i>Sabit-Trend</i>
<i>lnco2</i>	-1,655(0,446)	-2,848(0,188)	<i>lnco2</i>	-7,582***(0,000)	-7,754(0,000)
<i>lngdp</i>	0,441(0,982)	-2,207(0,474)	<i>lngdp</i>	-6,369***(0,000)	-6,496(0,000)
<i>lngdp<sup>2</sup></i>	0,607(0,988)	-2,039(0,564)	<i>lngdp<sup>2</sup></i>	-6,321***(0,000)	-6,493(0,000)
<i>lnagr</i>	-1,530(0,509)	-1,420(0,841)	<i>lnagr</i>	-11,512***(0,000)	-30,843(0,000)
<i>lnenergy</i>	-1,531(0,508)	-2,941(0,159)	<i>lnenergy</i>	-6,225***(0,000)	-6,202(0,000)
<i>lnrenergy</i>	-1,741(0,404)	-1,530(0,804)	<i>lnrenergy</i>	-7,367***(0,000)	-7,459(0,000)
<i>lnfd</i>	-0,124(0,940)	-1,464(0,827)	<i>lnfd</i>	-4,777***(0,000)	-4,898(0,000)
<i>lnfdi</i>	-0,887(0,783)	-3,653**(0,036)	<i>lnfdi</i>	-9,476(0,000)	-9,622(0,000)
<b><i>Kritik Değerler</i></b>		<b><i>Kritik Değerler</i></b>	<b><i>Kritik Değerler</i></b>		<b><i>Kritik Değerler</i></b>
<b><i>1%: -3,5847</i></b>		<b><i>1%: -4,1756</i></b>	<b><i>1%: -3,5885</i></b>		<b><i>1%: 4,1809</i></b>
<b><i>5%: -2,9281</i></b>		<b><i>5%: -3,5130</i></b>	<b><i>5%: -2,9297</i></b>		<b><i>5%: -3,5155</i></b>
<b><i>10%: -2,6022</i></b>		<b><i>10%: -3,1868</i></b>	<b><i>10%: -2,6030</i></b>		<b><i>10%: -3,1882</i></b>

Not: Parantez içerisindeki değerler olasılık değerlerini göstermekle birlikte \*\*\*, \*\* ve \* ifadeleri sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyinde istatistiksel anlamlılığı ifade etmektedir.

Tablo 4 incelendiğinde doğrudan yabancı sermaye girişi (fdi) hariç tüm değişkenler %1 anlamlılık düzeyinde birinci farkta durağandır. PP testi ADF testini doğrulamaktadır.

Seriler arasındaki uzun dönemli ilişkiyi inceleyen ARDL yönteminin birtakım avantajları bulunmaktadır. ARDL yöntemi serilerin bütünleşme derecesine bakılmaksızın uygulanabilmesi bu avantajlarından biridir. Bir diğeri ise, bu yöntemle dinamik sınırsız bir hata düzeltme modelinin (UECM) türetilmesidir. UECM modeli kısa dönem dinamikleriyle uzun dönem eşitliklerini herhangi bir bilgi kaybına uğramadan entegre edebilmektedir (Shahbaz ve Lean, 2012; Çetin ve

Saygın, 2019). ARDL analizinin iki aşamadan oluştuğu bilinmektedir. İlk aşamada, seriler arasındaki uzun dönemli ilişkinin varlığı ortaya koyulmakta ikinci aşamadaysa kısa ve uzun dönem nedensellik ilişkisi hata düzeltme terimi (ECT) çerçevesinde tahmin edilmektedir (Pesaran ve ark., 2001). Çalışmada değişkenler arasındaki ARDL sınır testi modeli Denklem (8)'de gösterilmektedir.

$$\Delta \ln CO_2 = \alpha_0 + \sum_{j=1}^n \alpha_j \Delta \ln CO_{2,t-j} + \sum_{j=0}^n \beta_j \Delta \ln GDP_{t-j} + \sum_{j=0}^n \delta_j \Delta \ln GDP_{t-j}^2 + \sum_{j=0}^n \lambda_j \Delta \ln AGRT_{t-j} + \sum_{j=0}^n \theta_j \Delta \ln ENERGY_{t-j} + \sum_{j=0}^n \Phi_j \Delta \ln REENERGY_{t-j} + \sum_{j=0}^n \gamma_j \Delta \ln LFD_{t-j} + \sum_{j=0}^n \Omega_j \Delta \ln LFDI_{t-j} + \psi_1 \ln CO_{2,t-1} + \psi_2 \ln GDP_{t-1} + \psi_3 \ln GDP_{2,t-1} + \psi_4 \ln AGRT_{t-1} + \psi_5 \ln ENERGY_{t-1} + \psi_6 \ln REENERGY_{t-1} + \psi_7 \ln LFD_{t-1} + \psi_8 \ln LFDI_{t-1} \quad (8)$$

Denklem (8)'de  $\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4, \psi_5, \psi_6, \psi_7, \psi_8$  katsayıları uzun dönem,  $\alpha_j, \beta_j, \delta_j, \lambda_j, \Phi_j, \theta_j, \gamma_j, \Omega_j$  katsayıları ise kısa dönem etkilerini ifade etmektedir. Optimum gecikme uzunluğu, Schwarz (SIC) bilgi kriterine göre belirlenmiştir. Değişkenler arasındaki eş bütünleşmeyi test eden yokluk hipotezinin reddedilememesi değişkenler arasında eş bütünleşme ilişkisinin olmadığını ifade etmektedir. Temel hipotez Denklem (9)'da sunulmuştur:

$$H_0 = \gamma_1 = \gamma_2 = 0 \quad (9)$$

Pesaran ve ark., (2001)'in çalışmasındaki I(0) ve I(1) değerleri ve F istatistik değeri karşılaştırılmaktadır. Hesaplanan F değeri eğer I(1)'den büyükse sıfır hipotezi reddedilmektedir. Bu durumda modelde değişkenler arasında eş bütünleşme ilişkisi vardır. Eğer F değeri I(0)'dan küçükse eş bütünleşmenin olmadığı üzerine kurulan yokluk hipotezi reddedilememektedir.

**Tablo 5.** ARDL analizi bulguları

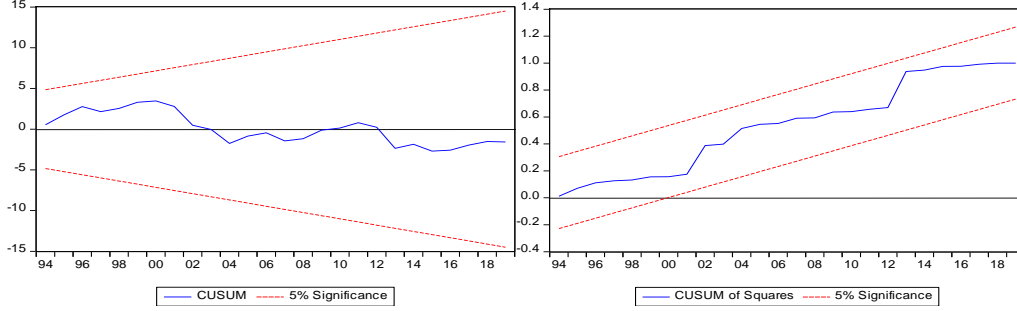
<i>Model</i>	<i>Optimum Gecikme Uzunluğu</i>	<i>F İstatistiği</i>
$\ln CO_{2t} = f(\ln GDP_t, \ln GDP_t^2, \ln pagrt, \ln energy_t, \ln reenergy_t, \ln lfd_t, \ln lfdi_t)$	ARDL (2, 3, 3, 2, 3, 3, 3, 2)	11,365*
<i>Kritik Değerler</i>	<i>I(0)</i>	<i>I(1)</i>
1%	4,10	5,78
5%	3,09	4,41
10%	2,63	3,83

Tablo 5'te görüldüğü üzere hesaplanan F istatistiği değeri 11.365 olup %5 anlamlılık düzeyindeki 3,09 ve 4,41 üst kritik değerlerinden büyük olması nedeniyle seriler arasında eşbütünleşme ilişkisinin olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 6.** ARDL (2, 3, 3, 2, 3, 3, 3, 2) Modeli teşhis testlerinin bulguları

<i>Test</i>	<i>F İstatistiği</i>	<i>Olasılık Değeri</i>
<i>Breusch Godfrey</i>	2,3743	0,1389
<i>Jarque-Bera</i>	1,0567	0,5895
<i>Ramsey Reset</i>	2,150	0,1682
<i>ARCH</i>	0,4150	0,5231
<i>CUSUM</i>	İstikrarlıdır	İstikrarlıdır
<i>CUSUMQ</i>	İstikrarlıdır	İstikrarlıdır

Tablo 6’da görüleceği üzere serilerde otokorelasyon sorununun olmadığı, hata terimlerinin sabit varyansa, normal dağılıma sahip olduğu ve modelde doğru fonksiyonel formun kullanıldığı sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 1. CUSUM ve CUSUMQ Testinin Bulguları

Şekil 1’de CUSUM testlerinin sonuçları incelendiğinde mavi çizgiyle gösterilen model tahminlerinin, kesikli kırmızı çizgilerin arasında yer almakta diğer bir ifadeyle katsayılar analiz döneminde istikrarlıdır.

Tablo 7. ARDL analizi bulguları

<i>Değişkenler</i>	<i>Katsayı</i>	<i>Olasılık Değeri</i>
<b>Kısa Dönem</b>		
<i>lngdp</i>	14,87452**	0,0175
<i>lngdp<sup>2</sup></i>	-0,824902**	0,0202
<i>lnagr</i>	-0,442819**	0,0264
<i>lnenergy</i>	0,252978**	0,0137
<i>lnrenergy</i>	-0,020466**	0,0124
<i>lnfd</i>	0,050083	0,2543
<i>lnfdi</i>	-0,001656	0,8654
<i>ECT(-1)</i>	-1,654122***	0,0000
<b>Uzun Dönem</b>		
<i>lngdp</i>	9,524679***	0,0002
<i>lngdp<sup>2</sup></i>	-0,532486***	0,0002
<i>lnpagr</i>	-0,079040	0,7503
<i>lnenergy</i>	0,456119***	0,0000
<i>lnrenergy</i>	-0,011627**	0,0113
<i>lnfd</i>	0,140969***	0,0000
<i>lnfdi</i>	0,028648**	0,0130

Not: \*\*\*, \*\*, \* notasyonları sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeyinde istatistiksel anlamlılığı göstermektedir.

Tablo 7’deki ARDL kısa dönem bulgularına göre kişi başı reel GSYH, kişi başı yenilenebilir enerji tüketimindeki artış karbondioksit emisyonunu artırırken, kişi başı reel tarımsal katma değer ve kişi başı yenilenebilir enerji tüketiminin ise azalttığı görülmektedir. Uzun dönem sonuçları incelendiğinde, kişi başı reel GSYH, finansal gelişme, doğrudan yabancı sermaye girişleri ve kişi başı yenilenebilir enerji tüketimindeki artış karbondioksit emisyonunu artırmakta, kişi başına düşen yenilenebilir enerji tüketimindeki artışın ise azalttığı gözlenmiştir. Bu sonuçlara göre kişi başı reel GSYH hem kısa dönemde hem de uzun dönemde karbondioksit emisyonunu artırmaktadır. Kişi başı reel GSYH’nin



karesi ise negatiftir. Dolayısıyla Ters-U eğrisi geçerlidir. Diğer bir deyişle, incelenen dönemde Türkiye’de ÇKE hipotezi geçerlidir.

#### **4. Sonuç**

Sürdürülebilir kalkınma perspektifinde çevrenin korunması ve sürdürülebilirliği gelecek kuşakların refahı için üzerinde durulması gereken önemli konulardan birini teşkil etmektedir. Bu nedenle uluslararası mecrada bu konuda önemli adımlar atılmıştır. Bunlara Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü gibi uygulamalar örnek gösterilebilir.

Bu çalışmada, 1974-2019 zaman periyoduna ait yıllık veriler kullanılarak Türkiye’de karbondioksit emisyonu, yenilenebilir ve yenilenemez enerji tüketimi, ekonomik büyüme, reel tarımsal katma değer, doğrudan yabancı sermaye girişi ve finansal gelişme arasındaki ilişki ARDL yöntemiyle analiz edilmiştir. ARDL bulgularına göre kısa ve uzun dönemde reel GSYH ve yenilenemez enerji tüketimindeki artışın karbondioksit emisyonunu artırdığı, reel GSYH’nin karesi ve yenilenebilir enerji tüketiminin ise karbondioksit emisyonunu azalttığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla incelenen dönemde Çevresel Kuznets Eğrisi Hipotezi geçerlidir. Türkiye için çevre kirliliği ve gelir seviyesi arasında incelenen dönemde, ters U şeklinde bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir deyişle, Türkiye’de ekonomik büyümenin ilk aşamasında gelir artışının çevresel kirliliği artırdığı gelir seviyesinin belli bir noktaya ulaştıktan sonra ise çevresel iyileşmenin başladığı gözlenmektedir. Elde edilen bulgular Albayrak ve Gökçe (2015), Bozkurt ve Okumuş (2015), Lebe (2016) ve Destek (2018), Yurtkuran (2021), Çoban ve Özkan (2022)’ın çalışmalarıyla paralellik göstermektedir.

Hidroelektrik, biyokütle, güneş, dalga ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması, Türkiye’de enerji bağımlılığının azalmasına ve dolayısıyla çevresel kirlenme sorununun çözülmesine yardımcı olacağı düşünülmektedir. Zira fosil yakıtlardan elde edilen enerji, çevrenin kirlenmesinde en önemli etkenlerden biridir. Dolayısıyla sürdürülebilir kalkınma politikalarının yaygınlaştırılması ve çevrenin korunmasına yönelik politika yapıcılar işletmeleri yenilenebilir enerji kullanımına teşvik edecek önlemler almalıdır. Diğer taraftan büyümenin, reel üretime dayanan doğrudan yabancı sermaye girişleriyle sağlanması uzun dönemde karbon emisyonunu azaltması yönünden de önem teşkil etmektedir. Dolayısıyla doğrudan yabancı sermayeyi ülke içine çekecek politikaların sürdürülmesinin önemli olacağı düşünülmektedir.

#### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

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

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamıştır.

## Kaynakça

- Akyıldız B. Çevresel etkinlik analizi: kuznets eğrisi yaklaşımı. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir, 2008.
- Albayrak EN., Gökçe A. Ekonomik büyüme ve çevresel kirlilik ilişkisi: çevresel kuznets eğrisi ve Türkiye örneği. *Social Sciences Research Journal* 2015; 4(2): 279-301.
- Ang JB. CO<sub>2</sub> Emissions, energy consumption, and output in france. *Energy Policy* 2007; 35(10): 4772-4778.
- Arı A., Zeren F. CO<sub>2</sub> emisyonu ve ekonomik büyüme: panel veri analizi. *Yönetim ve Ekonomi* 2011; 18(2): 37-47.
- Aslan F. İktisadi büyümenin ekolojik sınırları ve kalkınmanın sürdürülebilirliği. Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 2010.
- Atıcı C., Kurt F. Türkiye'nin dış ticareti ve çevre kirliliği: çevresel kuznets eğrisi yaklaşımı. *Tarım Ekonomisi Dergisi* 2007; 13(2): 61-69.
- Aytun C., Akın CS., Algan N. Gelişen ülkelerde çevresel bozulma, gelir ve enerji tüketimi ilişkisi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 2017; 10(1): 1-11.
- Bozkurt C., Okumuş İ. Türkiye'de ekonomik büyüme, enerji tüketimi, ticari serbestleşme ve nüfus yoğunluğunun CO<sub>2</sub> emisyonu üzerindeki etkileri: yapısal kırılmalı eş bütünleşme analizi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 2015; 12(32): 23-35.
- BP. Statistical review of world energy. London, UK, 2021.
- Ceylan R., Karaağaç GE. Türkiye'de çevresel kuznets eğrisi hipotezinin test edilmesi: yapısal kırılmalı eşbütünleşme testi ile hata düzeltme modelinden kanıtlar. *Pamukkale Journal of Eurasian Socioeconomic Studies* 2020; 7(2): 75-85.
- Choi E., Heshmati A., Cho Y. An empirical study of the relationships between CO<sub>2</sub> emissions, economic growth and openness. *IZA Discussion Papers* 5304, Institute of Labor Economics (IZA) 2010.
- Çağlar AE. Türkiye'de çevresel kuznets eğrisi hipotezinin araştırılmasında çevresel patentlerin rolü: genişletilmiş ardl ile kanıtlar. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 2022; 15(4): 913-929.
- Çetin M., Saygın S. Çevresel kuznets eğrisi hipotezi'nin ampirik analizi: Türkiye ekonomisi örneği. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi* 2019; 26(2): 529-546.
- Çoban MN., Özkan O. Çevresel kuznets eğrisi: Türkiye'de küreselleşme ve ekonomik büyümenin çevre üzerindeki etkisinin yeni dinamik ardl simülasyon modeli ile incelenmesi. *Akademik Hassasiyetler* 2022; 9(19): 207-228.
- Dam MM., Karakaya E., Bulut Ş. Çevresel kuznets eğrisi ve Türkiye: ampirik bir analiz. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi EYİ 2013 Özel Sayısı* 2013; 85-96.

- Destek MA. Çevresel kuznets eğrisi hipotezinin Türkiye için incelenmesi: stirpat modelinden bulgular. Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi 2018; 19(2): 268-283.
- Dickey DA., Fuller WA. Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica* 1981; 49(4): 1057-1072.
- Erataş F., Uysal D. Çevresel kuznets eğrisi yaklaşımının “brict” ülkeleri kapsamında değerlendirilmesi. İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Mecmuası 2014; 64: 1-25.
- Erdoğan İ., Türköz K., Görüş MŞ. Çevresel kuznets eğrisi hipotezinin Türkiye ekonomisi için geçerliliği. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 2015; 44: 113-123.
- Granger CJG., Newbold P. Spurious regression in econometrics. *Journal of Econometrics* 1974; 2(2): 111-120.
- Grossman GM., Krueger AB. Environmental impacts of a north american free trade agreement. National Bureau of Economic Research 1991.
- Grossman GM., Krueger AB. Economic growth and the environment, the quarterly. *Journal of Economics* 1995; 110(2): 353-377.
- Guha R. Environmentalism: a global history. Longman, USA: Pearson, 2000.
- Güzel F. Çevresel kuznets eğrisi hipotezinin Türkiye ekonomisinde geçerliliğinin ampirik analizi. Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi 2021; (30): 59-76.
- Halıcıoğlu F. An econometric study of Co<sub>2</sub> emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy* 2009; 37(3): 1156-1164.
- Ildırar M., Ata AY., Dalı T. Türkiye’de tarımda yenilenebilir enerji kullanımı. 5th international kayes congress. 15-17 septemper, Bursa, 2022, 75-83.
- Jalil A., Mahmud SF. Environment kuznets curve for co2 emissions: a cointegration analysis for China. *Energy Policy* 2009; 37(12): 5167-5172.
- Jebli MB., Youssef SB. The role of renewable energy and agriculture in reducing co2 emissions: evidence for north africa countries. *Ecological Indicators* 2017; 74: 295-301.
- Karaş G., Karaş E. Reel efektif döviz kuru, ihracat ve ithalat arasındaki ilişki: Türkiye özelinde ekonometrik bir değerlendirme. Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 2017; 10/Özel Sayı: 27-46.
- Kaygısız, AD. Çevresel kuznets hipotezi: Türkiye üzerine ampirik bir uygulama. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 2018; 3(32): 186-204.
- Kendirli B., Çakmak B. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sera ısıtmasında kullanımı. Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi 2010; 2(1): 95-103.
- Kuznets S. Economic growth and income inequality. *The American Economic Review*, 1955; 45(1): 1-28.
- Lau LS., Choong CK., Eng YK. Investigation of the environmental kuznets curve for carbon emissions in Malaysia: do foreign direct investment and trade matter?. *Energy Policy* 2014; 68: 490-497.

- Lebe F. Çevresel kuznets eğrisi hipotezi: Türkiye için eşbütünleşme ve nedensellik analizi. *Doğuş Üniversitesi Dergisi* 2016; 17(2): 177-194.
- Liu X., Zhang S., Bae J. The impact of renewable energy and agriculture on carbon dioxide emissions: investigating the environmental kuznets curve in four selected asean countries. *Journal of Cleaner Production* 2017; 164: 1239-1247.
- MacKinnon JG. Numerical distribution functions for unit root and cointegration tests. *Journal of Applied Econometrics* 1996; 11: 601-618.
- Newey WK., West KDA. Simple, positive semi-definite, heteroskedasticity and autocorrelation consistent covariance matrix. *Econometrica* 1987; 55(3): 703-708.
- Okumuş İ. Türkiye’de yenilenebilir enerji tüketimi, tarım ve CO<sub>2</sub> emisyonu ilişkisi. *Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi*, 2020; 6(1): 21-34.
- Omay RE. The relationship between environment and income: regression spline approach. *International Journal of Energy Economics and Policy* 2013; 3: 52-61.
- Öngel V., Bozkurt G., Tatlı, HS. Çevresel kuznets eğrisi hipotezinin sektörel açıdan incelenmesi: Türkiye örneği. *Ekoist: Journal of Econometrics and Statistics* 2020; (32): 49-68.
- Örnek İ., Dallı T. Afrika’da yenilenebilir enerji. 2022; 42-102: Ekin Yayınevi: Bursa. Afrika’nın sektörel yapısı ve Türkiye-Afrika ilişkileri. (Ed. Örnek, İ.).
- Örnek İ., Türkmen S. Gelişmiş ve yükselen piyasa ekonomilerinde çevresel kuznets eğrisi hipotezi’nin analizi. *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 2019; 28(3): 109-129.
- Öztürk I., Acaravcı A. CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption and economic growth in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2010; 14(9): 3220-3225.
- Pata UK. Renewable energy consumption, urbanization, financial development, income and CO<sub>2</sub> emissions in Turkey: testing ekc hypothesis with structural breaks. *Journal of Cleaner Production* 2018a; 187: 770-779.
- Pata UK. The effect of urbanization and industrialization on carbon emissions in Turkey: evidence from ardl bounds testing procedure. *Environmental Science and Pollution Research* 2018b; 25(8): 7740-7747.
- Pata UK. The influence of coal and noncarbohydrate energy consumption on CO<sub>2</sub> emissions: revisiting the environmental kuznets curve hypothesis for Turkey. *Energy* 2018c; 160: 1115-1123.
- Pata UK., Yurtkuran S. Yenilenebilir enerji tüketimi, nüfus yoğunluğu ve finansal gelişmenin CO<sub>2</sub> salımına etkisi: Türkiye örneği. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi Prof. Dr. Harun TERZİ Özel Sayısı*, 2018; 303-318.
- Perron P. Testing for a unit root in a time series with a changing mean. *Journal of Business & Economic Statistics* 1990; 8(2): 153-162.
- Pesaran MH., Shin Y. An Autoregressive distributed-lag modelling approach to cointegration analysis. *Econometric Society Monographs* 1998; 31: 371- 413.

- Pesaran MH., Shin Y., Smith RJ. Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics* 2001; 16(3): 289- 326.
- Phillips CBP., Perron P. Testing for a unit root in time series regressions. *Biometrika* 1988; 75(2): 335-346.
- Saatçi M., Dumrul Y. Çevre kirliliği ve ekonomik büyüme ilişkisi: çevresel kuznets eğrisinin türk ekonomisi için yapısal kırılmalı eş-bütünleşme yöntemiyle tahmini. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 2011; (37): 65-86.
- Seldon T., Song D. Environmental quality and development: is there a kuznets curve for air pollution emissions? *Journal of Environmental Economics and Management* 1994; 27: 147-162.
- Shahbaz M., Lean HH. Does financial development increase energy consumption? the role of industrialization and urbanization in Tunisia. *Energy Policy* 2012; 40: 473-479.
- Waheed R., Chang D., Sarwar S., Chen W. Forest, agriculture, renewable energy, and CO<sub>2</sub> emission. *Journal of Cleaner Production* 2018; 172: 4231-4238.
- Wang SS., Zhou DQ., Zhou P., Wang QW. CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption and economic growth in China: A Panel Data Analysis. *Energy Policy* 2011; 39: 4870-4875.
- WDI. World development indicators, World Bank 2021.
- Yurtkuran S. Çevresel kuznets eğrisi hipotezinin geçerliliği ve yeşil lojistik: Türkiye örneği. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 2021; 24(45): 171-201.
- Zhang X., Cheng X. Energy consumption, carbon emissions, and economic growth in China. *Ecol. Econ* 2009; 68(10): 2706-2712.

## Antepfıstığı Yetiştirilen Toprakların Bazı Verimlilik Özelliklerinin Belirlenmesi

Nilgün KALKANCI<sup>1</sup>, Tuğba ŞİMŞEK<sup>2</sup>, Ertuğrul İLİKÇİOĞLU<sup>3</sup>, Gökhan BÜYÜK<sup>4\*</sup>, Nevzat ASLAN<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,5</sup> Gaziantep Antepfıstığı Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Gaziantep

<sup>4</sup>Adıyaman Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak ve Bitki Besleme Bölümü, Kahta, Adıyaman

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-0509-3168>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-9383-7621>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-00025818-045X>

<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-0522-3188>

<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0002-6077-8637>

Sorumlu Yazar: gbuyuk@adiyaman.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 10.10.2022

Kabul tarihi:31.01.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Toprak

Analiz

Besleme

Antepfıstığı

### ÖZ

Bu çalışma, Gaziantep ilinin farklı ilçelerinde kuru koşullarda yetiştiriciliği yapılan antepfıstığı bahçelerini temsilen seçilen 215 adet bahçenin beslenme durumlarının belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Bu amaçla, 0-30 cm derinlikten alınan toprak örneklerinde bünye, CaCO<sub>3</sub>, pH, EC, organik madde, yarayırlı P ve değişebilir K analizleri yapılmıştır. Araştırma bulgularına göre, toprakların bünyesi %51,6'sı killi, %18,1'i killi tın, %0,5'i tınlı, %0,5'i kumlu kil, %25,1'i kumlu killi tın ve %4,2'si de kumlu tın sınıfında yer almak üzere toplan 6 bünye sınıfında yer almıştır. Toprak pH'sı nötr ve hafif alkali arasında değişmiş olup tamamı tuzsuz topraklardır. Toprakların %98'inde organik madde yetersiz olarak belirlenmiştir. Kireç içeriği %8,4'ü kireçli, %9,3'ü orta kireçli, %14,4'ü fazla kireçli ve %67,9'u çok fazla kireçli sınıfında yer almıştır. Yarayırlı P düzeyi toprakların %80,9'unda yetersiz olduğu belirlenmiştir. Değişebilir K içeriği ise %91,2'sinde ise yeterli olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak elde edilen bulgular, kuru tarım yapılan antepfıstığı bahçelerinde P yönünden beslenme sorunları olduğunu göstermektedir. Bu nedenle tabandan fosfor gübre uygulamaları yapılmalıdır. Bölgede bazaltik toprakların varlığı nedeniyle düşük kireç içeriği olan bahçelerde Ca gübrelemesi, kireç içeriği yüksek olan bahçelerde özellikle mikroelement gübreleri topraktan ve yapraktan uygulanmasının yararlı olacağı düşünülmektedir. Bu gübrelemeler özellikle verim senesinde mutlaka yapılmalıdır.

## Determination of Some Fertility Characteristics of Pistachio Cultivated Soils

### Research Article

#### Article History:

Received: 10.10.2022

Accepted: 31.01.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Soil

Analysis

Nutrition

Pistachio

### ABSTRACT

This study was carried out to determine the nutritional status of 215 orchards selected to represent pistachio orchards grown in dry conditions in different districts of Gaziantep. For this purpose, soil samples taken from 0-30 cm depth were analyzed for texture, CaCO<sub>3</sub>, pH, EC, organic matter, available P and exchangeable K. According to the research findings, the soil structure is 51.6% clayey, 18.1% clay loam, 0.5% loam, 0.5% sandy clay, 25.1% sandy clay loam and 4.2% sandy loam. It has been included in a total of 6 body classes. Soil pH has changed between neutral and slightly alkaline, and all of them are salt-free soils. Organic matter was determined as insufficient in 98% of the soils. Lime content is 8.4% calcareous, 9.3% medium lime, 14.4% high-lime and 67.9% very calcareous. The available P level was determined to be insufficient in 80.9% of the soils. If the exchangeable K content is

91.2%, it was determined to be sufficient. As a result, the findings show that there are nutritional problems in terms of P in dry farming pistachio orchards. For this reason, phosphorus fertilizer applications should be made from the preplant. Due to the presence of basaltic soils in the region, it is thought that Ca fertilization in orchards with low lime content and application of microelement fertilizers from soil and leaves in orchards with high lime content are thought to be beneficial. These fertilizations should be done especially in the yield year.

**To Cite:** Kalkancı N., Şimşek T., İlikçioğlu E., Büyük G., Aslan N. Antepfıstığı Yetiştirilen Toprakların Bazı Verimlilik Özelliklerinin Belirlenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(3): 2171-2182.

## 1. Giriş

Türkiye’de 9 ilde (Şanlıurfa, Gaziantep, Adıyaman, Siirt, Kilis, Kahramanmaraş, Diyarbakır, Batman ve Manisa) 3 617 480 da alanda Antep fıstığı yetiştiriciliği yapılmaktadır. Gaziantep ilinde 1 408 350 da alanda 18 459 714 adet meyve veren, 5 442 947 adet meyve vermeyen ağaç ile yetiştiricilik yapılmaktadır. Meyve veren ağaçlarda ortalama verim 5 kg ağaç<sup>-1</sup> olup toplam üretim yaklaşık 100 000 tondur. Türkiye’de antepfıstığı ve üretim miktarı ve yetiştirildiği alanlar göz önüne alındığında Gaziantep, Şanlıurfa ilinden sonra 2. sırada yer almaktadır (TUİK, 2021).

Tarımsal üretim olması için toprak varlığı çok önemlidir ancak bu varlığın etkin ve sürdürülebilir biçimde kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle toprakların verimlilik özelliklerini belirlemek ve belirlenen özelliklere önlemler önem kazanmaktadır.

Şanlıurfa ili, Bozova ilçesinde yetiştiriciliği yapılan Antep fıstığı bahçelerinde toprak ve Antep fıstığı yaprak örneklerinde kısmen demir (Fe), yaygın azot (N), çinko (Zn) ve fosfor (P) noksanlığı tespit edildiği bildirilmiştir. Araştırma sonuçları, antepfıstığı ağaçlarına N, P ve Zn gübrelere yanında demirli gübre kullanımının önem arz ettiği belirtilmektedir (Kızılgöz ve ark., 2009). Gaziantep ili, Nizip İlçesinde yetiştirilen Antep fıstığı bahçelerinden alınan toprak örneklerinin %63,34’ü kil, %26,66’sı killi tın, %6,66’sı kumlu killi tın ve %3,34’ü ise siltli kil bünyede olduğu, hafif alkalın reaksiyonlu ve tuzsuz sınıfında yer aldığı, organik madde düzeyinin yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Toprakların %26,66’sının P, %10’unun Mg, %46,66’sının Fe, %46,66’sının Zn, %93,33’ünün B içeriği bakımından noksan olduğu tespit edilmiştir (Bozgeyik ve Çimrin, 2020).

Antep fıstığı ağaçlarının üretim miktarı incelendiğinde, ağaç başına verimin düşük olduğu görülmektedir; son 10 yılın verim ortalamaları incelendiğinde; Ülkemizde kullanılan çeşitlerin periyodisite göstermesinden dolayı var yılı ve yok yılı arasındaki ortalama verim miktarı %12,5 ile %66,6 arasında değişirken, periyodisite görülen yıllarda verim miktarında yaklaşık %36 düşüş yaşandığı görülmektedir. Bu oran ABD’de % 28iken, İran’da 10 yıllık sürede sadece 2004 yılı için %39 olarak bildirilmiştir (Yavuz ve ark., 2016). Antep fıstığı yetiştiriciliğinde ağaçların ihtiyacı olan bitki besin elementlerine gereken önemin verilmediği görülmektedir (Özyurt, 2016).

Bitkiler gelişmelerini sürdürebilmeleri için gereksinim duydukları bitki besin maddelerini toprak ortamında yeterli miktarda olması ve bunun bitkiler tarafından alınması gerekmektedir. Bitkilerin ihtiyaç duydukları besin maddeleri yetersiz olması durumunda, gelişimlerinde gerileme, verim ve kalitelerinde azalmalar olmaktadır (Turan ve ark., 2010).

Bu araştırmada, Gaziantep ilinde kuru koşullarda yetiştirilen ve b6lgeye adapte olmuş antep fıstığı bahçelerinin toprak verimlilik 6zelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu alışma, T6rkiye'nin en 6nemli fıstık 6retim alanlarından biri olan ve Yukarı Mezopotamya kesiminde yer alan Gaziantep ve ilçelerinde 36° 28' ve 38° 01' doğu boylamları ile 36° 38' ve 37° 32' kuzey enlemleri arasında y6r6t6lm6şt6r. Araştırma alanının rakımı 365-850 m arasında değişmekte olup, Akdeniz ve kara ikliminin geçiş noktasında yer almaktadır. Genel olarak yazlar sıcak ve kurak, kişlar ise soğuk ve yağışlıdır. Yağış en çok kiş ve ilkbahar aylarında g6r6lmektedir. Yıllık en d6ř6k sıcaklık seviyesi -17,5 6C, en y6ksek sıcaklık seviyesi 44 6C'dir. Yıllık yağış ortalaması 566,1 mm'dir (MGM, 2021). Çalışma alanı xeric toprak sıcaklığı ve nem rejimine sahiptir (Pyke ve ark ., 2015).

### 2.1. Materyal

G6ney Doğu Anadolu B6lgesinde antepfıstığı yetiştiriciliğinin yoğun olarak yapıldığı Gaziantep ilinde kuru koşullarda yetiştirilen kaliteli ve iyi 6r6n veren, hastalık ve zararlı ile bulaşık olmayan, verim çağındaki 7 ilçeden (şehitkamil, şahinbey, Araban, Yavuzeli, Oğuzeli, Karkamış ve Nizip) kuru koşullarda yetiştiriciliği yapılan 215 farklı bahçeden 0-30 cm derinlikten 213 adet toprak 6rneği çalışmanın materyalini oluşturmaktadır. Toprak 6rneklelerinin toplandığı bahçeler rastgele seçilirken antepfıstığı ağaçlarının benzer yaşta olmasına dikkat edilmiştir (Tablo 1).

**Tablo 1.** Toprak 6rneklelerinin sayısı (adet) ve ilçelere g6re dağılımı (%)

İlçeler	Toprak 6rneği sayısı	Toprak 6rneklelerinin dağılımı (%)
şehitkamil	37	17,2
şahinbey	18	8,4
Araban	17	7,9
Yavuzeli	19	8,8
Oğuzeli	21	9,8
Karkamış	34	15,8
Nizip	69	32,1

### 2.2. Metot

Toprak 6rnekleleri g6brelemenin yapılmadığı bahçelerden hasattan sonra temmuz ayının son haftasında alınmıştır. Alınan topraklar kurutulduktan sonra 2 mm'lik elekten geçirilmiş, b6nyeye Bouyoucos hidrometre metodu (Bouyoucos, 1951), toprak reaksiyonu (pH) saturasyon çamurunda cam elektrotlu pH metre ile (Jackson, 1958) ile, organik madde Walkley-Black metoduna g6re (6lgen ve Ateşalp, 1972), %kire miktarı beş tekrarlamalı olarak, Scheibler kalsimetresi ile (Hızalan ve 6nal, 1966), %tuz Richards'e, (1954)' e g6re, yarayışlı P Olsen ve ark.nın (1954) bildirdiği şekilde, alınabilir K



Pratt'ın (1965) bildirdiği şekilde Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresinde (Lindsay ve Norvel, 1978) belirlenmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Bünye

Şehitkamil Bölgesinden kuru tarım yapan 37 bahçeden alınan toprak örneklerinde (0-30 cm) kum içeriği %14,0-76,0, kil içeriği %12,2-48,2 ve silt içeriği %11,8-47,4 arasında değişmiştir (Tablo 2). Gaziantep ili Şehitkamil ilçesi antepfıstığı bahçe topraklarının %24,3'ü kil, %16,2'si killi tın, %2,7'si tın, %48,6'sı kumlu killi tın ve %8,2'si ise kumlu tın olmak üzere 5 farklı bünye sınıfına girmiştir (Tablo 2).

Şahinbey Bölgesinden kuru tarım yapılan 18 bahçeden alınan toprak örneklerinde (0-30 cm) kum içeriği %18,6-74,6, kil içeriği %9,8-58,6 ve silt içeriği %15,3-31,9 arasında değişmiştir. Toprakların %55,6'sı kil, %11,1'i killi tın, %11,1'i kumlu killi tın ve %22,2'si ise kumlu tın olmak üzere 4 farklı bünye sınıfına girmiştir (Tablo 2).

Araban bölgesinden alınan 17 toprağın kum içeriği %21,1-58,7, kil içeriği %22,7-59,4 ve silt içeriğinin %16,6-34,6 arasında değiştiği, toprak tektürünün %71,2'si killi, %11,1'i killi tın ve %17,7'si kumlu killi tın olmak üzere 3 farklı bünye sınıfında yer aldığı bulunmuştur.

Yavuzeli'nden alınan 19 bahçeden alınan toprak örneklerinin kum içeriğinin %18,4-39, kil içeriğinin %28-56 ve silt içeriğinin %23-35 arasında değişmiş olup (Tablo 2), toprak bünyelerinin %68,4'ü killi, %26,3'ü killi tın ve %5,3'ü kumlu killi tın olmak üzere 3 farklı bünye sınıfında yer almıştır.

Oğuzeli'nden alınan 21 bahçeden alınan toprak örneklerinin kum içeriğinin %21,7-55, kil içeriğinin %20,9-60,9 ve silt içeriğinin %12-38 arasında değişmiş olup (Tablo 2), toprak tektürlerinin %33,3'ü killi, %23,8'i killi tın, %4,8'i kumlu tın ve %38,1'i kumlu killi tın olmak üzere 4 farklı bünye sınıfında yer almıştır.

Karkamış'tan alınan 34 bahçeden alınan toprak örneklerinin kum içeriğinin %15,5-67,1, kil içeriğinin %15,3-55,3 ve silt içeriğinin %19,8-35,7 arasında değiştiği (Tablo 2), toprak bünyelerinin %38,2'si killi, %20,6'sı killi tın, %2,95'i kumlu kil, %2,95'i kumlu tın ve %35,3'ü kumlu killi tın olmak üzere 5 farklı bünye sınıfında yer aldığı belirlenmiştir.

Nizip İlçesinden 69 bahçeden alınan toprak örneklerinin kum içeriğinin %14,4-51,1, kil içeriğinin %26,6-69,1 ve silt içeriğinin %4,5-48,5 arasında değişmiş olup (Tablo 2), toprak bünyesinin %69,6'sı killi, %14,5'i killi tın, ve %15,9'u kumlu killi tın olmak üzere 3 farklı bünye sınıfında yer almıştır (Tablo 2).

Genel olarak çalışma alanı topraklarının kum içeriği %14-76, kil içeriğinin %9,8-69,1 ve silt içeriğinin %4,5-48,5 arasında değişmiştir. Toprak bünyesinin %51,96'sı killi, %18,1'i killi tın, %0,5'i tınlı, %0,5'i kumlu kil, %25,1'i kumlu killi tın ve %4,2'si de kumlu tın sınıfında yer almak üzere toplan 6 bünye sınıfında yer almıştır (Tablo 2). Gaziantep'te yürütülen çalışmada toprakların 4 farklı tektür sınıfında yer aldığını bildirmişlerdir (Karaduman ve Çimrin 2016 ve Bozgeyik ve Çimrin 2020). Keleş

ve Çimrin 2020’de yaptıkları bir araştırmada toprakların 3 farklı bünyede olduğunu (killi, siltli killi tın ve killi tın) bildirmişlerdir. Benzer bir çalışmada, araştırma alanı topraklarının %1,2’si kumlu, tınlı kum; %31,5’i kumlu tın, kumlu killi tın; %26,1’i killi tın, tın; %3’ü siltli, kumlu kil; %38,2’si siltli kil, sınıfına girdiğini bildirmişlerdir (Karaduman ve Çimrin, 2016).

### 3.2. Toprak reaksiyonu

Çalışma alanından alınan toprak örneklerinin pH’sı Şehitkamil ilçesinde 7-7,9, Şahinbey ilçesinde 7,5-7,9, Araban’da 7,4-8, Yavuzeli’nde 7,7-7,9, Oğuzeli’nde 7,5-8,2, Karkamış’ta 7,6-8, Nizip’te 7,4-8 arasında değişirken tüm çalışma alanının genelinde 7-8,2 arasında değişmiştir (Tablo 2). Toprak örneklerinde yapılan pH analiz sonuçlarına göre alınan örneklerin tamamında pH’ları Tüzüner (1990)’in verdiği sınıflandırmaya göre hafif alkaliden kuvvetli alkaliye doğru olduğu görülmüştür. Toprakların %89,8’i hafif alkalın, %10,2’si kuvvetli alkali özellik göstermektedir (Tablo 3). Topraklarda bulunan besin elementlerinin bitki tarafından alınması ve toprakların bitkiye besin maddesi sağlama gücü; toprak pH’sı, yakından ilişkilidir (Özyazıcı ve ark., 2013). Bu nedenle toprak özelliklerinin bilinmesi bitkilerin besin ihtiyacını ve bu ihtiyacın yeterlilik düzeyinin belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Benzer şekilde yapılan bir çalışmada Gaziantep topraklarının pH değerleri 7,01 ile 8,40 arasında (Karaduman ve Çimrin, 2016), diğer bir çalışmada ise pH içeriği örneklerde ortalama 8,01 (Kızılgöz ve ark., 2009) farklı bir çalışmada ise bölge topraklarının pH’sının 6,9-8,0, olarak belirlenmiştir (Saltalı ve ark.,2020).

**Tablo 2.** Toprak örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

	Kum	Kil	Silt	pH	EC	CaCO <sub>3</sub>	Organik madde	P	K
		%			dSm <sup>-1</sup>	%		mg kg <sup>-1</sup>	
<b>Şehitkamil</b>									
Min.	14,0	12,2	11,8	7,0	0,3	1,1	0,6	1,4	40,0
Max	76,0	48,2	47,4	7,9	0,9	50,0	2,6	84,4	1250,0
Ort.	39,0	31,6	29,4	7,6	0,5	29,6	1,6	22,3	340,5
Std. sapma	11,0	8,5	6,5	0,2	0,2	18,3	0,5	17,8	241,0
<b>Şahinbey</b>									
Min.	18,6	9,8	15,3	7,5	0,3	6,0	0,6	1,2	95,0
Max	74,6	58,6	31,9	7,9	1,0	43,2	4,2	21,9	1025,0
Ort.	39,7	37,2	23,1	7,8	0,7	23,3	1,5	7,9	403,9
Std. sapma	16,8	14,5	4,4	0,1	0,2	10,8	0,8	6,1	242,3
<b>Araban</b>									
Min.	21,1	22,7	16,6	7,4	0,4	1,6	0,7	6,9	355,0
Max	58,7	59,4	34,6	8,0	1,2	34,7	2,7	98,0	1175,0
Ort.	32,6	40,7	26,7	7,9	0,8	15,0	1,6	19,3	609,3
Std. sapma	9,6	11,2	6,2	0,1	0,2	11,3	0,6	21,9	189,5
<b>Yavuzeli</b>									
Min.	18,4	28,0	23,0	7,7	0,7	3,6	0,8	4,4	473,4
Max	39,0	56,0	35,0	7,9	1,4	42,1	4,5	63,7	989,2
Ort.	26,1	45,3	28,6	7,8	1,0	19,0	1,5	14,1	692,6
Std. sapma	6,8	9,0	3,9	0,1	0,2	9,6	0,9	13,1	149,0
<b>Oğuzeli</b>									
Min.	21,7	15,3	19,8	7,5	0,3	10,6	0,7	1,8	235,3
Max	55,0	55,3	35,7	8,2	1,4	47,9	2,4	39,5	1134,1

Ort.	36,6	36,5	26,8	7,8	0,8	36,1	1,4	11,0	637,0
Std. sapma	11,3	12,2	4,7	0,1	0,4	10,5	0,5	8,8	218,9
<b>Karkamış</b>									
Min.	15,5	20,9	12,0	7,6	0,3	23,6	0,8	5,2	107,6
Max	67,1	60,9	38,0	8,0	1,3	48,4	2,3	40,6	855,8
Ort.	35,5	38,2	26,3	7,8	0,8	40,2	1,2	14,9	476,1
Std. sapma	11,6	11,5	5,7	0,1	0,3	5,2	0,4	8,4	285,9
<b>Nizip</b>									
Min.	14,4	26,6	4,5	7,4	0,2	1,9	0,2	3,8	120,0
Max	51,1	69,1	48,5	8,0	1,3	50,0	3,7	126,1	1347,1
Ort.	28,8	44,9	26,3	7,7	0,7	34,9	1,4	24,4	432,3
Std. sapma	9,9	11,0	6,8	0,1	0,3	12,6	0,6	20,6	227,5
<b>Genel ortalama</b>									
Min.	14,0	9,8	4,5	7,0	0,2	1,1	0,2	1,2	40,0
Max	76,0	69,1	48,5	8,2	1,4	50,0	4,5	126,1	1347,1
Ort.	33,4	39,8	26,8	7,7	0,7	31,0	1,4	18,5	478,1
Std. sapma	11,8	11,9	6,1	0,2	0,3	14,4	0,6	17,1	254,7

### 3.3. Suda eriyebilir toplam tuz

Toprak örneklerinde saturasyon çamurunda ölçülen EC değerleri Şehitkamil ilçesinde 0,3-0,9 dSm<sup>-1</sup>, Şahinbey İlçesinde 0,3-1 dSm<sup>-1</sup>, Araban'da 0,4-1,2 dSm<sup>-1</sup>, Yavuzeli'nde 0,7-1,4 dSm<sup>-1</sup>, Oğuzeli'nde 0,3-1,4 dSm<sup>-1</sup>, Karkamış'ta 0,3-1,3 dSm<sup>-1</sup>, Nizip'te 0,2-1,3 dSm<sup>-1</sup>, olarak değişmiş İl genelinde 0,2-1,4 dSm<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir (Tablo 2). Richards (1954) tarafından belirlenen sınır değerlere göre toprakların tamamı tuzsuz sınıfta yer almıştır (Tablo 3). Bölge topraklarında yapılan bir çalışmada toprakların tuz içeriğinin %0,03-0,07 arasında (Tunç ve Özkan, 2010). Bellitürk ve ark., 2019 tarafından yapılan başka bir çalışmada derinlikler bağlı olarak 1,24-3,22 dSm<sup>-1</sup> arasında değiştiği belirlenmiştir.

### 3.4. Karbonat

Toprakların kireç içeriği Şehitkamil'de %1,1-50, Şahinbey'de %6-43,2, Araban'da %1,6-34,7, Yavuzeli'nde %36-42,1, Oğuzeli'nde %10,6-47,9, Karkamış'ta %23,6-48,4, Nizip'te 1,9-50, Gaziantep ili genelinde ise %1,1-50 arasında değişmiştir (Tablo 2). Ülgen ve Yurtsever (1995)'in bildirdiği sınır değerlere göre sınıflandırıldığında toprakların %8,4'ü kireçli (1-5), %9,3'ü orta kireçli (5-15), %14,4'ü fazla (15-25), %67,9'u çok fazla (>25) kireçli sınıfı arasında değişkenlik göstermektedir (Tablo 3). Farklı ana materyal üzerinde oluşmuş toprakların verimlilik durumlarının değerlendirilmesi amacıyla yapılan çalışmada; kireçtaşı ana materyali üzerinde bulunan toprakların pH'sı hafif alkalin, kireç içerikleri yüksek olduğunu (Şenol ve ark., 2020), yarı kurak iklim koşullarına sahip topraklarda bazaltik topraklarda kireç içeriğinin düşük olduğunu bildirmişlerdir (Yüstra ve ark., 2021). Farklı bir çalışmada ise bazaltik ana materyal üzerinde oluşan toprakların kireç içeriğinin yüzeyde %0,20 iken derinde bir miktar artarak %2,67 olduğu belirlenmiştir (Ekberli ve Dengiz, 2017).

### 3.5. Organik Madde

Toprakların organik madde miktarı Şehitkamil’de %0,6-2,6, Şahinbey’de %0,6-4,2, Araban’da %0,7-2,7, Yavuzeli’nde %0,8-4,5, Oğuzeli’nde %0.-2,4, Karkamış’ta %0,8-2,3, Nizip’te %0,3-3,7, Gaziantep ili genelinde ise %0,2-4,5 arasında değişmiştir (Tablo 2). Ülgen ve Yurtsever (1995)’in bildirdiği sınır değerlerine göre sınıflandırıldığında toprakların organik madde içeriği %20’sinin çok az (<1), %64,7’sinin az (1-29), %13,5’inin orta (2-3), %0,9’unun iyi (3-4), %0,9 unun yüksek (>4) olduğu belirlenmiştir (Tablo 3). Gaziantep’te yetiştirilen Antep fıstığı bahçelerinde yapılan bir araştırmada %90’ının organik madde içeriği yetersiz olarak bulunduğu bildirilmiştir (Bozgeyik ve Çimrin, 2020). Yapılan bir çalışmada, farklı kökenlerden gelen organik materyallerin düzenli ve etkin bir biçimde kullanılması ile toprak özelliklerinin iyileştirilebileceği belirlenmiştir (Alagöz ve ark., 2006).

### 3.6. Alınabilir Fosfor

Toprakların yarayışlı fosfor içeriği Şehitkamil’de 1,4-84,4 mg kg<sup>-1</sup>, Şahinbey’de %1,2-21,9 mg kg<sup>-1</sup>, Araban’da 6,9-98 mg kg<sup>-1</sup>, Yavuzeli’nde 4,4-63,7 mg kg<sup>-1</sup>, Oğuzeli’nde 1,8-39,5 mg kg<sup>-1</sup>, Karkamış’ta 5,2-40,6 mg kg<sup>-1</sup>, Nizip’te 3,8-126,1 mg kg<sup>-1</sup>, Gaziantep ili genelinde ise 1,2-126,1 mg kg<sup>-1</sup> arasında değişmiştir (Tablo 2). Olsen ve Sommers (1982)’in bildirdiği sınır değerlere göre toprakların %3,2’si çok az (<2.5), %18,1’i az (2,5-8), %59,5’i orta (8-25), %17,3’ü yeterli (25-80), %1,9’u fazla (>80) olarak belirlenmiştir (Tablo 3). Fosfor (P), enerji üretimi, nükleik asit sentezi, fotosentez, glikoliz, solunum, membran sentezi ve stabilitesi, enzim aktivasyonu/inaktivasyonu, redoks reaksiyonları, sinyalizasyon, karbonhidrat metabolizması ve nitrojen fiksasyonu dahil olmak üzere bir dizi süreçte rol oynar. Bu nedenle asimilasyonu, depolanması ve metabolizması bitki büyümesi ve gelişmesi için çok önemlidir (Vance, Uhde-Stone ve Allan 2003). P tarımsal üretim için en önemli temel elementlerden biridir. P’den yoksun veya marjinal yetersiz alanlara mutlaka gübreleme yapılmalıdır (Vassilev ve ark., 2001; Besharati ve ark., 2003).

### 3.7. Değişebilir Potasyum

Toprakların değişebilir K içeriği Şehitkamil’de 40-1250 mg kg<sup>-1</sup>, Şahinbey’de 95-1025 mg kg<sup>-1</sup>, Araban’da 355-1175 mg kg<sup>-1</sup>, Yavuzeli’nde 473.4-989,2 mg kg<sup>-1</sup>, Oğuzeli’nde 235,3-1134,1 mg kg<sup>-1</sup>, Karkamış’ta 107,6-855,8 mg kg<sup>-1</sup>, Nizip’te 120-1347,1 mg kg<sup>-1</sup>, Gaziantep ili genelinde ise 40-1347,1 mg kg<sup>-1</sup> arasında değişmiştir (Tablo 2). Sumner ve Miller (1996)’in bildirdiği sınır değerlere göre toprakların %0,4’ü çok az (<50), %8,4’ü az (50-140), %31,2’si yeterli (140-370), %57,2’si fazla (370-1000), %2,8’i çok fazla (>1000) olduğu belirlenmiştir (Tablo 3). Kuru tarım yapılan bahçelerde yaygın olarak azotlu ve fosforlu gübreler kullanılmasına rağmen bu alanlarda K gübreleri, göz ardı edilmektedir (Jalali and Zarabi, 2006). Bu nedenle Topraklarda potasyum düzeyinin 200 mg kg<sup>-1</sup> altında olduğu yerlerde potasyum gübrelemesi yapılması gerektiğini bildirmişlerdir (Hosseiniyafard ve ark., 2010). Fıstık ağaçlarının yüksek bir K talebi vardır ve yıllık topraktan kaldırılan K, N kadardır

(Rosecrance ve ark.,1996). Fındık doldurma sırasında yıllık organlarda potasyum birikimi açık-yıldaki süre kapalı yıllara göre beş kat daha fazla olduğundan açık ve kapalı yıllarda gübrelemeye özen gösterilmelidir. (Picchioni ve ark.,1997).

**Tablo 3.** Toprakların sınır değerlere göre durumu ve dağılımı

Analizler	Birim	Sınır		Örnek	
		Değeri	Değerlendirme	sayısı	%
pH (Tüzüner, 1990)	SÇ	<4,0	Çok kuvvetli asit	-	-
		4,0-4,9	Kuvvetli asit	-	-
		5,0-6,0	Orta derecede asit	-	-
		6,0-6,9	Hafif asit	-	-
		7,0	Nötr	-	-
		7,0-7,9	Hafif alkali	193	89,8
		8,0-8,9	Kuvvetli alkali	22	10,2
		9,0	Çok kuvvetli alkali	-	-
Elektriksel İletkenlik (EC) (Richards, 1954)	dSm <sup>-1</sup>	0-4	Tuzsuz	215	100
		4-8	Hafif tuzlu	-	-
		8-15	Orta derecede tuzlu	-	-
		>15	Çok fazla tuzlu	-	-
Organik Madde (Ülgen ve Yurtsever, 1995)	%	<1	Çok az	43	20
		1 – 2	Az	139	64,7
		2 – 3	Orta	29	13,5
		3 – 4	İyi	2	0,9
		>4	Yüksek	2	0,9
Kireç (Ülgen ve Yurtsever, 1995)	%	< 1	Az kireçli	-	-
		1 – 5	Kireçli	18	8,4
		5 – 15	Orta	20	9,3
		15 – 25	Fazla	31	14,4
		>25	Çok fazla	146	67,9
Alınabilir P Olsen ve Sommers (1982)	mg kg <sup>-1</sup>	<2,5	Çok az	7	3,2
		2,5-8,0	Az	39	18,1
		8,0-25	Orta	128	59,5
		25-80	Yeterli	37	17,3
		>80	Fazla	1	1,9
Alınabilir K Sumner ve Miller (1996)	mg kg <sup>-1</sup>	<50	Çok az	1	0,4
		50-140	Az	18	8,4
		140-370	Yeterli	67	31,2
		370-1000	Fazla	123	57,2
		>1000	Çok fazla	6	2,8

### 3.8. Toprak örneklerinin bazı özellikleri ve bitki besin maddeleri arasındaki ilişkiler

Araştırma alanından alınan toprak örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile makro besin elementleri arasındaki ilişkiler Tablo 4’de verilmiştir, Tablo 4’ün incelenmesinden de anlaşılacağı gibi Toprakların kil içerikleri ile kum arasında ( $r: -0,9206^{**}$ ), Ekberli ve Dengiz 2017’de yürüttükleri çalışmada kil ve kum arasında yüksek düzeyde negatif ilişki olduğunu ve kil ve kum miktarının bu durumu etkilediğini bildirmişlerdir. Organik madde ile kireç arasında ( $r:0,7836^*$ ) pozitif önemli ilişkiler belirlenmiştir. Hatay İlinde yapılan bir çalışmada benzer şekilde organik madde ve kireç arasında negatif ilişkiler belirlenmiştir (Yeter ve Yalçın, 2020).

**Tablo 4.** Bazı toprak özellikleri ve alınabilir besin maddeleri arasındaki korelasyon katsayıları (r)

	Kum	Kil	Silt	pH	EC	CaCO <sub>3</sub>	Organik Madde	P
Kil	-0,9206**							
Silt	-0,3286	-0,0662						
pH	-0,2088	0,3962	-0,4290					
EC	-0,6699	0,7093	-0,0094	0,7119				
CaCO <sub>3</sub>	0,2540	-0,2606	-0,0244	-0,4171	-0,2811			
Organik Madde	0,0425	-0,1496	0,2572	-0,1075	-0,2592	-0,7836*		
P	-0,3394	0,1379	0,5404	-0,5010	-0,4076	0,0759	0,2050	
K	-0,5736	0,5174	0,2043	0,6870	0,8830**	-0,3487	-0,0076	-0,3095

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Çalışma alanı toprakların bünyesi %51,96'sı killi, %18,1'i killi tın, %0,5'i tınlı, %0,5'i kumlu kil, %25,1'i kumlu killi tın ve %4,2'si de kumlu tın sınıfında yer almak üzere toplan 6 bünye sınıfında yer almıştır. Toprak pH'sı nötr ve hafif alkali arasında değişmiş olup tamamı tuzsuz topraklardır, organik madde bakımından toprakların %98'i yetersiz olarak belirlenmiştir, Kireç içeriği kireçli, orta, fazla ve çok fazla sınıfında yer almıştır, Yararlı P düzeyi toprakların %80,9'unda yetersiz olduğu belirlenmiştir, Alınabilir K içeriği ise %91,2'sinde ise yeterli olduğu belirlenmiştir.

#### Teşekkür

Bu çalışma, 27-30 Eylül 2022 tarihlerinde Eğirdir/Isparta'da düzenlenen Ulusal Meyvecilik Sempozyumunda sunulmuştur.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

#### Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

#### Kaynaklar

- Alagöz Z., Yılmaz E., Öktüren F. Organik materyal ilavesinin bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri üzerine etkileri. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2006; 19(2): 245-254.
- Bellitürk K., Kuzucu M., Baran MF., Çeli A. Antep fıstığında (*Pistacia Vera* L.) kuru koşullarda gübrelemenin verim ve kaliteye etkileri. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi 2019; 16(2): 251-259.
- Besharati H., Noorgholipour F., Malakouti MJ. Khavazi, K., Lotfollahi M., Ardakani MS. Direct application of phosphate rock to Iran calcareous soils, In Direct application of phosphate rock and

- related appropriate technology-latest development and practical experiences. Proceedings of an International Meeting, Kuala Lumpur, Malaysia, 16-20 July, 2001 (pp, 277-279), IFDC-An International Center for Soil Fertility and Agricultural Development 2003.
- Bouyoucous GJ. A recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal* 1951;43: 434-438.
- Bozgeyik T., Çimrin KM. Gaziantep ili Nizip ilçesi antepfıstığı ağaçlarının yaprak ve toprak örnekleri ile beslenme durumunun belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi* 2020; 23(3): 722-732.
- Ekberli İ., Dengiz O. Bazalt ana materyali ve farklı topografik pozisyonlar üzerinde oluşmuş toprakların bazı topografik ve fiziko-kimyasal özellikleri arasındaki doğrusal regresyon modellerinin belirlenmesi, *Toprak Su Dergisi* 2017; 6(1): 15-27.
- Hızalan E, Ünal H. Topraklarda önemli kimyasal analizler. A, Ü, Ziraat Fak, Yayınları 1966; 278.
- Hosseinfard SJ., Khademi H., Kalbasi M. Different forms of soil potassium as affected by the age of pistachio (*Pistacia vera* L.) trees in Rafsanjan, Iran. *Geoderma* 2010; 155(3-4): 289-297.
- Jackson M. Soil chemical analysis. Prentice-Hall 1958.
- Jalali M., Zarabi V., Kinetics of nonexchangeable potassium release and plant response in some calcareous soils. *J, Plant Nutr, Soil Sci* 2006; 169: 196–204.
- Karaduman A., Çimrin KM. Gaziantep yöresi tarım topraklarının besin elementi durumları ve bunların bazı toprak özellikleri ile ilişkileri. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi* 2016; 19(2): 117-129.
- Keleş Uzel N., Çimrin KM. Gaziantep ili Nizip ilçesi zeytin bahçelerinin yaprak ve toprak örnekleri ile beslenme durumunun belirlenmesi. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi* 2020; 23(3): 722-732.
- Kızılgöz İ., Tutar E., Sakin E. Bozovada yaygın olarak yetiştirilen antepfıstığı (*Pistacia vera* L.) ağaçlarının beslenme durumu. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2009; 4(1): 10-15.
- Lindsay WL., Norvell WA. Development of a DTPA soil test for Zn, Fe, Mn, and Cu. *Soil Science Society of American Journal* 1978; 42: 421-428,
- MGM. Meteoroloji Genel Müdürlüğü İklim verileri 2021: Ankara
- Olsen SR., Cole CV., Waterable FS., Dean LA. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USPA* 1954; Circular No: 939, Washington D,C,
- Olsen SR., Sommers LE. Phosphorus, Pp,539- 579, In: Page, L, A., R,H, Miller and D,R, Keeney, ed, *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy 1982.
- Özyazıcı A., Aydoğan M., Bayraklı B., Dengiz O. Doğu Karadeniz Bölgesi kırmızı-sarı podzolik toprakların temel karakteristik özellikleri ve verimlilik durumu. *Anadolu Tarım Bilim Derg*, 2013; 28(1): 24-32.

- Özyurt C. Halfeti ve Birecik'te antep fıstığı (*Pistacia vera* L.) yetiştirilen topraklarda ve yaprakta demir noksanlığının belirlenmesi. Doktora Tezi 2016.
- Picchioni GA., Brown PH., Weinbaum SA., Muraoka TT. Macronutrient allocation to leaves and fruit of mature, alternate-bearing pistachio trees: magnitude and seasonal patterns at the whole canopy level. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 1997;122: 267–274.
- Pratt PF. Potassium, method of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, 2nd, Ed, A, L, Page, Amer, Soc, of Argon, Inc, Pub, Argon, Series No: 9 1965.
- Pyke DA., Chambers JC., Pellant M., Knick ST., Miller RF., Beck JL., McIver JD. Restoration handbook for sagebrush steppe ecosystems with emphasis on greater sage-grouse habitat—Part 1. Concepts for understanding and applying restoration. 2015.
- Richards LA. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *LWW1954*; 78(2): 154.
- Rosecrance RC., Weinbaum SA., Brown PH. Assessment of nitrogen, phosphorus, and potassium uptake capacity and root growth in mature alternate-bearing pistachio (*Pistacia vera*). *Tree Physiol*, 1996; 16: 949–956.
- Saltalı K., Güneş E., Bilir B. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde antep fıstığı yetiştirilen bazı alanların topraklarında borun (b) kimyasal fraksiyonları ve toprak özellikleri ile ilişkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi* 2020; 23(6): 1656-1662.
- Sumner ME., Miller WP. Cation exchange capacity and exchange coefficients, In: Sparks, D,L, (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods*, SSSA Book Series No, 5, ASA, Madison, WI. 1996; pp, 1201–1229.
- Şenol H., Alaboz P., Dengiz O. Farklı ana materyal üzerinde oluşmuş toprakların fiziko-kimyasal ve besin elementi içeriklerinin enterpolasyon yöntemle değerlendirilmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi* 2020; 35(3): 505-516.
- TÜİK. Bitkisel üretim değerleri. Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara 2021.
- Tunç E., Özkan A. Gaziantep'in tarım topraklarında erozyon sorunu ve bu konuda çiftçi eğitimi. *Erzincan University Journal of Science and Technology* 2010; 3(2): 143-153.
- Turan MA., Katkat AV., Özsoy G. Taban S. Bursa ili alüvyal tarım topraklarının verimlilik durumları ve potansiyel beslenme sorunlarının belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 2010; 24(1): 115-130.
- Tüzüner A. Toprak ve su analiz laboratuvarları el kitabı. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara 1990.
- Ülgen AN., Yurtsever N. Türkiye gübre ve gübreleme rehberi. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü 1995.
- Ülgen N., Ateşalp M. Toprakta bitki tarafından alınabilir fosfor tayini. Köy İşleri Bakanlığı, Topraksu Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü, Teknik Yayınlar Serisi 1972; 21.
- Vance CP., Uhde-Stone C., Allan DL. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist* 2003; 157:423–447.



- Vassilev N., Vassilev M., Fenice M., Federici F. Immobilized cell technology applied in solubilization of insoluble inorganic (rock) phosphate and P plant acquisition, *Bioresour, Technol* 2001; 79: 263–271.
- Yavuz MA., Yıldırım H., Onay A. Dünya antepfıstığı üretiminde son on yılın değerlendirilmesi. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 2016; 6(2/2): 22-31.
- Yeter K., Yalçın M. Hatay ili Kırıkhan-Kumlu bölgesi topraklarının pH, kireç ve organik madde içeriklerinin belirlenmesi. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences* 2020; 4(2): 285-293.
- Yüstra İ., Bilgili AV., Gündoğan R. Farklı ana materyal üzerinde oluşmuş toprakların adli bilim için VNIRS tekniği ile spektral karakterizasyonu ve özelliklerinin tahmin edilmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi* 2021; 25(4): 497-513.

## Fotoelektrokimyasal Yolla Hidrojen Gazı Üretiminde Kullanılan $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3$ Fotoelektrodunun $\text{RuO}_2$ İle Katalitik Etkinliğinin Artırılması

Fatih TEZCAN<sup>1,2\*</sup>, Meltem KAHYA DÜDÜKCÜ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tarsus University, Department of Chemistry and Chemical Process Technology, Vocational School of Technical Sciences at Mersin Tarsus Organized Industrial Zone, Mersin, Türkiye

<sup>2</sup>Mersin University, Chemistry Department, Arts and Sciences Faculty, Mersin, Türkiye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-7656-3529>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-4523-1825>

\*Sorumlu yazar: fatihtezcan@tarsus.edu.tr

### Araştırma Makalesi

### ÖZ

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 19.09.2022

Kabul tarihi: 04.01.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Hidrojen gazı üretimi

Yarı iletken

Fotoelektrot

Heteroyapılı elektrot

Fotoelektrokimyasal su ayrıştırma

Bu çalışmada, suyun ayrıştırılmasında fotokatalitik özelliğe sahip  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3$  n-p ikili fotoelektrodun üzerine oksijen oluşum reaksiyonunda (OER) katalitik özellik gösteren  $\text{RuO}_2$  dönüşümlü voltametri (DV) tekniği kullanılarak farklı döngülerde (2, 5, 7 ve 10) katkılanmıştır. Farklı döngülerde sentezlenen  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  elektrotlarının karakterizasyonu taramalı elektron mikroskobu (SEM), X-ışını kırınımı (XRD) ve UV-vis spektrometresiyle gerçekleştirilmiştir. Suyun fotoelektrokimyasal ayrıştırılmasıyla hidrojen gazı üretiminde fotokatalitik performanslar doğrusal tarama voltametrisi (LSV), elektrokimyasal impedans spektroskopisi (EİS) ve kronoamperometrik ölçümlerle gerçekleştirilmiştir. EİS ölçümü,  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3$  ( $413,1 \Omega \text{ cm}^2$ ) üzerine katkılanan  $\text{RuO}_2$  ile polarizasyon direncinin azalttığını ve  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  elektrotları arasında en düşük polarizasyon direncinin 7 döngü sonunda elde edilen elektrotta ait olduğunu ( $R_p$   $102,8 \Omega \text{ cm}^2$ ) göstermektedir. LSV ve kronoamperometrik ölçümleri,  $\text{RuO}_2$  sentezindeki DV döngüsünün artmasıyla fotoelektrodun OER katalitik aktivitesinin arttığını ancak 10 döngüden sonra  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3$  n-p ikili elektrodun katalitik performansın azaldığını göstermektedir.

## Increasing The Catalytic Efficiency with $\text{RuO}_2$ of $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3$ Photoelectrode Used in The Photoelectrochemical Production of Hydrogen Gas

### Research Article

### ABSTRACT

#### Article History:

Received: 19.09.2022

Accepted: 04.01.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Hydrogen gas production

Semiconductor

Photoelectrode

Heterostructure

Photoelectrochemical water splitting

In this study,  $\text{RuO}_2$ , which shows catalytic property in oxygen evolution reaction (OER) on  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3$  n-p binary photoelectrode which has photocatalytic property in water separation, was doped in different cycles (2, 5, 7 and 10) by using cyclic voltammetry (CV) technique. The characterization of  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  electrodes synthesized in different cycles was performed by scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD) and UV-vis spectrometry. Photocatalytic performances in hydrogen gas production by photoelectrochemical water splitting were conducted by linear sweep voltammetry (LSV), electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and chronoamperometric measurements. The EIS measurement shows that the polarization resistance is reduced by  $\text{RuO}_2$  doped on  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3$  ( $413,1 \Omega \text{ cm}^2$ ) and that the lowest polarization resistance among the  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  electrodes belongs to the electrode obtained at the end of 7 cycles ( $102,8 \Omega \text{ cm}^2$ ). LSV and chronoamperometric measurements show that the OER catalytic activity of the photoelectrode increases with the increase of the cycle's CV in the  $\text{RuO}_2$  synthesis, but the catalytic performance of the  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3$  n-p binary

electrode decreases at the 10 cycles.

**To Cite:** Tezcan F., D d k t  MK. Fotoelektrokimyasal Yolla Hidrojen Gazı  retiminde Kullanılan BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Fotoelektrodunun RuO<sub>2</sub> İle Katalitik Etkinliğinin Artırılması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 2183-2200.

## 1. Giriş

Dünyada insan nüfusun artması, birincil enerji kaynaklarının aşırı kullanılmasına ve dolayısıyla karbondioksit salınımına neden olmaktadır. Yıllar boyunca, karbondioksit salınımıyla küresel ısınmaya neden olan enerji kaynaklarının kullanımı, 1850’li yıllarda odunla başlayıp, 1930’lu yıllarda kömüre dönüŐüp ve 2000’li yıllarda doğal gaz ile devam eden süreçten oluşmaktadır (da Silva Veras ve ark., 2017). Enerji  retiminde karbon dioksit emisyonuna neden olan bu sürecin artık yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımına geçilerek acil olarak deĐiŐmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, sıfır karbondioksit emisyonu veren hidrojen gazı üreten proseslerin tam olarak 2050’li yıllarında ger ekleŐeĐi bilim insanlarınc  düşünülmektedir (Thomas 2017; Ahmed ve Dinçer, 2019). 2017 yılında Hidrojen konseyi tarafından açıklanan bildiriye, karbon salınımının 1/3 oranında azalmasına ve Dünya’nın sıcaklığının 2 C düŐürülmesine katkı sağlayacağı ifade edilmektedir.

Güneş enerjisi, en çok bulunan ve potansiyeli en yüksek yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Güneş enerjisiyle hidrojen gazı üretimi, fosil temelli kaynaklara göre en iyi sürdürebilir  z m olarak bilim insanları tarafından düşünülmektedir (Saraswat ve ark., 2018; İkr m ve ark., 2022; Wang ve ark., 2022). Güneş enerjisi kullanarak fotoelektrokimyasal yolla hidrojen üretilmesi, ilk olarak 1974 yılında Fujishima ve arkadaşları tarafından, TiO<sub>2</sub> yarı iletkenin kullanarak fotoelektrokimyasal yolla gerçekleştirilmiştir (Fujishima ve Honda, 1972).

Bu çalışmadan günümüze kadar geçen sürede, uygun bant aralığına sahip, TiO<sub>2</sub> (Yu ve ark., 2014; Baran Aydın ve ark., 2022), WO<sub>3</sub>(Dong ve ark., 2020; Murillo-Sierra ve ark., 2021), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Li ve ark., 2020; Kyesmen ve ark., 2021), ve Cu<sub>2</sub>O (Bayat ve Sheibani, 2022; Jeong ve ark., 2022) gibi ikili oksit yarı iletkenleri son 30 yıl içerisinde yoğun olarak çalışılmıştır. TiO<sub>2</sub> ve WO<sub>3</sub> yarı iletkenleri uygun bant aralığına sahiptirler (3,1 eV ve 2,7 eV). Ancak bu iki fotoelektrodun deneysel olarak elde edilen güneş enerjisinin hidrojen gazına dönüştürme etkinliği (STH) oldukça düşüktür (% 1,5 ve % 6). Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Cu<sub>2</sub>O fotoelektrotlar ise diğer iki elektrota göre daha ucuz ve daha düşük bant aralığına sahiptirler (1,95 eV ve 2,1 eV). Buna karşın, fotokimyasal dayanıklılık göstermemeleri onların en büyük dezavantajını oluŐurmaktadır.

İkili metal oksitlerin istenilen STH değerlerine ulaŐılmamasından dolayı, son yıllarda bilim insanları çalışmalarını BiVO<sub>4</sub> (Hegner ve ark., 2017; Kalanoor ve ark., 2021), CuWO<sub>4</sub> (le Minh Tri ve ark., 2020; Baues ve ark., 2022), CaFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (Bloesser ve ark., 2020; Sugawara ve ark., 2021), LaFeO<sub>3</sub> (Jin ve ark., 2021), CuFeO<sub>2</sub> (Mao ve ark., 2022) ve Fe<sub>2</sub>TiO<sub>5</sub>(Osada ve ark., 2021) gibi çoklu yarı iletkenler üzerinde yapmaktadırlar. BiVO<sub>4</sub>, çoklu yarı iletkenler arasında suyun fotoelektrokimyasal yöntemle hidrojen gazı üretiminde, hücrenin ticarileŐmesi için gerekli olan çoğu özelliği taşımaktadır. Ayrıca, BiVO<sub>4</sub> yarı iletkeni nanoçubuk, nanoiğne, nanoçubuk gibi farklı morfolojilerde sentezlenebilmesiyle  ne çıkmaktadır (Chen ve Lin , 2019). Bununla birlikte, güneş iŐıĐından faydalabilirliği artırmak için

ikili yapılar seçilebilmektedir. Osada ve arkadaşları üç boyutlu  $\text{TiO}_2$  üzerine  $\text{BiVO}_4$  yarı iletkeni katkılayarak suyun fotoelektrokimyasal ayrıştırılmasında yüksek akım yoğunluğu verileri elde etmişlerdir (Osada ve ark., 2021). Bahsedilen bu çalışma  $\text{BiVO}_4$  ikili yapısının katalitik etkinliğinin geliştirildiği göstermektedir. Ancak,  $\text{BiVO}_4$  elektrodunun fotokimyasal dayanıklılığının geliştirilmesi gerekmektedir.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , sahip olduğu özelliği neticesinde kimyasal ve fotokimyasal olarak oldukça dayanıklı bir yarı iletkenidir.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  birçok fotokatalitik yükseltgenme tepkimelerinde tercih edilebilmektedir (Lu ve ark., 2020; Nasir ve Mat-Teridi, 2020). Aynı zamanda, Bir p-tipi  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  yarı iletkenin  $\text{BiVO}_4$  üzerine kaplanmasıyla n-p hetero yapılı  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3$  elektrodunun fotokimyasal dayanıklılığı sağlanabilmektedir (Tezcan ve ark., 2022).

$\text{RuO}_2$  yükseltgenme tepkimelerinin katalitik olarak gerçekleştirilmesinde tercih edilmektedir (Tsuji ve ark., 2016). İsmail ve arkadaşları sol-jel yöntemiyle mezo gözenekli  $\text{RuO}_2$  katalizörünü  $\text{TiO}_2$  nanopartikülünün üzerine farklı % lerde sentezleyerek fotokatalitik metanol yükseltgenme tepkimesinde katalitik performansı incelemişlerdir (İsmail ve ark., 2011). Elektrokimyasal çöktürme yöntemi, ucuz olması ve ayrıca sentezlemek istenen yüzeyde istenilen kalınlık, boyut ile morfoloji kontrol edilebilmesi gibi avantajlara sahiptir. Xiong ve çalışma arkadaşları, gözenekli Ni elektrokimyasal olarak  $\text{RuO}_2$  katalizörünü katkılayarak uzun süre katalitik tepkimede üstün dayanıklılık performansı elde etmişlerdir (Xiong ve ark., 2014). Hong ve arkadaşları polistren üzerine dönüşümlü voltametri tekniği ile  $\text{RuO}_2$  nano parküllerini başarılı sentezleyerek, arttırılan döngü sayısı ile birlikte farklı morfolojilerde  $\text{RuO}_2$  nanoparükülerinin sentezi yapmışlardır (Hong ve Yim, 2018).

Çalışma kapsamında, foto-dayanıklık kazandırılmış  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3$  üzerine OER reaksiyonunda katalitik etkinliğe sahip  $\text{RuO}_2$ 'i elektrokimyasal yöntemle sentezleyerek fotoelektrokimyasal suyun ayrıştırılmasında uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, dönüşümlü voltametri tekniğiyle sentezlenen  $\text{RuO}_2$ 'in döngü sayısının fotokatalitik suyun ayrıştırılmasındaki performansı araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$  (sitrik asit), dimetil sülfoksit (DMSO), vanadyum asetilasetonat ( $\text{VO}(\text{acac})_2$ ),  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{RuCl}_3$ , fosfat tamponu,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  kimyasalları analitik saflıkta alınarak herhangi bir saflaştırma işlemine uygulanmadan kullanılmıştır. Çalışma elektrodu olarak  $1 \text{ cm}^2$  yüzey alanına sahip indiyum doplanmış kalay oksit (ITO), karşı elektrot olarak  $2 \text{ cm}^2$  yüzey alanına sahip Pt levha ve referans elektrot olarak  $\text{Ag}/\text{AgCl}$  (3,0 M KCl) referans elektrodu kullanılmıştır. Tüm elektrokimyasal sentez ve ölçümler için geleneksel üç elektrot tekniği kullanılmıştır. Elektrokimyasal Bi film sentezinde Gamry potansiyostat/galvanostat (Interface 1000) cihazı kullanılmıştır. Elektrotların yüzey görüntüleri alan salımlı taramalı elektron mikroskobu (FESEM) (FEI Quanta 650) ile incelenmiştir.  $\text{BiVO}_4$ 'in optik özellikleri Uv-vis absorpsiyon spektrometresiyle (Thermo Scientific-Genesys 10S UV-vis) belirlenmiştir. Fotoelektrotların kristal yapıları XRD (PANalytical Model: EMPYREAN XRD) ile gerçekleştirilmiştir. Örneklerin, fotoelektrokimyasal performansları, 0,1 M  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  ve 0,1 M fosfat

tamponu içerisinde 100 mW cm<sup>-2</sup> simüle edilmiş güneş ışığı altında (Sunlight TM Solar Simulators; M-SLSS) gerçekleştirilmiştir.

2,5 cm × 7,5 cm boyutlarındaki tabanlı ITO elektrotları, 2,5 cm × 0,8 cm boyutlarında kesilmiştir. Bu boyuta getirilen ITO, ultrasonik banyoda sırasıyla 3'er dakika deterjan, teknik aseton, teknik alkol ve son olarak saf sudan geçirildikten sonra kurutulmuştur.

BiVO<sub>4</sub> sentezi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, Bi film sentezi 0,25 M HNO<sub>3</sub>, 0,1 M C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>, 5,0 mM Bi(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> çöktürme banyosunda potansiyometrik olarak 10 dakika süre ile -1,0 V uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Damla kaplama yöntemi kullanarak, bu elektrotlarının üzerine DMSO çözücüsü içerisinde çözülen 100 mM VO(acac)<sub>2</sub> 100 µL damlatılarak uygulanmıştır. Daha sonra elektrotlar 500 °C'de 2 saat bekletilmiştir. Tavlama işleminden sonra elektrot yüzeyinde oluşan V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>'in uzaklaştırılması için elektrotlar 1 saat 1,0 M NaOH çözeltisi içinde bekletilmiştir. BiVO<sub>4</sub> elektrodu saf sudan geçirilerek 40 °C'de kurutulmuştur. BiVO<sub>4</sub> üzerine Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sentezi, 3MPa basınca dayanıklı paslanmaz çelik dış gövdeli, 100 mL hacmine sahip, teflon iç gövdeden oluşan hidrotermal reaktörde gerçekleştirilmiştir. 5 mM Cr(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.9H<sub>2</sub>O ile 10 mM Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20 mL destile saf ile çözülerek çözeltinin pH değeri, 0,1 M NaOH kullanılarak 4,5 olarak ayarlanmıştır. Daha sonra etkin BiVO<sub>4</sub> elektrodunun üst kısmı yukarı gelecek şekilde çözeltiye yerleştirilmiştir. Son olarak, teflon kısmın üzeri kapatılarak paslanmaz çelik gövdenin içine yerleştirilip kapağı sıkıca kapatılmıştır. Hidrotermal reaktör, 90 °C'de 24 saat süre bekletilmiştir. Bu süre sonunda fırından çıkarılan reaktörün soğuması beklendikten sonra elektrot teflon içinden çıkarılarak saf sudan geçirilmiştir. BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> elektroduna 500 °C'de 2 saat tavlama işlemi uygulanarak RuO<sub>2</sub> doplama işlemine hazır hale getirmiştir.

Elektrokimyasal RuO<sub>2</sub> sentezi BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> elektrodu üzerine dönüşümlü voltametri kullanılarak, anodik yönde -0,2 V ile 1,2 V aralığında 50 mV s<sup>-1</sup> tarama hızında, 3, 5, 7 ve 10 döngüde gerçekleştirilmiştir. Bu elektrotlar BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> a cyc ( a döngü sayısı) şeklinde adlandırılmıştır. Fotoelektrokimyasal performans ölçümlerinde, doymuş Ag/AgCl referans elektrodu ölçülen bir çalışma elektrodu potansiyeli, Nernst denklemi kullanılarak geri dönüşümlü hidrojen elektroduna (NHE) göre ayarlanmıştır.

$$E_{NHE} = E_{Ag/AgCl} + 0,059pH + E_{Ag/AgCl}^0 \quad (1)$$

$E_{NHE}$  suyun ayrışma potansiyeli,  $E_{Ag/AgCl}$  Ag/AgCl referans elektroda göre ölçülen potansiyel,  $E_{Ag/AgCl}^0$  standard hidrojen elektroda göre standard potansiyel (0,197 V 25 °C'de 3,0 M KCl).

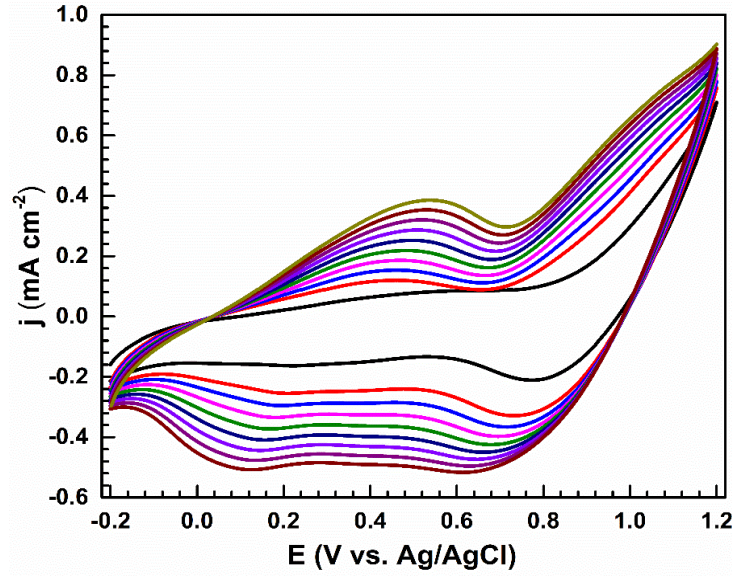
### 3. Bulgular ve Tartışma

Elektrokimyasal RuO<sub>2</sub> sentezi değişik tabanlıklar üzerine dönüşümlü voltametri kullanılarak sentezlenebilmektedir (Tsuji ve ark., 2011; Xie ve Yao, 2019; Xiong ve ark., 2014). Seçilen en etkin BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fotoelektrodunun üzerine elektrokimyasal RuO<sub>2</sub> sentezinde elde edilen dönüşümlü voltamogramı Şekil 1'de verilmektedir. Elektrokimyasal sentezi başlatmadan önce fotoelektrot 30

dakika boyunca çözeltide bekletilmiştir. Bu işlem, sulu çözeltideki Cl<sup>-</sup> iyonlarının fotoelektrodun yüzeyine adsorbe olması ve sonrasında Ru<sup>3+</sup> iyonlarının Cl<sup>-</sup> tutunmuş yüzeye gelerek iyonik etkileşimde bulunmasını sağlamaktadır (Hong ve Yim, 2018). Yüzeyinde tutunmuş Cl-Ru-Cl uygulanan potansiyel ile RuO<sub>2</sub> dönüşü gerçekleşmektedir (Lee ve ark., 2003).

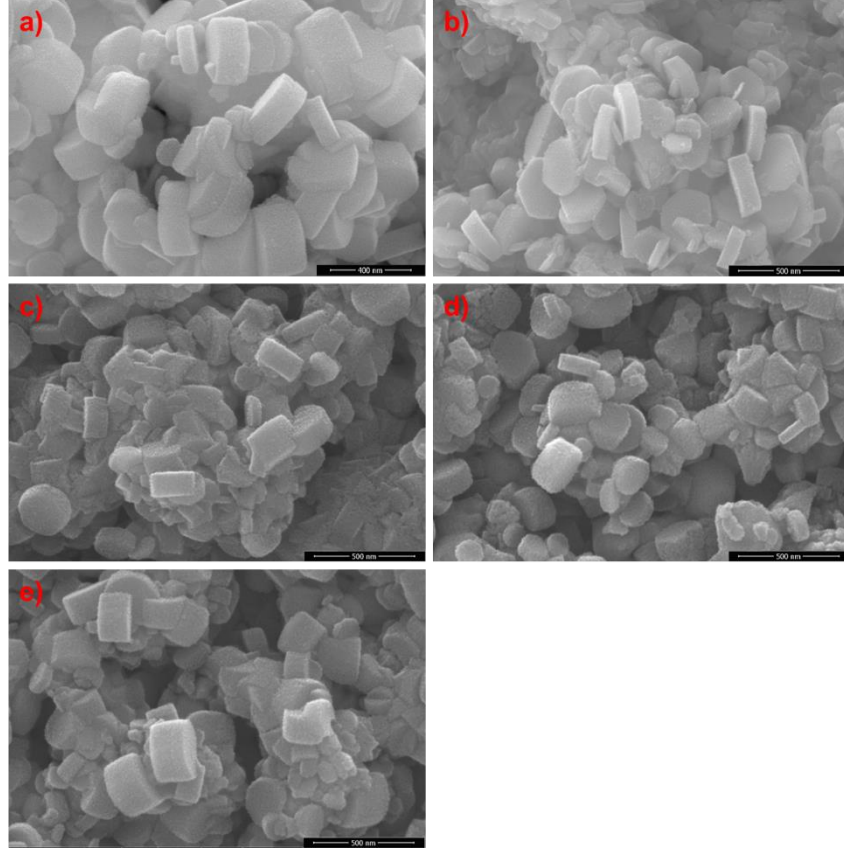


BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> çalışma elektrodu anodik yönde Ag/AgCl referans elektroduna göre -0,2 ile -1,2 V aralığında taranmıştır. İkinci döngüden sonra akım yoğunluğu değerinin anodik ve katodik yönde artması BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerinde RuO<sub>2</sub> partiküllerinin oluştuğu söylenebilir.



Şekil 1. 5,0 mM RuCl<sub>3</sub> çözeltisinde BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine RuO<sub>2</sub> çöktürülmesinde 10 döngüde elde edilen dönüşümlü voltamogramı.

BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine dönüşümlü voltametri tekniği ile RuO<sub>2</sub> çöktürülmesiyle elde edilen BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> elektrotlarının yüzey morfolojisindeki değişikliğin tespit edilmesinde SEM görüntüleri kullanılmıştır. BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve farklı döngülerde elektrokimyasal olarak sentezlenen BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> elektrotlarının SEM görüntüleri Şekil 2’de görülmektedir. BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 2 cyc elektrodunun yüzeyinde az miktarda RuO<sub>2</sub> partiküllerinin oluştuğu görülmektedir. Bununla birlikte, arttırılan döngü sayısına bağlı olarak, RuO<sub>2</sub> partiküllerinin miktarının arttığı görülmektedir. BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> elektrodunda, RuO<sub>2</sub> nanopartikülleri oksijen oluşum katalizörü olarak yüzeyde az miktarda kaplanması, güneş ışığı altında sentezlenen elektrotların yarı-iletken performansını düşürmemesi için tercih edilmiştir. Ayrıca, RuO<sub>2</sub> bileşiğinin yarı iletken olmaması güneş ışığından faydalanmayı azaltabileceği için döngü sayısı 10 ile sınırlandırılmıştır.



**Şekil 2.** BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (a), BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 2 cyc (b), BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 5 cyc (c), BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 7 cyc (d) ve BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 10 cyc (e) fotoelektrotlarının SEM görüntüsü

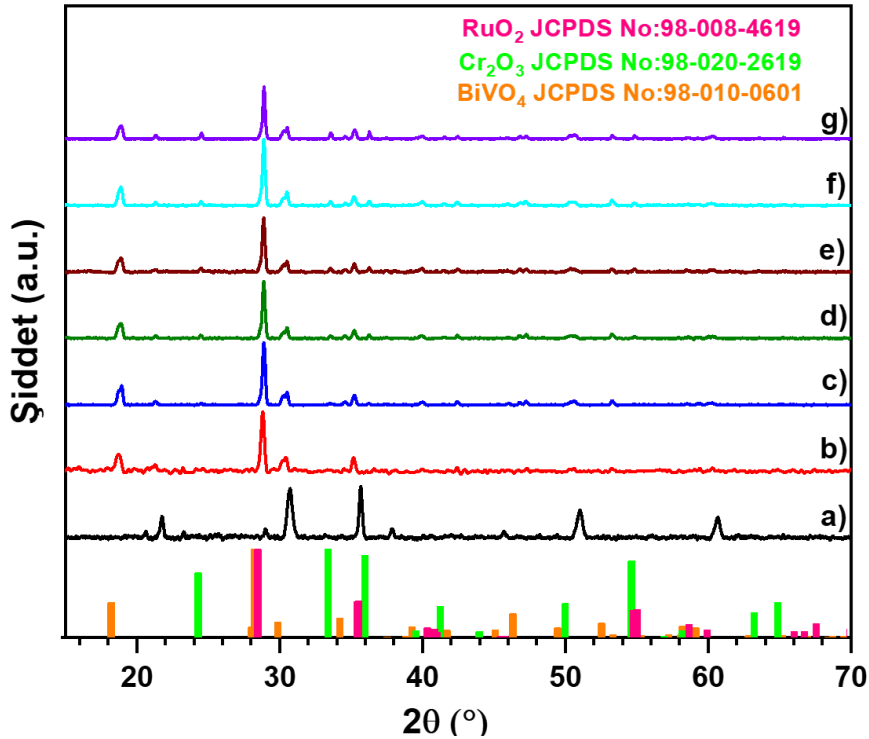
BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yüzeyinde farklı döngülerde elektrokimyasal olarak çöktürülen nano boyutlarda sentezlenen RuO<sub>2</sub> % atomik oranlarının belirlenmesinde EDS ölçümü kullanılmıştır. Fotoelektrotların elde edilen % atomik EDS sonuçları Tablo 1’de verilmektedir. Bu verilere göre, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yüzeyinde RuO<sub>2</sub>’in sentezlendiğini ve artırılan dönüşümlü voltametri döngüsüyle yüzeyde Ru miktarının yükseldiği söylenebilir.

Dönüşümlü voltametri ile farklı döngülerde elde edilen BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> elektrotlarının kristal yapılarındaki değişikliklerin incelenmesi için XRD ölçümü alınmıştır. ITO, BiVO<sub>4</sub>, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> acy elektrotları 15-70° açı aralığında alınan XRD ölçümü Şekil 3’te verilmektedir. Monoklinik kristal yapısına sahip BiVO<sub>4</sub>’in 18,82°, 28,85°, 30,45°, 34,83°, 39,88° ve 42,33° 2θ açısına karşılık gelen hkl parametreleri sırasıyla (011), (112), (004), (020), (121) ve (015) (JCPDS NO-98-010-0601) şeklindedir. En şiddetli 2θ değerleri ~18,9° ve ~28,8° olması, BiVO<sub>4</sub>’in monoklinik kristal fazında olduğunu göstermektedir (Baral ve ark., 2019; Chen ve Lin, 2019). BiVO<sub>4</sub> monoklinik kristal fazının en şiddetli 2θ değerlerinin, diğer BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve farklı döngülerdeki BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> elektrotlarında olması bu elektrotlarda herhangi bir deformasyona uğramadan bulunduğunu göstermektedir.

**Tablo 1.** Fotoelektrotların EDS sonuçları

Elektrot	Element								
	O	Si	Bi	In	Sn	V	Cr	Ru	
BiVO <sub>4</sub> /Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	56,29	21,54	4,38	8,07	1,85	6,80	1,07	-	% atomik
BiVO <sub>4</sub> /Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /RuO <sub>2</sub> 2 cyc	57,85	20,04	4,27	7,89	1,62	6,68	1,12	0,53	% atomik
BiVO <sub>4</sub> /Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /RuO <sub>2</sub> 5 cyc	58,78	19,69	3,58	8,11	1,29	6,71	1,10	0,74	% atomik
BiVO <sub>4</sub> /Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /RuO <sub>2</sub> 7 cyc	59,12	19,53	4,01	7,56	1,18	6,22	1,52	0,86	% atomik
BiVO <sub>4</sub> /Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /RuO <sub>2</sub> 10 cyc	59,55	19,99	3,79	7,40	1,01	6,07	1,29	0,90	% atomik

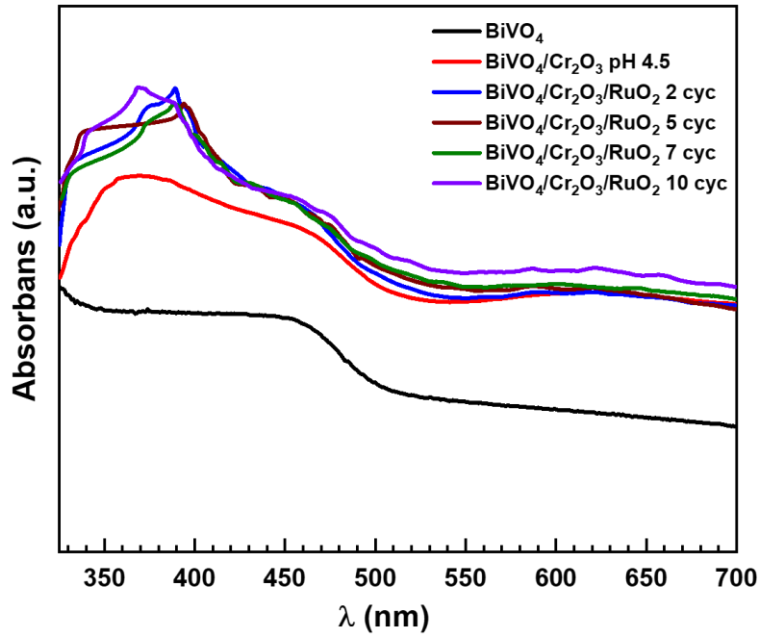
Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün hekzagonal kristal yapısına ait (JCPDS NO-98-020-2619) 2 $\theta$  değerleri; 24,5°, 33,6°, 36,4°, 39,8°, 41,6°, 50,2°, 54,9°, 63,6° ve 65,2° şeklinde verilmektedir. Bu açılara karşılık gelen hkl parametreleri (012), (104), (110), (006), (113), (024), (116), (214) ve (300)'dir. Hekzagonal fazdaki Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün en belirgin 2 $\theta$  değerleri 24,5°, 33,6° ve 34,6° şeklindedir (Sone ve ark., 2016; Wang ve ark., 2018). Dönüşümlü voltametri ile farklı döngülerde sentezlenen BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> elektrotlarının 24,5°, 33,6° ve 34,6° açılarında pik vermesi hekzagonal fazdaki Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün yapısının, RuO<sub>2</sub> sentezi sırasında korunduğu söylenebilir.



**Şekil 3.** ITO a), BiVO<sub>4</sub> b), BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> c), BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 2 cyc d), BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 5 cyc e), BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 7 cyc f) ve BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 10 cyc g) fotoelektrotlarının XRD ölçümü.



RuO<sub>2</sub>'in ortorombik kristal yapısına ait (JCPDS NO-98-008-4619), 2θ değerleri; 28,3°, 35,21°, 35,35°, 40,16°, 54,56°, 54,85°, 58,47° ve 67,39° tespit edilmektedir. Bu 2θ değerlerine karşılık gelen hkl parametreleri sırasıyla, (110), (011), (101), (020), (121), (211), (220) ve (112)'dir. Ortorombik fazındaki RuO<sub>2</sub>'in en şiddetli 2θ açıları, 28,27°, 35,35° ve 54,85°'dir. BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> elektrotlarındaki RuO<sub>2</sub> ait olan şiddetli piklerin, monoklinik BiVO<sub>4</sub>'e ait (112) ve hekzagonal yapıdaki Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün (104) ile (024) hkl parametreleriyle çakışması nedeniyle XRD ölçümünde RuO<sub>2</sub>'in şiddetli pikleri açık şekilde tespit edilememektedir. Ayrıca, literatürde yarı iletken üzerine kaplanan RuO<sub>2</sub> nanopartiküllerinin XRD ölçümünde çok fazla pik şiddeti vermediği ifade edilmektedir (Ismail ve ark., 2011; Gómez-Solis ve ark., 2016; Xie ve Yao, 2019). İlave olarak, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> elektrodunun yüzeyine az miktarda RuO<sub>2</sub> hedeflenmesi sebebiyle de şiddetli RuO<sub>2</sub> 2θ açıları pik şiddetinde fazla değişikliğe neden olmadığı söylenebilir.

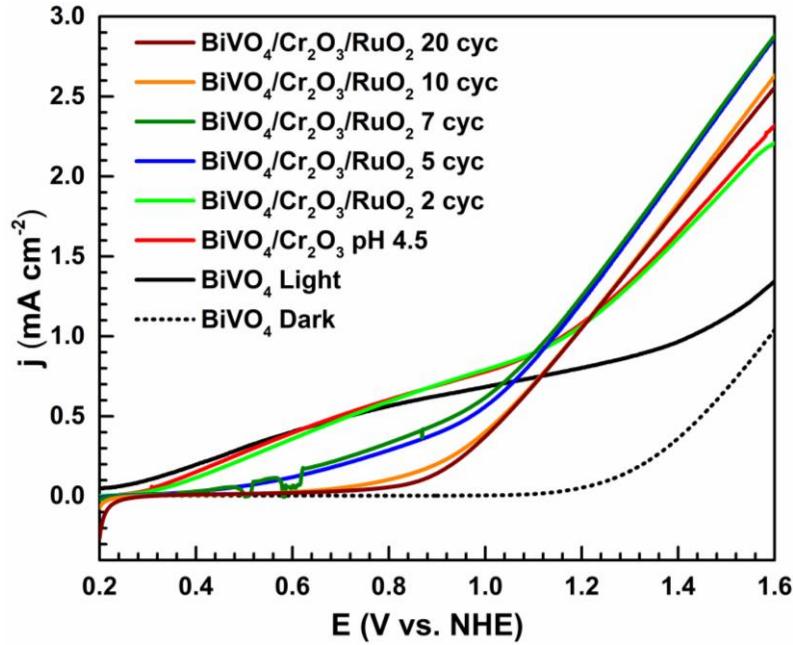


Şekil 4. BiVO<sub>4</sub>, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 2 cyc, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 5 cyc, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 7 cyc ve BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 10 cyc fotoelektrotlarının Uv-vis spektrumu.

Dönüşümlü voltametri ile farklı döngülerde elde edilen BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> elektrotlarının 320-700 nm aralığındaki ışık absorpsiyonunun nasıl değiştiğini belirlemek için Uv-vis spektrometresi kullanılmıştır. BiVO<sub>4</sub>, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 2 cyc, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 5 cyc, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 7 cyc ve BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 10 cyc elektrotlarının Uv -vis spektrumu Şekil 4'te görülmektedir. BiVO<sub>4</sub> yarı iletkenin absorpsiyon piki ~520 nm civarında verdiği görülmektedir. BiVO<sub>4</sub> üzerine Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ilavesiyle BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> elektrodu morötesi ve görünür bölgedeki absorpsiyonu sırasıyla, ~350, ~460 ve ~620 nm civarında görülmektedir. ~350 nm gerçekleşen absorpsiyon, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'in bant aralığındaki elektronik geçişinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, ~460 nm ve ~620 nm soğurma pikleri, Cr<sup>3+</sup>'ün karakteristik elektronik geçişine aittir ve sırasıyla, <sup>4</sup>A<sub>2g</sub> → <sup>4</sup>T<sub>1g</sub> ve <sup>4</sup>A<sub>2g</sub> → <sup>4</sup>T<sub>2g</sub> elektronik geçişlerini karşılık gelmektedir. Son olarak, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine farklı

döngülerde RuO<sub>2</sub> kaplanmasıyla, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> elektrotlarının görünür ve morötesi bölgesinde absorpsiyonun arttığı görülmektedir. Bu davranış literatürde, uyarılan elektron morötesi bölgesindeki emisyonu engelleyerek ve görünür bölgedeki absorpsiyonun artırdığı yorumu yapılabilmektedir (Gómez-Solís ve ark., 2016).

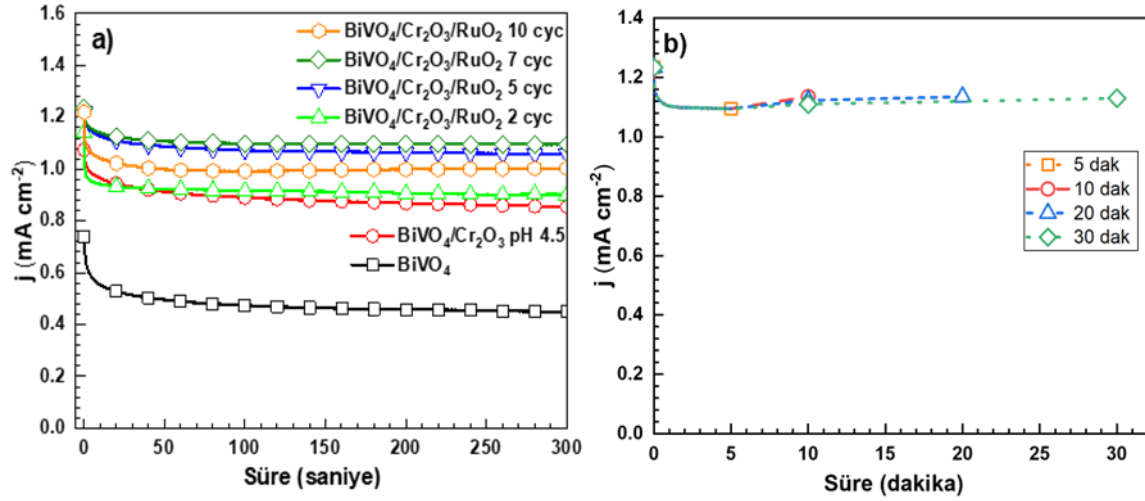
Fotoelektrotların değerlik bandı (DB) ve iletkenlik bandı (İB) arasındaki enerji seviyelerindeki fark ( $\Delta E$ ) elektron transferi için gerekli minimum foton enerjisine karşılık gelmektedir. Yarı iletkenlerin  $\Delta E$  değerleri absorpsiyon pik potansiyelinden hesaplanabilmektedir ( $\Delta E = \text{absorbans}/1240$ ). BiVO<sub>4</sub>, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 2 cyc, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 5 cyc, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 7 cyc ve BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 10 cyc elektrotlarının  $\Delta E$  değerleri sırasıyla 2,37; 2,40; 2,41; 2,37; 2,33; 2,30 eV olarak hesaplanmıştır. Bu verilere göre, BiVO<sub>4</sub> yarı iletkenin bant aralığı Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplanmasıyla  $\Delta E$  artmakta ve BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine RuO<sub>2</sub> katkılanmasıyla  $\Delta E$  azaldığı söylenebilir.



**Şekil 5.** BiVO<sub>4</sub>, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 2 cyc, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 5 cyc, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 7 cyc, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 10 cyc, ve BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 20 cyc fotoelektrotlarının 0,1 M Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>- 0,1 M fosfat tamponu içerisinde 100 mW cm<sup>-2</sup> güneş ışığı altında alınan doğrusal tarama voltamogramı.

Dönüşümlü voltametri tekniği kullanarak farklı döngülerde elde edilen BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> elektrotlarının, suyun fotoelektrokimyasal ayrıştırılmasıyla hidrojen gazı üretimindeki katalitik etkinlikleri doğrusal tarama voltametri ile 0,2 V ile 1,6 V (NHE'ye göre) aralığında 20 mV s<sup>-1</sup> tarama hızında 100 mW cm<sup>-2</sup> uyarlanmış güneş ışığı altında gerçekleştirilmiştir. BiVO<sub>4</sub>, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 2 cyc, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 5 cyc, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 7 cyc, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 10 cyc ve BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 20 cyc fotoelektrotlarının 0,1 M Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> -0,1 M fosfat tamponu içerisinde alınan doğrusal tarama voltamogramı Şekil 5'te verilmektedir. Teorik olarak suyun ayrıştırılması için gerekli olan potansiyel değeri 1,229 V'tur. BiVO<sub>4</sub>, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 2 cyc, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 5 cyc, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 7 cyc, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 10 cyc ve

$\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  20 cyc foto elektrotlarının NHE göre 1,23 V'taki akım yoğunluğu değerlerini sırasıyla,  $0,823 \text{ mA cm}^{-2}$ ,  $1,150 \text{ mA cm}^{-2}$ ,  $1,151 \text{ mA cm}^{-2}$ ,  $1,330 \text{ mA cm}^{-2}$ ,  $1,337 \text{ mA cm}^{-2}$ ,  $1,170 \text{ mA cm}^{-2}$  ve  $1,070 \text{ mA cm}^{-2}$  olarak ölçülmüştür. Bu verilere göre,  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3$  elektrokimyasal kaplanan  $\text{RuO}_2$ 'in  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3$  fotoelektrodunun OER için katalitik etkinliğinin artırdığı ifade edilebilir.  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  elektrotları arasında  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  7 cyc'in en yüksek akım yoğunluğu vermesi suyun fotoelektrokimyasal ayrıştırılmasında daha katalitik elektrot olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, döngü sayısının 10'dan 20'ye getirilmesiyle akım yoğunluğu değerinin azaldığı görülmektedir. Bu durum,  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3$  yüzeyinde daha fazla  $\text{RuO}_2$  kaplanması neticesinde elektrodun alt katmanlarını oluşturan  $\text{BiVO}_4$  ve  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  yarı iletkenlerine fotonların daha az gelmesine neden olmaktadır. Böylece,  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3$  fotoelektrodunun katalitik etkinliğinin kaybetmesinden ileri gelebilir. Bu nedenle,  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3$  yüzeyinde fazla  $\text{RuO}_2$  katmanının katalitik etkinliği azalttığı sebebiyle daha fazla döngüde  $\text{RuO}_2$  sentez yapılmamıştır.

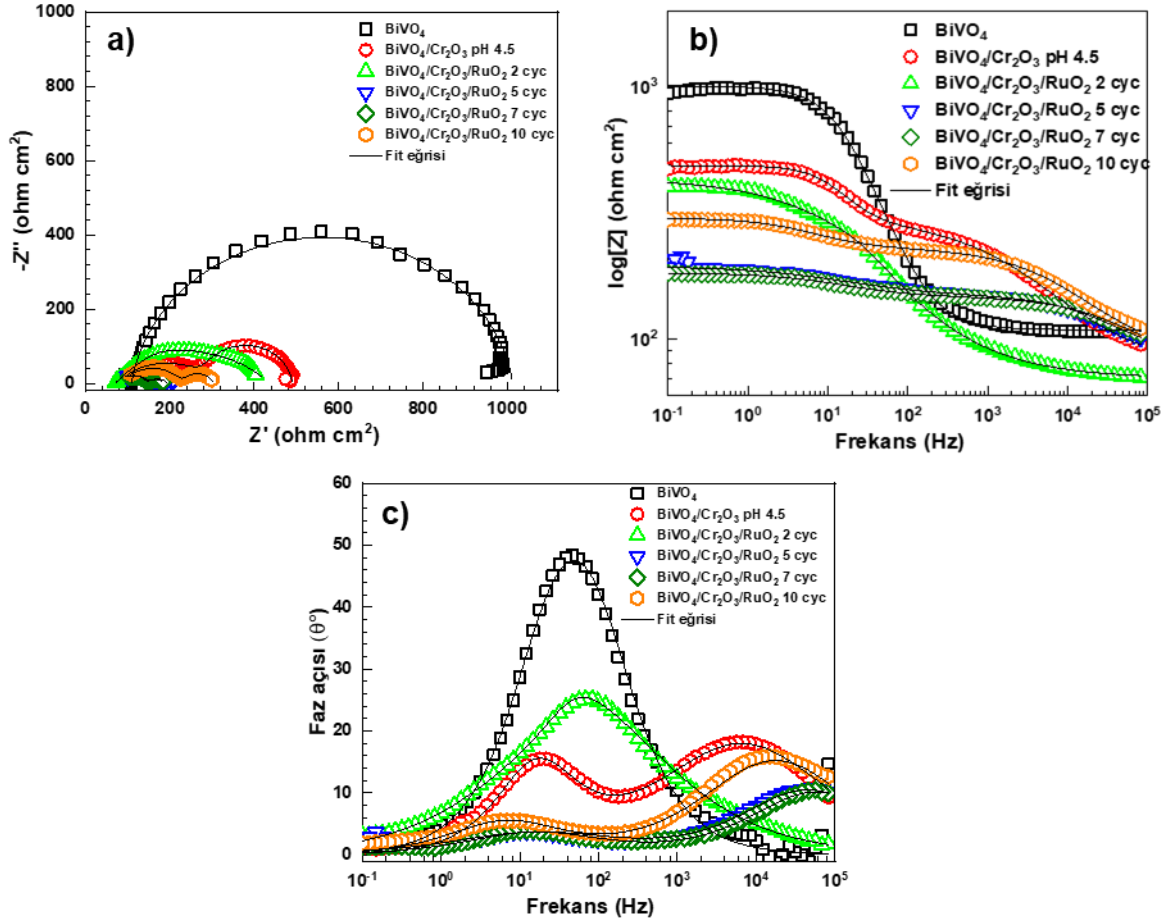


**Şekil 6.**  $\text{BiVO}_4$ ,  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  2 cyc,  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  5 cyc,  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  7 cyc ve  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  10 cyc elektrotlarının (a) ile  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  7 cyc elektrodunun farklı sürelerde (b)  $0,1 \text{ M Na}_2\text{SO}_3$ -  $0,1 \text{ M}$  fosfat tamponu içerisinde  $100 \text{ mW cm}^{-2}$  güneş ışığı altında alınan kronoamperometrik eğrisi.

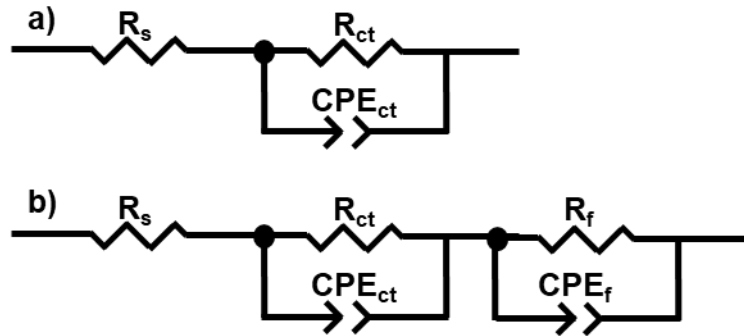
$\text{BiVO}_4$ ,  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  2 cyc,  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  5 cyc,  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  7 cyc ve  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  10 cyc fotoelektrotlarının  $0,1 \text{ M Na}_2\text{SO}_3$ -  $0,1 \text{ M}$  fosfat tamponu içerisinde  $100 \text{ mW cm}^{-2}$  güneş ışığı altında alınan kronoamperometrik eğrileri Şekil 6(a)'da görülmektedir. Tüm fotoelektrotlarda uygulanan 1,23 V'luk ön gerilimle birlikte yüksek akım yoğunlukları yaklaşık 50 saniye sonunda dengeye ulaşarak 300 saniyeye kadar sabit akım yoğunluğu vermektedir.  $\text{BiVO}_4$ ,  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  2 cyc,  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  5 cyc,  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  7 cyc ve  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  10 cyc elektrotlarının 300. saniyede ölçülen akım yoğunluğu değerleri sırasıyla  $0,449 \text{ mA cm}^{-2}$ ,  $0,854 \text{ mA cm}^{-2}$ ,  $0,901 \text{ mA cm}^{-2}$ ,  $1,057 \text{ mA cm}^{-2}$ ,  $1,095 \text{ mA cm}^{-2}$  ve  $1,004 \text{ mA cm}^{-2}$  ölçülmüştür. Bu verilere göre,  $\text{RuO}_2$  filminin OER'deki katalitik davranışının, arttırılan döngü sayısı ile arttığı ve 10. döngüden sonra azaldığı söylenebilir. Sonuç olarak, fotoelektrokimyasal yolla

hidrojen gazı üretiminde en fotokatalitik elektrodun  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  7 cyc olduğu söylenebilir. Bu elektrodun farklı sürelerde (5, 10, 20 ve 30 dak.) simüle edilmiş güneş ışığı altındaki kronoamperometrik ölçümü Şekil 6(b) verilmektedir.  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  7 cyc elektrodunun arttırılan süre ile akım yoğunluğu değerinin çok fazla değişmekle birlikte 20. dakikadan sonra biraz azaldığı söylenebilir. Bununla birlikte, arttırılan süre ile akım yoğunluğunda ani azalmaların meydana gelmemesi hazırlanmış  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  7 cyc elektrodun güneş ışığı altında dayanıklı olduğu söylenebilir.

EİS, Helmholtz arayüzeyinde gerçekleşen fotoelektrokimyasal prosesin incelenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kim ve ark., 2018; Sarkar ve ark., 2014). Bu çalışmada, EİS ölçümü kullanılarak fotoelektrotların elektrot/çözelti ara yüzeyindeki OER direnç kaynaklarının incelenmiştir. EİS ölçümü, 1,23 V (NHE'e göre) aşırı gerilimde 5 mV genlik uygulanarak  $100 \text{ mW cm}^{-2}$  uyarlanmış güneş ışığı altında gerçekleştirilmiştir.  $\text{BiVO}_4$ ,  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  2 cyc,  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  5 cyc,  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  7 cyc ve  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  10 cyc fotoelektrotlarının EİS ölçümünden elde edilen Nyquist eğrisi (a), Bode (b) ve faz açısı-frekans eğrileri (c) Şekil 7'de verilmektedir. Elde edilen Nyquist eğrilerine göre, uygulanan 1,23 V'luk ön gerilimle birlikte,  $\text{BiVO}_4$  elektrodunun düşük frekans bölgesinde bir tane yarım daire,  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3$  ile  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  elektrotlarının yüksek ve düşük frekans bölgelerinde birer adet olmak üzere iki tane yarım daireden oluştuğu görülmektedir. Nyquist eğrisindeki yarım daire çapının büyüklüğü, fotoelektrot/elektrolit ara yüzeyinde meydana gelen fotoelektrokimyasal direnç kaynaklarından ileri gelmektedir.  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3$  üzerine dönüşümlü voltametri ile farklı döngülerde  $\text{RuO}_2$  kaplanmasıyla elde edilen  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  elektrotlarının iki yarım daire çapının  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3$  elektrodunun iki yarım dairesinden göre daha az olması,  $\text{RuO}_2$  filminin 1,23 V'luk aşırı gerilimde OER karşı dirençlerin azalarak katalitik performansı geliştirdiği söylenebilir. Ayrıca,  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  elektrotları içinde en düşük toplam yarım daire sahip elektrodun  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  7 cyc olması bu elektrodun OER katalitik etkinliği en yüksek elektrot olduğu söylenebilir. Şekil 7(b)'de verilen Bode eğrilerine göre,  $10^5 \text{ Hz}$ 'de çözelti dirençleri aynı olan tüm elektrotların  $10^{-1} \text{ Hz}$ ' deki direnç değerleri büyükten küçüğe doğru sırasıyla,  $\text{BiVO}_4 > \text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3 > \text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  2 cyc  $> \text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  10 cyc  $> \text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  5 cyc  $> \text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  7 cyc şeklinde değişmektedir. Bu nedenle, Nyquist eğrisinde olduğu gibi Bode eğrisinde de  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  7 cyc elektrodunun  $100 \text{ mW cm}^{-2}$  uyarlanmış güneş ışığı altında, 1,23 V'ta suyun fotoelektrokimyasal ayrıştırılmasında en düşük direnç kaynağına sahip olduğu ifade edilebilir. Son olarak, elde edilen faz açısı-frekans eğrilerine göre  $\text{BiVO}_4$  elektrodunun bir tane faz elementinden oluştuğu,  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3$  ile  $\text{BiVO}_4/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{RuO}_2$  elektrotlarının iki faz elementinden meydana geldiği anlaşılmaktadır.



Şekil 7. BiVO<sub>4</sub>, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 2 cyc, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 5 cyc, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 7 cyc ve BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 10 cyc elektrotlarının 0,1 M Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>- 0,1 M fosfat tamponu içerisinde 100 mW cm<sup>-2</sup> güneş ışığı altında alınan Nyquist (a), Bode (b) ve faz açısı-frekans eğrisi (c)



Şekil 8. BiVO<sub>4</sub> a), BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> b) fotoelektrotlarının öngörülen elektriksel eşdeğer devresi.

Elde edilen BiVO<sub>4</sub>, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> elektrotlarının fotoelektrotlarının EİS ölçümlerine göre öngörülen elektriksel eşdeğer devreleri Şekil 8'de verilmektedir. Bu devrede, R<sub>s</sub> çözelti direncini, R<sub>ct</sub> yüksek frekans bölgesindeki yük transfer direncini ile ona bağlı kapasitansı CPE<sub>ct</sub> ve R<sub>f</sub> film direnci ile ona karşılık kapasitansı CPE<sub>f</sub>, göstermektedir.

**Tablo 2.** Fotoelektrotların hesaplanan elektrokimyasal parametreleri.

Elektrot	$R_{ct}$ ( $\Omega \text{ cm}^2$ )	$C_{CPEct}$ ( $\Omega^{-1} \text{ s}^n \text{ cm}^{-2}$ ) $\times 10^{-5}$	$R_f$ ( $\Omega \text{ cm}^2$ )	$C_{CPEf}$ ( $\Omega^{-1} \text{ s}^n \text{ cm}^{-2}$ ) $\times 10^{-5}$	$R_p$ ( $\Omega \text{ cm}^2$ )
BiVO <sub>4</sub>	903,3	1,852	-	-	903,3
BiVO <sub>4</sub> /Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	216,0	1,926	197,1	7,558	413,1
BiVO <sub>4</sub> /Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /RuO <sub>2</sub> 2 cyc	323,7	29,519	38,7	7,167	362,4
BiVO <sub>4</sub> /Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /RuO <sub>2</sub> 5 cyc	67,8	0,339	46,0	190,403	113,8
BiVO <sub>4</sub> /Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /RuO <sub>2</sub> 7cyc	66,0	0,302	36,8	6,785	102,8
BiVO <sub>4</sub> /Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /RuO <sub>2</sub> 10 cyc	144,3	0,654	73,1	94,526	217,4

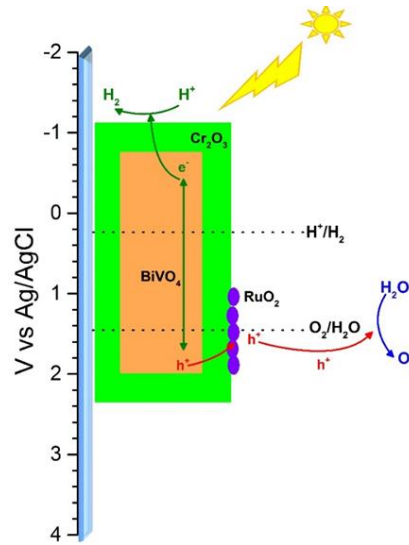
BiVO<sub>4</sub>, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 2 cyc, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 5 cyc, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 7 cyc ve BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 10 cyc fotoelektrotlarının EİS sonuçları, Zview programı ile fit edilerek, hesaplanan elektrokimyasal parametreler Tablo 2’de verilmektedir.  $R_{ct}$  değeri, elektriksel çift tabakada fotoelektrokimyasal olarak suyun O<sub>2(g)</sub> yükseltgenmesine karşı direnç kaynağı olarak tanımlanmaktadır (Andrade ve ark., 2010; Kavan, 2017; Kim ve ark., 2018).  $R_f$  direnci, BiVO<sub>4</sub> üzerine kaplanan Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve RuO<sub>2</sub> filminden kaynaklanmaktadır (Shi ve ark., 2017). Polarizasyon direnci ( $R_p$ ) fotoelektrokimyasal hücrede elektriksel çift tabakadaki tüm direnç kaynaklarının toplamını oluşturmaktadır ( $R_p = R_{ct} + R_f$ ) (Mahalingam ve Abdullah, 2016). BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine RuO<sub>2</sub> kaplanmasıyla  $R_{ct}$  ve  $R_f$  değerlerinin azaldığı Tablo 1’de görülmektedir. Bu nedenle, RuO<sub>2</sub> nin suyun daha fotokatalitik O<sub>2(g)</sub> ayrıştırılmasında etkin katalizör olduğu söylenebilir. Son olarak, elektriksel çift tabakadaki  $R_p$  değerlerini büyükten küçüğe sırasıyla BiVO<sub>4</sub> > BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 2 cyc > BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 10 cyc > BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 5 cyc > BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 7 cyc değişmektedir. Bu verilere göre, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 7 cyc elektrodun suyun fotokatalitik O<sub>2</sub> oluşumunda en katalitik elektrot olduğunu söylenebilir.

Literatür incelendiğinde BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> elektroduyla aynı kombinasyonuna sahip fotoelektrot bulunmaması nedeniyle çalışmamızda kullanılan kombinasyondan tercih edilen elektrotları içeren ve yapılan çalışmaların hidrojen gazı üretimindeki yüksek akım yoğunluğu değerlerine sahip elektrotları Tablo 3’te verilmektedir. Literatürdeki fotoelektrot kombinasyonlarıyla karşılaştırıldığında bu çalışmada üretilen BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 7 cyc elektrodunun yüksek akım yoğunluğu değerine sahip olduğu söylenebilir.

**Tablo 3.** Literatürde benzer kombinasyonlarda hidrojen gazı üretiminde kullanılmış elektrotlar.

Elektrot	Akım yoğunluğu mA cm <sup>-2</sup>	Ön gerilim	Referans
Pt/TiO <sub>2</sub> /Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,040	+0.11 V vs. RHE	Sekizawa ve ark. 2020
NaTaO <sub>3</sub> - RuO <sub>2</sub>	0,500	+0,3 V vs. RHE	Gomes ve ark. 2016
BiVO <sub>4</sub>	0,741	+1,23 V vs. RHE	Xia ve ark. 2017
BiVO <sub>4</sub> /Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /RuO <sub>2</sub> 7 cyc	1,337	+1,23 V vs. RHE	Bu çalışma

BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 7 cyc elektrodunun enerji seviyelerine bağlı olarak suyun fotoelektrokimyasal ayrıştırılmasında önerilen şablon Şekil 9'da verilmektedir. Güneş ışığının uyarılmasıyla BiVO<sub>4</sub> değerlik bandındaki uyarılan elektronlar Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerinden katot yüzeyine ulaşarak H<sub>2</sub> gazı oluşumunu sağlamaktadır. BiVO<sub>4</sub> yüzeyinde oluşan pozitif holler RuO<sub>2</sub> katalizörüyle H<sub>2</sub>O yükseltgenerek O<sub>2</sub> gazı oluşumunu sağlamaktadır.



**Şekil 9.** BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> fotoelektrotunun suyun fotoelektrokimyasal yolla ayrıştırılmasındaki enerji seviyelerinin gösterimi.

#### 4. Sonuç

Gerçekleştirilen çalışmada, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> n-p ikili fotoelektrotun üzerine OER katalitik özellik gösteren RuO<sub>2</sub> dönüşümlü voltametri tekniği kullanılarak farklı döngülerde (2, 5, 7 ve 10) elektrokimyasal olarak katkılanmıştır. Arttırılan döngülerde birlikte RuO<sub>2</sub> nanopartikülleri /Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> yüzeyinde oluşumunun daha fazla miktarda meydana geldiği SEM görüntüleri ile gösterilmiştir. UV-vis spektrometresi, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> elektrotlarının görünür ve morötesi bölgesinde absorpsiyonun geliştirdiğini göstermektedir. LSV ve kronoamperometrik ölçümler suyun fotoelektrokimyasal ayrıştırılmasıyla hidrojen gazı üretiminde en fotokatalitik elektrodun BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> 7 cyc olduğunu göstermiştir. EİS ölçümü, BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (413,1 Ω cm<sup>2</sup>) üzerine katkılanan RuO<sub>2</sub> ile polarizasyon direncinin azaldığını ve BiVO<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/RuO<sub>2</sub> elektrotları arasında en

düşük polarizasyon direncinin 7 döngü sonunda elde edilen elektrota ( $R_p$  102,8  $\Omega$  cm<sup>2</sup>) ait olduğunu belirlenmiştir.

### **Teşekkür**

Bu çalışmanın yapılmasında destek veren TÜBİTAK 2218-Yurt İçi Doktora Sonrası Araştırma Burs Programı' na, Mersin Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'ne, Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Fizikokimya Araştırma Laboratuvarına, XRD analiz ve SEM görüntüleri için Merkez Laboratuvara, deneysel çalışmalarda değerli katkıları için Prof. Dr. Gülfeza KARDAŞ'a teşekkür ederim.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

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

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

### **Kaynakça**

- Ahmed M., Dincer I. A review on photoelectrochemical hydrogen production systems: Challenges and future directions. *International Journal Of Hydrogen Energy* 2019; 44(5): 2474–2507.
- Andrade L., Cruz R., Ribeiro HA., Mendes A. Impedance characterization of dye-sensitized solar cells in a tandem arrangement for hydrogen production by water splitting. *International Journal of Hydrogen Energy* 2010; 35(17): 15-25.
- Baral B., Reddy KH., Parida KM. Construction of M-BiVO<sub>4</sub>/T-BiVO<sub>4</sub> isotype heterojunction for enhanced photocatalytic degradation of norfloxacin and oxygen evolution reaction. *Journal of Colloid Interface Science* 2019; 554: 278-295.
- Baran Aydın E., Ateş S., Sığırcık G. CuO-TiO<sub>2</sub> nanostructures prepared by chemical and electrochemical methods as photo electrode for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy* 2022; 47(10): 6519-6534.
- Baues S., Vocke H., Harms L., Rücker KK., Wark M., Wittstock G. Combinatorial screening of Cu-W oxide-based photoanodes for photoelectrochemical water splitting. *American Chemical Society Applied Material Interfaces* 2022; 14(5): 6590-6603.
- Bayat F., Sheibani S. Enhancement of photocatalytic activity of CuO-Cu<sub>2</sub>O heterostructures through the controlled content of Cu<sub>2</sub>O. *Material Research Bulletin* 2022; 145: 111561.
- Bloesser A., Timm J., Kurz H., Milius W., Hayama S. A novel synthesis yielding macroporous CaFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> sponges for solar energy conversion. *Solar RRL* 2020; 4(8): 1900570.
- Chen YS., Lin LY. Novel synthesis of highly ordered BiVO<sub>4</sub> nanorod array for photoelectrochemical water oxidation using a facile solution process. *Journal of Power Sources* 2019; 436: 226842.



- da Silva Veras T., Mozer TS., da Costa Rubim Messeder dos Santos D., da Silva César A. Hydrogen: Trends, production and characterization of the main process worldwide. *International Journal of Hydrogen Energy* 2017; 42(4): 2018–2033.
- Dong C., Zhao R., Yao L., Ran Y., Zhang X., Wang Y. A review on  $\text{WO}_3$  based gas sensors: Morphology control and enhanced sensing properties *Journal of Alloys and Compounds* 2020; 820, 153194.
- Fujishima A., Honda K. Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode. *Nature* 1972; 238(5358): 37-38.
- Gómez-Solís C., Ballesteros JC., Torres-Martínez LM., Juárez-Ramírez I.  $\text{RuO}_2$ - $\text{NaTaO}_3$  heterostructure for its application in photoelectrochemical water splitting under simulated sunlight illumination. *Fuel* 2016; 166: 36-41.
- Hegner FS., Herraiz-Cardona I., Cardenas-Morcoso D., López N., Galán-Mascarós JR., Gimenez S. Cobalt Hexacyanoferrate on  $\text{BiVO}_4$  Photoanodes for Robust Water Splitting. *American Chemical Society Applied Material Interfaces* 2017; 9(43): 7671-37681.
- Hong D., Yim S.  $\text{RuO}_2$  Thin films electrodeposited on polystyrene nanosphere arrays: Growth mechanism and application to supercapacitor electrodes. *Langmuir* 2018; 34(14): 4249-4254.
- Ikram A., Zulfeqar M., Satsangi VR. Role and prospects of green quantum dots in photoelectrochemical hydrogen generation: A review. *International Journal of Hydrogen Energy* 2022; 47(22): 11472–11491.
- Ismail AA., Robben L., Bahnemann DW. Study of the efficiency of UV and visible-light photocatalytic oxidation of methanol on mesoporous  $\text{RuO}_2$ - $\text{TiO}_2$  nanocomposites. *Chem Phys Chem*. 2011; 12(5): 982-991.
- Jeong D., Jo W., Jeong J., Kim T., Han S. Characterization of  $\text{Cu}_2\text{O}/\text{CuO}$  heterostructure photocathode by tailoring CuO thickness for photoelectrochemical water splitting. *The Royal Society of Chemistry*. 2022; 12(5): 2632-2640.
- Jin J, Fu M, Wang L, Ma T, Li X. Water-splitting mechanism analysis of Sr/Ca doped  $\text{LaFeO}_3$  towards commercial efficiency of solar thermochemical  $\text{H}_2$  production. *International Journal of Hydrogen Energy* 2021; 46(2): 1634-1641.
- Kalanoor BS., Seo H, Kalanur SS. Multiple ion doping in  $\text{BiVO}_4$  as an effective strategy of enhancing photoelectrochemical water splitting: A review. *Materials Science for Energy Technologies* 2021; 46(2): 1634-1641.
- Kavan L. Electrochemistry and dye-sensitized solar cells. *Current Opinion in Electrochemistry* 2017; 2(1): 88-96.
- Kim H., Bae S, Jeon D., Ryu J. Fully solution-processable  $\text{Cu}_2\text{O}-\text{BiVO}_4$  photoelectrochemical cells for bias-free solar water splitting. *Green Chemistry* 2018; 20(16): 3732-3742.

- Kim MW., Samuel E., Kim K., Yoon H., Joshi B., Swihart MT., Yoon SS. Tuning the morphology of electrospayed BiVO<sub>4</sub> from nanopillars to nanoferns via pH control for solar water splitting. *Journal of Alloys Compound*. 2017; 769: 193-200.
- Kyesmen PI., Nombona N., Diale M. Heterojunction of nanostructured  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CuO for enhancement of photoelectrochemical water splitting. *Journal of Alloys Compound* 2018; 863: 158724.
- le Minh Tri N., Trung DQ., van Thuan D., Dieu Cam NT., al Tahtamouni T. The advanced photocatalytic performance of V doped CuWO<sub>4</sub> for water splitting to produce hydrogen *International Journal of Hydrogen Energy* 2020; 45(36): 18186-18194.
- Lee SH., Liu P., Cheong HM., Edwin Trecy C., Deb SK. Electrochromism of amorphous ruthenium oxide thin films. *Solid State Ion*. 2003; 165(1–4): 217-221.
- Li Y., Zhu S., Liang Y., Li Z., Wu S. Synthesis of  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> photocatalyst for high-efficiency water splitting under full light. *Mater Desing* 2020; 196: 109191.
- Lu M., Cui Y., Zhao S., Fakhri, A. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/cellulose hybrid nanocomposites with unique properties: facile synthesis, photocatalytic, bactericidal and antioxidant application. *The Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 2020; 205: 111842-111849.
- Mahalingam S., Abdullah H. Electron transport study of indium oxide as photoanode in DSSCs: A review *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2016; 63: 245-255.
- Mao L., Mohan S., Gupta SK., Mao Y. Multifunctional delafossite CuFeO<sub>2</sub> as water splitting catalyst and rhodamine B sensor. *Materials Chemistry and Physics*. 2022; 278: 125643.
- Mohd Nasir SNF., Mat-Teridi MA. Photoelectrochemical tandem cell of Se/BiVO<sub>4</sub> photoanode and Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CuO: Ni photocathode in aqueous medium. *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 2020; 93(1): 1-5.
- Murillo-Sierra JC., Hernández-Ramírez A., Hinojosa-Reyes L., Guzmán-Mar JL. A review on the development of visible light-responsive WO<sub>3</sub>-based photocatalysts for environmental applications *Chemical Engineering Journal Advances* 2021; 5: 100070.
- Osada M., Nishio K., Lee K., Colletta M., Goodge BH. Highly efficient surface charge transfer in Fe<sub>2</sub>TiO<sub>5</sub> epitaxial thin film photoanodes. *American Chemical Society Applied Energy Materials* 2021; 4(3): 2098-2106.
- Saraswat SK., Rodene DD., Gupta RB. Recent advancements in semiconductor materials for photoelectrochemical water splitting for hydrogen production using visible light. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2018; 89: 228–248.
- Sarkar S., Das NS, Chattopadhyay KK. Optical constants, dispersion energy parameters and dielectric properties of ultra-smooth nanocrystalline BiVO<sub>4</sub> thin films prepared by rf-magnetron sputtering. *Solid State Science* 2014; 33: 58-66.
- Shi YJ., Pei J., Zhang J., Niu JL., Zhang H. Enhanced corrosion resistance and cytocompatibility of biodegradable Mg alloys by introduction of Mg(OH)<sub>2</sub> particles into poly (L-lactic acid) coating. *Scientific Reports* 2017; 7: 1-11.

- Sekizawa K., Oh-Ishi K., Morikawa T. Photoelectrochemical water-splitting over a surface modified p-type Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> photocathode. *Dalton Transactions* 2020; 49(3): 659-666.
- Sone BT., Manikandan E., Gurib-Fakim A., Maaza M. Single-phase  $\alpha$ -Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles' green synthesis using *Callistemon viminalis*' red flower extract. *Green Chemistry Letters and Reviews* 2016; 9(2): 85-90.
- Sugawara Y., Kamata K., Ishikawa A., Tateyama Y., Yamaguchi T. Efficient oxygen evolution electrocatalysis on CaFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> and its reaction mechanism. *American Chemical Society Applied Material Interfaces* 2021; 4(4): 3057-3066.
- Tezcan F., Düdükçü MK., Kardaş G. Photocorrosion protection of BiVO<sub>4</sub> electrode by  $\alpha$ -Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> core-shell for photoelectrochemical hydrogen production. *Journal of Electroanalytical Chemistry* 2022; 920: 116595-116605.
- Thomas CES. Conclusions: "stopping climate change: The case for coal and hydrogen." In *Lecture Notes in Energy* 2017; 35: 123-125.
- Tsuji E., Imanishi A., Fukui KI., Nakato Y. Electrocatalytic activity of amorphous RuO<sub>2</sub> electrode for oxygen evolution in an aqueous solution. *Electrochim Acta* 2011; 56(5): 2009-2016.
- Wang J., Lu Z., Ling Y., Wang R., Li Y. Hydrogen permeation properties of Cr<sub>x</sub>C<sub>y</sub>@Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite coating derived from selective oxidation of a Cr-C alloy and atomic layer deposition. *International Journal of Hydrogen Energy* 2018; 43(45): 21133-21141.
- Wang Y., Zhang J., Balogun M-S., Tong Y., Huang Y. 2022 Oxygen vacancy-based metal oxides photoanodes in photoelectrochemical water splitting. *Materials Today Sustainability* 2022; 18: 100118.
- Xia, L., Bai, J., Li, J., Zeng, Q., Li, L., & Zhou, B. High-performance BiVO<sub>4</sub> photoanodes cocatalyzed with an ultrathin  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> layer for photoelectrochemical application. *Applied Catalysis B: Environmental* 2017; 204: 127-133.
- Xie Y., Yao C. Electrochemical performance of RuO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> nanotube hybrid electrode material. *Materials Research Express* 2019; 6(12): 125550.
- Xiong K., Li L., Deng Z., Xia M., Chen S. RuO<sub>2</sub> loaded into porous Ni as a synergistic catalyst for hydrogen production. *RSC Advances* 2014; 4(39): 20521-20526.
- Yu Y., Yin X., Kvit A., Wang X. Evolution of hollow TiO<sub>2</sub> nanostructures via the Kirkendall effect driven by cation exchange with enhanced photoelectrochemical performance. *Nano Letters* 2014; 14(5): 2528-2535.

## Environmentally Friendly Route for Synthesis of CuO Nanoparticles

Mehmet Erman MERT<sup>1\*</sup>, Başak DOĞRU MERT<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Advanced Technology Research and Application Center, Adana

<sup>2</sup>Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Energy System Engineering Dep., Adana

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-0114-8707>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-2270-9032>

\*Corresponding author: memert@atu.edu.tr

### Research Article

### ABSTRACT

#### Article History:

Received: 05.05.2023

Accepted: 23.07.2023

Published online:04.12.2023

#### Keywords:

Green synthesis

CuO nanoparticle

TEM

SEM-EDX

Zeta potential

This study's objective is to synthesize copper (II) oxide (CuO) nanoparticles (NPs), which have numerous applications via eco-friendly route. In the study, employing curcuma herbal's ethanolic extract in the synthesis route was thought to be a good alternative for the environmentally friendly synthesis of nanoparticles because there are many benefits associated with performing so. These advantages include being affordable, conveniently accessible, easy to extract, and less susceptible to contamination. The scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive analysis (EDX), and transmission electron microscopy (TEM) analysis were used to examine the generated particles. Additionally, UV analysis and the determination of the zeta potential of CuO NPs were performed.

## CuO Nanopartiküllerinin Sentezi İçin Çevre Dostu Yol

### Araştırma Makalesi

### ÖZ

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 05.05.2023

Kabul tarihi:23.07.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Yeşil sentez

CuO nanoparçacık

TEM

SEM-EDX

Zeta potansiyeli

Bu çalışmanın amacı, çok sayıda uygulamaya sahip olan bakır (II) oksit (CuO) nanoparçacıklarını (NP'ler) çevre dostu bir yolla sentezlemektir. Çalışmada, zerdeçal bitkisinin etanolik ekstraktının sentez için kullanılmasının, nanopartiküllerin çevre dostu üretimi için iyi bir alternatif olduğu düşünülmüştür, çünkü bu yöntemin birçok faydası vardır. Bu avantajlar arasında uygun fiyatlı olması, kolayca erişilebilir olması, ekstaksiyonun kolay olması ve kontaminasyona daha az duyarlı olması yer alır. Üretilen parçacıkları incelemek için taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılım analizi (EDX) ve transmisyon elektron mikroskobu (TEM) analizleri kullanıldı. Ayrıca, UV analizi gerçekleştirildi ve CuO NP'lerin zeta potansiyeli belirlendi.

**To Cite:** Mert ME., Mert BD. Environmentally Friendly Route for Synthesis of CuO Nanoparticles. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 2201-2212.

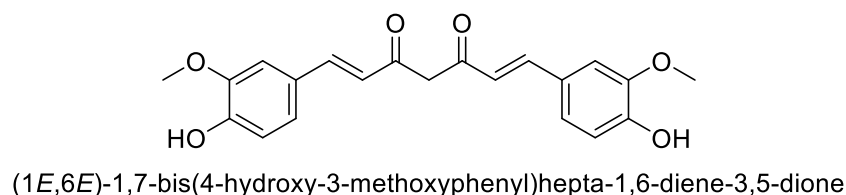
## 1. Introduction

The nano sized transition metal oxides have been widely investigated due to many advantages (Baladi et al., 2022; Bukhari et al., 2021; Chandrasekar et al., 2013; Janusz et al., 1999; Mohammadi et al., 2012; Yadav et al., 2022). Especially copper (II) oxide (CuO) nanoparticles have unique properties that make them useful in widely range of sectors (Bai, et al. 2022; Cuong, et al., 2022; Gupta, et al., 2022). The common usage areas of CuO nanoparticles are electronics, optoelectronics, catalysis, energy storage, biomedical applications, etc (Bai, et al., 2022; Chandrasekar, et al., 2013; Kaningini et

al., 2023; Kumar, et al., 2019). CuO nanoparticles have a high surface-to-volume ratio, which means that they have a large surface area compared to their volume (Vidovix, et al., 2019). This property allows CuO nanoparticles to have excellent electronic properties, such as high electron mobility and conductivity. These properties make CuO nanoparticles useful in electronic devices where high electrical conductivity is required (Sumalatha, et al., 2023). In addition to their electrical properties, CuO nanoparticles also exhibit unique optical properties, such as high absorbance in the visible and near-infrared regions of the electromagnetic spectrum (Ghidan, et al., 2016). This property makes CuO nanoparticles useful in solar cells, where they can absorb sunlight and convert it into electrical energy. CuO nanoparticles also have a unique bandgap structure, which allows them to be used as sensors for detecting gases and other analytes. When exposed to certain gases, CuO nanoparticles undergo a change in their electrical conductivity, which can be detected and used to sense the presence of the gas (Kütük and Çetinkaya, 2022). CuO nanoparticles also exhibit a high theoretical specific capacity, which means they can store a large amount of electrical charge per unit mass. This property makes them suitable for use in energy storage devices, where high energy density is desirable. In addition to their high specific capacity, CuO nanoparticles also have a unique redox behavior, which allows them to store energy efficiently. During the charge and discharge cycle of a battery or supercapacitor, the CuO nanoparticles undergo reversible electrochemical reactions, which enables them to store and release electrical energy effectively. CuO nanoparticles also exhibit catalytic activity, which allows them to degrade pollutants through oxidation reactions (Sathiyavimal, et al., 2021). This property makes CuO nanoparticles useful for the removal of organic pollutants from water and air. Furthermore, CuO nanoparticles can be easily synthesized and functionalized with different surface groups, which allows them to be tailored for specific pollutant removal applications. Several synthesis methods of CuO nanoparticles have been used in the literature (Kaniningini, et al., 2023; Zare and Moradi, 2022). For instance, the chemical precipitation approach precipitates CuO nanoparticles from a copper salt solution in the presence of a precipitant like NaOH or NH<sub>3</sub>. Sol-gel method involves the hydrolysis of a precursor solution containing a copper salt and a gel-forming agent such as ethylene glycol (Selvam, et al., 2022; Siddiqui, et al., 2021). The resulting gel is then dried and calcined to obtain CuO nanoparticles. Thermal decomposition method involves the decomposition of a precursor compound such as copper acetate or copper nitrate at high temperatures to obtain CuO nanoparticles. Hydrothermal method involves the synthesis of CuO nanoparticles under high-pressure and high-temperature conditions in an aqueous solution containing a copper salt and a hydroxide or carbonate source. The convenient and cost-effective method for producing CuO nanoparticles is the chemical precipitation method. For this purpose herbal extracts can widely use (Karuppanan, et al., 2021; Yadav, et al., 2022). Plant extract interactions with CuO nanoparticle preparations depend on a number of variables, including the type of extract used, its content, the synthesis process, and the characteristics of the resulting nanoparticles. Natural substances found in some plant extracts can function as reducing agents, stabilizing agents, or both when creating CuO nanoparticles. These

substances can interact with the copper precursor to modify the final nanoparticles' size, shape, and characteristics (Kumar, et al., 2019). Some plant extracts, for instance, contain polyphenols and flavonoids that can stabilize the resulting nanoparticles and reduce copper ions. The physicochemical characteristics of the resultant nanoparticles can also be impacted by the use of plant extracts in the synthesis of CuO nanoparticles. For instance, the plant extract utilized as the reducing or stabilizing agent may have an effect on the morphology, size, and surface area of the nanoparticles. Some plant extracts have been studied for their potential application as antimicrobial agents in combination with CuO nanoparticles. The synergistic effect of the plant extract and CuO nanoparticles can enhance the antimicrobial activity of the resulting composite.

In this study we aimed environmentally friendly synthesis of CuO nano particles (NPs), for this purpose ethanolic extract of curcuma was used. Curcuma is a widely used spice in India and many other Asian nations. Curcumin, also known as "(1E,6E)-1,7-bis(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)hepta-1,6-diene-3,5-dione," is the primary active component of curcuma (Figure 1).



**Figure 1.** The molecular structure of curcumin

As seen from Figure 1, the compound (curcumin) has two hydroxy groups (-OH) and two methoxy groups (-OCH<sub>3</sub>) attached to each of the phenyl rings, which are aromatic rings with a benzene structure and two conjugated double bonds (C=C) between the heptadiene chain and the two phenyl rings, giving it a rigid and planar structure. The substance is a solid that varies in color from yellow to orange. It is only weakly soluble in water, but it is soluble in organic solvents including ethanol, methanol, and acetone. It is known to exhibit antioxidant and anti-inflammatory properties due to the presence of the phenolic groups in its structure.

The characterization was achieved via transmission electron microscope (TEM), scanning electron microscope (SEM), energy dispersive analysis (EDX), UV analysis and the zeta potential of NPs were determined.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Synthesis of CuO NPs

The CuO NPs were produced via environmentally friendly synthesis method via curcuma extract without any reducing toxic chemicals. For the preparation of curcuma extract; 10 g of curcuma powder

was weighted and mixed with 100 mL of ethanol (70%). It was shaken well for 5 min, and soaked for two days at room temperature approximately 25-30 °C. The produced ethanol extract was filtered using qualitative Whatman filter paper no.1 (125 mm) and stored at 4 °C.

In the synthesis of CuO NPs, copper (II) nitrate solution at the concentration of 10 mM in 50 mL ethanolic extract of curcuma was incubated at 60 °C, for 60 min. This process was achieved in a black room. Afterward, the mixture was cooled at 25 °C for 24 h; subsequently, this mixture was centrifuged 30 min at 3600 rpm. Then, the product acquired was cleaned many times with distilled water and ethanol. Finally, a darkbrown precipitate was shaped, which was desiccated for 1 h at 90 °C.

## **2.2. The Characterization of NPs**

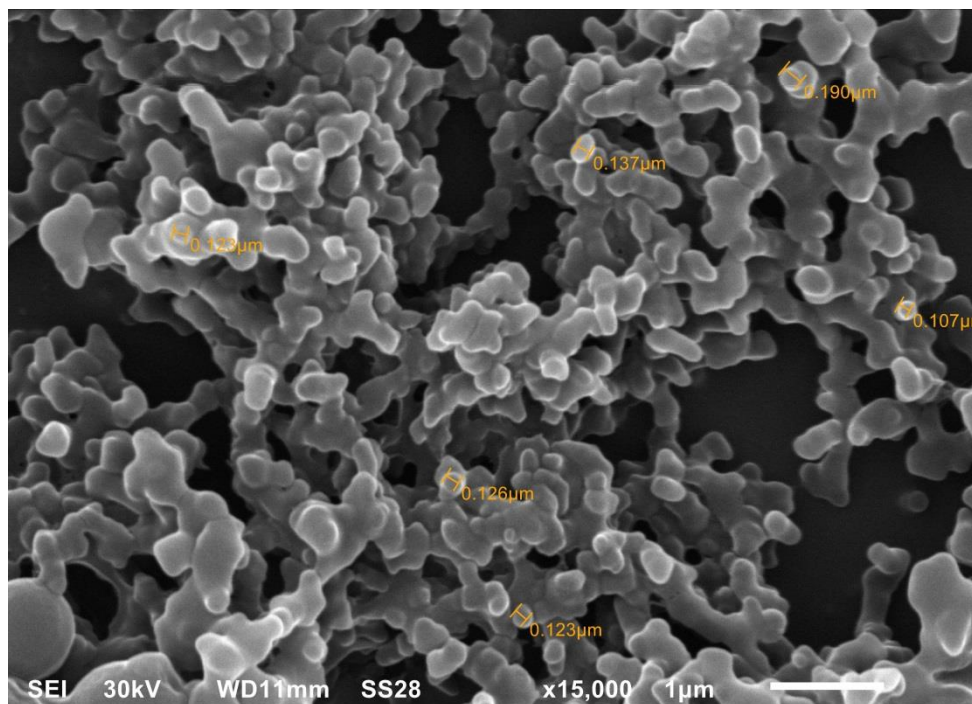
The synthesized CuO NPs were monitored via scanning electron microscope (SEM), it was run on JEOL JSM-5500LV. The energy dispersive X-Ray analysis (EDX) was run using an X-ray micro-analyzer (Oxford 6587, INCA) attached to SEM at 20 kV. Further, the NPs were analyzed via transmission electron microscope (TEM) samples were run on a (Thermoscientific, Talos F200i) using the carbon-coated grid (Type G 200, 3.05  $\mu$  diameter). The zeta potential of NPs were achieved via Malvern Panalytical instrument, in the analysis the dispersant was ethanol. The UV-Visible absorption spectroscopy was run on Uni cam UV-VIS spectrophotometer UV2.

## **3. Results and Discussion**

There are various widely used approaches for morphological characterisation of NPs. TEM is a high-resolution imaging technique that allows the observation of the morphology, size, and shape of nanoparticles at high magnification (Rydz, et al., 2019). It is widely used for the characterization of NPs due to its high sensitivity and ability to produce detailed images (Huang, 2010; Luna, et al., 2016; Wang and Huang, 2016). SEM is another high-resolution imaging approach that is frequently used to evaluate the bulk and surface properties of nanoparticles and provides information on their morphology, size, and shape (Lassoued, et al., 2017; Rydz, et al., 2019; Wei, et al., 2023). EDX is a technique that is often used in conjunction with SEM to analyze the chemical composition of a sample at a microscopic level (Bibi, et al., 2019; S. Z. Mohammadi, et al., 2012). UV spectroscopy is a useful tool for the characterization of NPs because it provides information on the size, shape, concentration, surface properties, and interactions of the NPs (Luna, et al., 2016). The zeta potential is an important characteristic of NPs that refers to the electric potential at the surface of the NPs. It can provide important information about the stability and behavior of NPs in various applications (Chandransekar, et al., 2013; Meng, et al., 2016). It gives information about their surface charge, toxicity, and formulation (Ateş, 2018; Cuong, et al., 2022; Karuppanan, et al., 2021). Therefore all these techniques were used in this study.

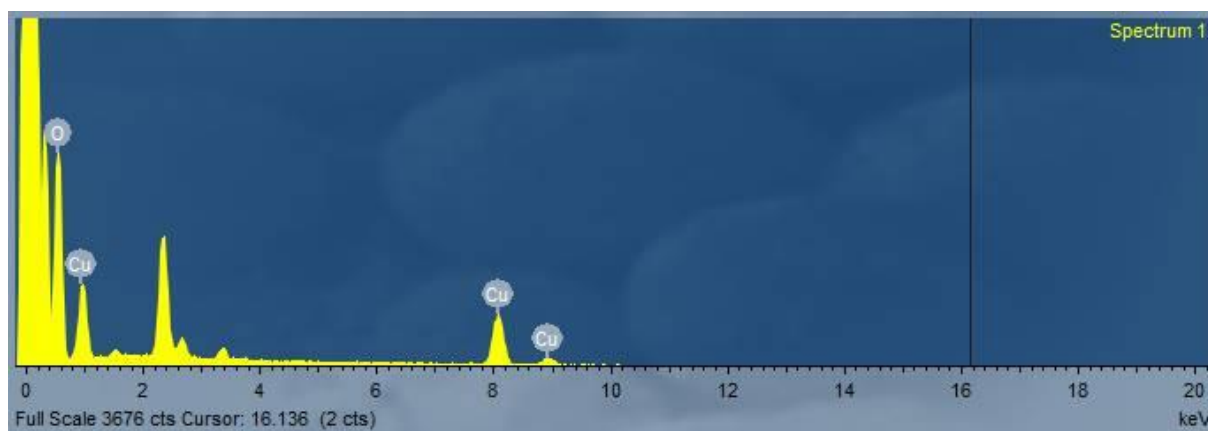
The SEM micrograph of CuO NPs was given in Figure 2. It illustrates the presence of granular-shaped particles with a range in particle size between 0.107 and 0.190  $\mu$ m. The granular shape have been

widely seen in literature (Le Van, et al., 2016; Luna, et al., 2015). As can be observed in the SEM images, the agglomeration is most likely the result of electrostatic contact between layers of NPs' surface (Figure 2). Abbas Eslami et al.(Eslami, et al., 2017) discovered comparable experimental data, and they stated that a few aggregates were also observed, which could be related to aggregation during the washing process.



**Figure 2.** The SEM micrograph of CuO NPs

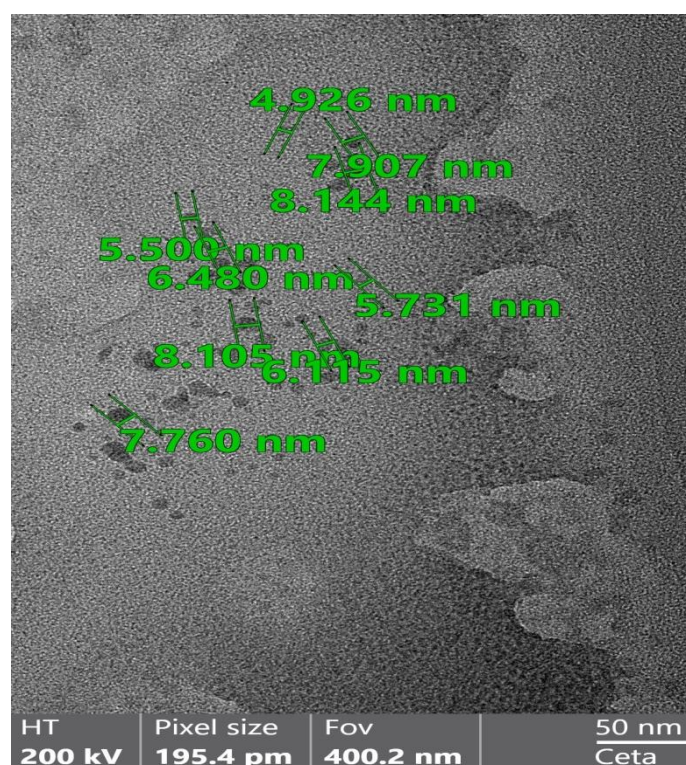
The EDX spectrum of CuO NPs was given in Figure 3. The oxygen (O) with copper (Cu) in the EDX spectrum shows the formation of copper oxide. The weight% of Cu and O was 79.4% and 20.6%, respectively.



**Figure 3.** The EDX spectrum of CuO NPs



TEM investigation was achieved to reveal actual particle size. The largest and smallest particle sizes, as shown by the TEM result in Figure 4, were respectively close to 8.144 nm and 4.926 nm. The small-sized nanoparticle NPs have several advantages over larger-sized NPs. Small-sized NPs have a higher surface area per unit volume compared to larger-sized NPs (Siddiqui, et al., 2021; Sumalatha, et al., 2023). This increased surface area provides more opportunities for interactions with other molecules or surfaces, which can be advantageous in applications such as drug delivery, catalysis, and sensing (Bukhari, et al., 2021). Small-sized NPs exhibit enhanced reactivity due to their higher surface energy and surface area (Chandrasekar, et al., 2013). This can be advantageous in applications such as catalysis, where small-sized NPs can catalyze reactions more efficiently compared to larger-sized NPs (Yadav, et al., 2022). Smaller NPs can exhibit increased solubility in solvents or biological fluids due to their larger surface area (Kaniningini, et al., 2023). They also can exhibit improved distribution due to their ability to penetrate through small pores and capillaries (Ghidan, et al., 2016).

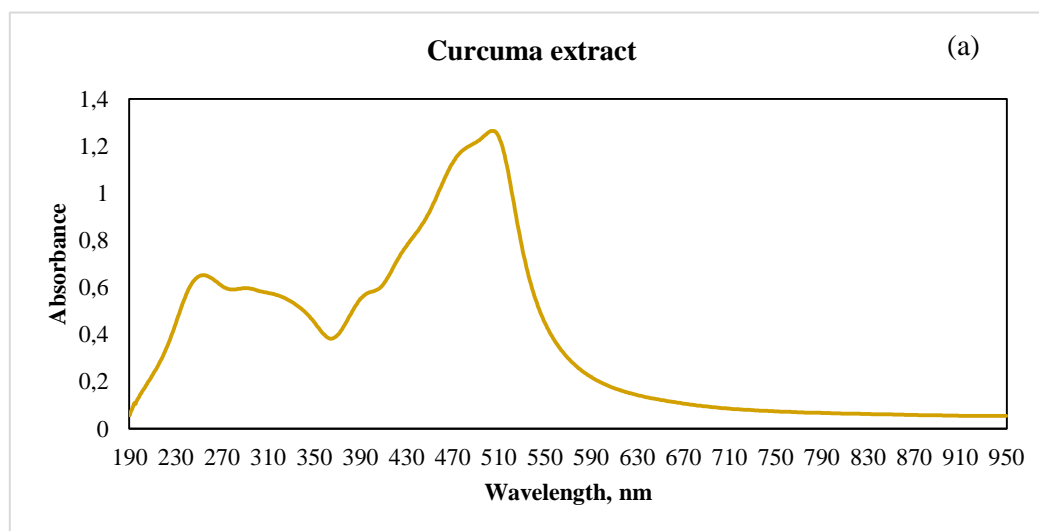


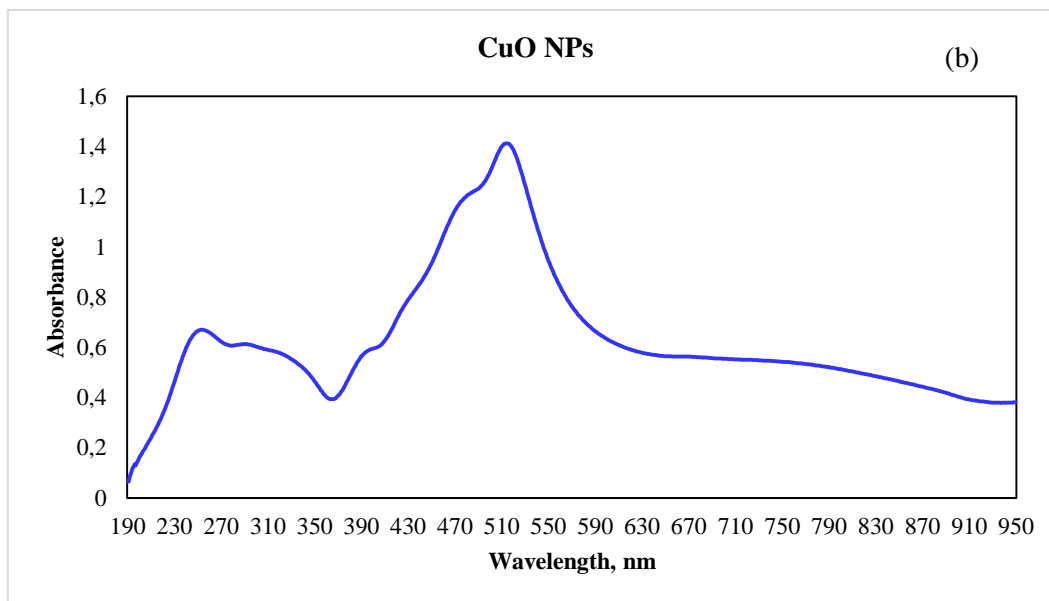
**Figure 4.** The TEM image of CuO NPs

Figure 5 shows the results of the UV analysis of the produced CuO NPs and curcuma extract. The interactions of curcuma or a curcumin derivative with Cu have been examined spectrophotometrically in the literature (Chittigori, et al., 2014; Khan, et al., 2020). Khan et al. investigated the role of curcumin as a reducing agent in the production of metal nanoparticles. In brief, Khan et al. dissolved a particular amount of curcumin in alkaline solution. Curcumin oxide is generated when hydroxyl ions (basis) are added to curcumin, according to the authors. As a result, the first step in the mechanism is the formation of a curcumin-metal complex ion. This combination interacted with curcumin oxide to

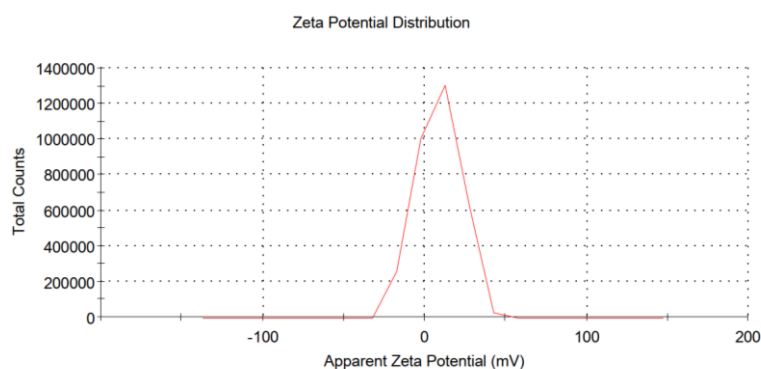
form metalparticles with zero oxidation state (Khan, et al., 2020). In fact, during the filtration process conducted under atmospheric conditions, CuO formation was observed, despite the fact that copper ions were reduced in the solution. In Figure 5, the absorption peaks of CuO NPs are around 250 and 510 nm, corresponds to the electronic transitions between the valence and conduction bands of CuO (Sumalatha, et al., 2023). According to literature (Kumar, et al., 2019) the peak that is located around 250 nm, is due to inter-band transition of core electrons of copper metal, while that of peak around 510 nm, and corresponds band edge transition of CuO. In the study of Joshna Chittigori curcumin and copper ion interactions were seen as an increase in absorbance at 500 nm (Chittigori, et al., 2014). The absorbance shape and position are sensitive to various characteristics such as particle morphology, size, agglomeration state, and particle nature in the solution, as well as dielectric functions of the metal and the surrounding medium. As a result, the peak location is blueshifted as metal particle size decreases, whereas aggregation causes a significant intensity rise in the red/infrared area of the spectrum (Eltarahony, et al., 2018).

The zeta potential measurement of CuO NPs was given in Figure 6. Typically, the zeta potential of CuO NPs with a size around 5 nm can range from -20 mV to +20 mV. In general, CuO NPs with a negative zeta potential (below -10 mV) are more stable in aqueous solutions due to the electrostatic repulsion between particles (Ateş, 2018). On the other hand, CuO NPs with a positive zeta potential (above +10 mV) tend to aggregate and form larger particles due to the attractive forces between particles. In Figure 6, the obtained value is 8.67 eV. According to the relationship between the zeta potential value and stability of nanoparticles in the literature, particles tend to agglomerate between 0-5 mV (Ateş, 2018).





**Figure 5.** The UV analysis of curcuma extract (a) and synthesized CuO NPs (b)



**Figure 6.** The zeta potential of synthesized CuO NPs

#### 4. Conclusion

This work aimed to environmentally friendly synthesis method to generate copper II oxide nanoparticles (CuO NPs) using a herbal extract (curcuma). The powder of the widely accessible and reasonably priced curcuma plant was employed for this purpose as an ethanolic extract. SEM and TEM were used for the morphological examination, and EDX was used for the elemental composition study. The SEM micrograph of clearly demonstrates the presence of granular-shaped particles, the particles exhibit a range in particle size, measuring between 0.107 and 0.190  $\mu\text{m}$ . Analyzing the SEM images in detail, it becomes evident that the observed agglomeration is likely a consequence of electrostatic contact between layers on the surface of the nanoparticles. The aggregation might occur during the washing process. TEM investigation was conducted to obtain precise information about the actual particle size of the CuO nanoparticles. TEM analysis, indicated that the largest and smallest

particle sizes measured approximately 8 nm and 4 nm, respectively. It is worth noting that small-sized nanoparticles offer several advantages over their larger-sized counterparts. The average particle size, as determined by the results, was close to 5 nm, and the spherical and homogeneous forms were seen. The small-sized nanoparticles possess a higher surface area per unit volume compared to larger-sized nanoparticles. This increased surface area enables more opportunities for interactions with other molecules or surfaces, which can be particularly beneficial in applications. According to EDX results, the composition was 79.4% "Cu" and 20.6% was "O". NPs had a zeta potential of nearly 9 eV, which was supported by the literature, and UV absorption spectra showed that they had been successfully produced. The interactions between curcuma or a curcumin derivative and copper (Cu) have been further investigated by UV analysis. The role of curcumin as a reducing agent in the synthesis of metal nanoparticles have been known. The absorption peaks of CuO nanoparticles were observed around 250 nm and 510 nm, corresponding to electronic transitions between the valence and conduction bands of CuO. The peak around 250 nm was attributed to the inter-band transition of core electrons of copper metal, while the peak around 510 nm corresponded to the band edge transition of CuO. In fact, during the filtration process conducted under atmospheric conditions, CuO formation was observed, despite the fact that copper ions were reduced in the solution.

In later studies, application explorations of these particles are planned.

### **Conflict of Interest**

There is no conflict of interest between the authors.

**Contribution of authors:** All authors contributed equally to the experiments and writing of the text.

### **References**

- Ateş M. Nanoparçacıkların ölçme ve inceleme teknikleri. *Turkish Journal of Scientific Reviews* 2018; 11(1): 63-69.
- Bai B., Saranya S., Dheepaasri V., Muniasamy S., Alharbi NS., Selvaraj B., Undal VS., Gnanamangai, BM. Biosynthesized copper oxide nanoparticles (CuO NPs) enhance the anti-biofilm efficacy against *K. pneumoniae* and *S. aureus*. *Journal of King Saud University Science* 2022; 34(6): 102120.
- Baladi M., Amiri M., Akbari JH., Mahmoudi MH., Salavati NM. Green synthesis of perovskite-type TbFeO<sub>3</sub>/CuO as a highly efficient modifier for electrochemical detection of methyl dopa. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 2022; 915: 116339.
- Bibi I., Nazar N., Ata S., Sultan M., Ali A., Abbas A., Jilani K., Kamal S., Sarim FM., Khan MI., Jalal F., Iqbal M. Green synthesis of iron oxide nanoparticles using pomegranate seeds extract and photocatalytic activity evaluation for the degradation of textile dye. *Journal of Materials Research and Technology*, 2019; 8(6): 6115-6124.

- Bukhari A., Ijaz I., Gilani E., Nazir A., Zain H., Saeed R., Alarfaji SS., Hussain S., Aftab R., Naseer Y. Green synthesis of metal and metal oxide nanoparticles using different plants' parts for antimicrobial activity and anticancer activity: A review article. *Coatings* 2021; 11(11): 111374.
- Chandransekar N., Kumar KMM., Balasubramnian KS., Karrunamurthy K., Varadharajan R. Facile synthesis of iron oxide, iron-cobalt and zero valent iron nanoparticles and evaluation of their antimicrobial activity, free radicle scavenging activity and antioxidant assay. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures* 2013; 8(2): 765-775.
- Chandrasekar N., Kumar KMM., Balasubramnian KS., Karunamurthy K., Varadharajan R. Facile synthesis of iron oxide, iron-cobalt and zero valent iron nanoparticles and evaluation of their anti microbial activity, free radicle scavenging activity and antioxidant assay. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures* 2013; 8(2): 765-775.
- Chittigori J., Kumar A., Li L., Thota S., Kokil A., Samuelson LA., Sandman DJ., Kumar J. Synthesis of a self organizable curcumin derivative and investigation of its interaction with metals in 100% aqueous media. *Tetrahedron* 2014; 70(4): 991-995.
- Cuong HN., Pansambal S., Ghotekar S., Oza R., Thanh HNT., Viet NM., Nguyen VH. New frontiers in the plant extract mediated biosynthesis of copper oxide (CuO) nanoparticles and their potential applications: A review. *Environmental Research* 2022; 203: 111858.
- Eltarahony M., Zaki S., Abd-El-Haleem D. Concurrent synthesis of Zero- and one-dimensional, spherical, rod-, needle-, and wire-shaped CuO nanoparticles by proteus mirabilis10B. *Journal of Nanomaterials*, 2018; 3: 1-14.
- Eslami A., Modanlou Juibari N., Hosseini, SG., Abbasi M. Synthesis and Characterization of CuO nanoparticles by the chemical liquid deposition method and investigation of its catalytic effect on the thermal decomposition of ammonium perchlorate. *Central European Journal of Energetic Materials* 2017; 14(1): 152-168.
- Ghidan AY., Al-Antary TM., Awwad AM. Green synthesis of copper oxide nanoparticles using Punica granatum peels extract: Effect on green peach Aphid. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* 2016; 6: 95-98.
- Gupta S., Maji A., Panja D., Halder M., Kundu S. CuO NPs catalyzed synthesis of quinolines, pyridines, and pyrroles via dehydrogenative coupling strategy. *Journal of Catalysis* 2022; 413: 1017-1027.
- Huang B. Super-resolution optical microscopy: multiple choices. *Current Opinion in Chemical Biology* 2010; 14(1): 10-14.
- Janusz W., Sworska A., Szczypa J. Electrical double layer at the  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-mixed electrolyte (ethanol-aqueous) interface. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 1999; 149: 421-426.

- Kaningini AG., Motlhalamme T., More GK., Mohale KC., Maaza M. Antimicrobial, antioxidant, and cytotoxic properties of biosynthesized copper oxide nanoparticles (CuO-NPs) using *Athrixia phlycoides* DC. *Heliyon* 2023; 9(4): e15265.
- Karuppannan SK., Ramalingam R., Mohamed KSB., Dowlath MJH., Darul RGI., Arunachalam KD. Characterization, antibacterial and photocatalytic evaluation of green synthesized copper oxide nanoparticles. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 2021; 31: 101904.
- Khan MA., Nayan N., Shadiullah Ahmad MK., Soon CF. Surface study of CuO nanopetals by advanced nanocharacterization techniques with enhanced optical and catalytic properties. *Nanomaterials (Basel)* 2020; 10(7): 1298.
- Kumar P., Nene AG., Punia S., Kumar M., Abbas Z., Thakral F., Tuli HS. Synthesis, characterization and antibacterial activity of CuO nanoparticles. *International Journal of Applied Pharmaceutics* 2019; 12(1): 17-20.
- Kütük N., Çetinkaya S. Green synthesis of copper oxide nanoparticles using black, green and tarragon tea and investigation of their photocatalytic activity for methylene blue. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences* 2022; 28(7): 954-962.
- Lassoued A., Dkhil B., Gadri A., Ammar S. Control of the shape and size of iron oxide ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanoparticles synthesized through the chemical precipitation method. *Results in Physics* 2017; 7: 3007-3015.
- Le Van N., Rui Y., Cao W., Shang J., Liu S., Nguyen Quang T., Liu L. Toxicity and bio-effects of CuO nanoparticles on transgenic Ipt-cotton. *Journal of Plant Interactions* 2016; 11(1): 108-116.
- Luna C., Cuan-Guerra AD., Barriga-Castro ED., Núñez NO., Mendoza-Reséndez R. Confinement and surface effects on the physical properties of rhombohedral-shape hematite ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanocrystals. *Materials Research Bulletin* 2016; 80: 44-52.
- Luna IZ., Hilary LN., Chowdhury AMS., Gafur MA., Khan N., Khan RA. Preparation and characterization of copper oxide nanoparticles synthesized via chemical precipitation method. *OALib* 2015; 02(03): 1-8.
- Meng X., Ryu J., Kim B., Ko S. Application of iron oxide as a pH-dependent indicator for improving the nutritional quality. *Clinical Nutrition Research* 2016; 5(3): 172-179.
- Mohammadi SZ., Khorasani-Motlagh M., Jahani S., Yousefi M. Synthesis and characterization of  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles by microwave method. *International Journal of Nanoscience Nanotechnology* 2012; 8(2): 87-92.
- Rydz J., Šišková A., Andicsová EA. Scanning electron microscopy and atomic force microscopy: topographic and dynamical surface studies of blends, composites, and hybrid functional materials for sustainable future. *Advances in Materials Science and Engineering* 2019; 2019: 1-16.

- Sathiyavimal S., Vasantharaj S., Veeramani V., Saravanan M., Rajalakshmi G., Kaliannan T., Al-Misned FA., Pugazhendhi A. Green chemistry route of biosynthesized copper oxide nanoparticles using *Psidium guajava* leaf extract and their antibacterial activity and effective removal of industrial dyes. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2021; 9(2): 105033.
- Selvam K., Albasher G., Alamri O., Sudhakar C., Selvankumar T., Vijayalakshmi S., Vennila L. Enhanced photocatalytic activity of novel *Canthium coromandelicum* leaves based copper oxide nanoparticles for the degradation of textile dyes. *Environmental Research* 2022; 211: 113046.
- Siddiqui VU., Ansari A., Chauhan R., Siddiqui WA. Green synthesis of copper oxide (CuO) nanoparticles by *Punica granatum* peel extract. *Materials Today: Proceedings* 2021; 36: 751-755.
- Sumalatha V., Ayodhya D., Balchander V. Facile synthesis of hexagonal-shaped CuO NPs from Cu(II)-Schiff base complex for enhanced visible-light-driven degradation of dyes and antimicrobial studies. *Inorganica Chimica Acta* 2023; 548: 121358.
- Vidovix TB., Quesada HB., Januário EFD., Bergamasco R., Vieira AMS. Green synthesis of copper oxide nanoparticles using *Punica granatum* leaf extract applied to the removal of methylene blue. *Materials Letters* 2019; 257: 126685.
- Wang C., Huang Z. Controlled synthesis of  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanostructures for efficient photocatalysis. *Materials Letters* 2016; 164: 194-197.
- Wei S., Xing P., Tang Z., Wang Y., Dai L. Spindle-shaped cobalt-doped iron phosphide anchored on three-dimensional graphene electrocatalysis for hydrogen evolution reactions in both acidic and alkaline media. *Journal of Power Sources* 2023; 555: 232414.
- Yadav S., Rani N., Saini K. Green synthesis of ZnO and CuO NPs using *Ficus benghalensis* leaf extract and their comparative study for electrode materials for high performance supercapacitor application. *Materials Today: Proceedings* 2022; 49: 2124-2130.
- Zare M., Moradi L. Preparation of hollow mesoporous boron nitride spheres with surface decorated by CuO: A bifunctional acid-base catalyst for the green synthesis of some heterocyclic [3,3,3] propellane derivatives in water media. *Applied Surface Science* 2022; 582: 152454.



## Silolarda Kullanılan Elevatör Kovalarının Maliyet ve Mukavemet Açısından Ashby Metodu ile Optimizasyonu

Melih Gazi KIRPIK<sup>1\*</sup>, Hamit TURKMEN<sup>2</sup>, Tuğrul SAPMAZ<sup>3</sup>, Fethiye YALÇIN<sup>4</sup>, Mehmet Pars SEZER<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup>Cukurova University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, 1380, Adana

<sup>4,5</sup>Cukurova Silo Manufacturing, Adana

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-8011-6331>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-3084-0890>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-3552-1952>

<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0001-7697-5654>

<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0001-9913-2529>

\*Sorumlu yazar: melihgazi\_kirpik@hotmail.com

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 25.08.2022

Kabul tarihi:23.01.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Silo

Ashby metodu

Mekanik analiz

Elevatör kovası

### ÖZ

Silo sistemleri hububat depolamak için kullanılan yapılardır. Genellikle silindirik ya da dikdörtgen şeklinde olup metal, beton ya da tuğla gibi malzemelerden inşa edilirler. Silolar, taşıma, havalandırma ve tahliye gibi alt sistemleri içerebilmektedir. Elevatörlerdeki kovalar, çeşitli tahıl türlerini taşıyan, taşıma sistemi parçalarından biridir. Bu çalışma, kovalar için maliyet ve mukavemet açısından optimum, farklı iklimlerde kullanılan ve enjeksiyon kalıplamaya uygun malzemenin seçilmesini amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, Çukurova Silo Firmasında saatte 80 ton buğdayın taşınmasında kullanılan özel bir kova türü incelenmiştir. Tahıl taşıyan kovalara uygun malzeme seçimi için Ashby yöntemi olarak adlandırılan ileri malzeme seçme tekniği uygulanmıştır. Taşıma esnasında kovada oluşan gerilmeleri bulmak için ANSYS® Mechanical kullanılmıştır. Aday malzemeler özelliklerine göre kıyaslanmıştır. Kova üretimi için bazı malzemeler belirlenmiştir. Son olarak, belirlenen malzemeler ANSYS® Mechanical sonuçlarına göre karşılaştırılıp özel tip kova üzerinde analiz edilmiştir. Sonuç olarak cam elyaf katkılı PA6, optimum malzeme olarak belirlenmiştir.

## Application of Ashby Method for Optimization of High Strength, Low Priced Bucket for Silo Elevators

### Research Article

#### Article History:

Received: 25.08.2022

Accepted: 23.01.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Silo

Ashby method

Mechanical analysis

Elevator buckets

### ABSTRACT

Silo systems are used to store the bulk grain. In general, they are constructed with cylindrical or rectangular shape with steel, concrete, or brick materials. Silos may have subsystems for operation such as transportation, aeration, and discharge. Buckets in elevators are one of the major parts of transportation system which carries various kinds of grains. This study aims to select the optimum material for buckets in terms of strength and cost which are suitable for injection molding that are used in different climates. For this purpose, in Çukurova Silo Company, a specific type of bucket being used for the transportation of 80 ton of wheat per hour was analyzed. To choose the suitable materials for buckets that carry grains, advanced material selection technique, which is called as Ashby method, had been applied. ANSYS®



Mechanical was used to find out stresses during the carriage of the grain. Candidate materials were ranked with respect to their properties. Some materials were determined for the usage of production of the buckets. Finally, the materials were compared with respect to the ANSYS® Mechanical results and tested for this specific type of bucket. As a result, PA6 with fiber-glass variant was chosen as optimum material.

---

**To Cite:** Kırpık MG., Turkmen H., Sapmaz T., Yalçın F., Sezer MP. Application of Ashby Method for Optimization of High Strength, Low Priced Bucket for Silo Elevator. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(3): 2213-2233.

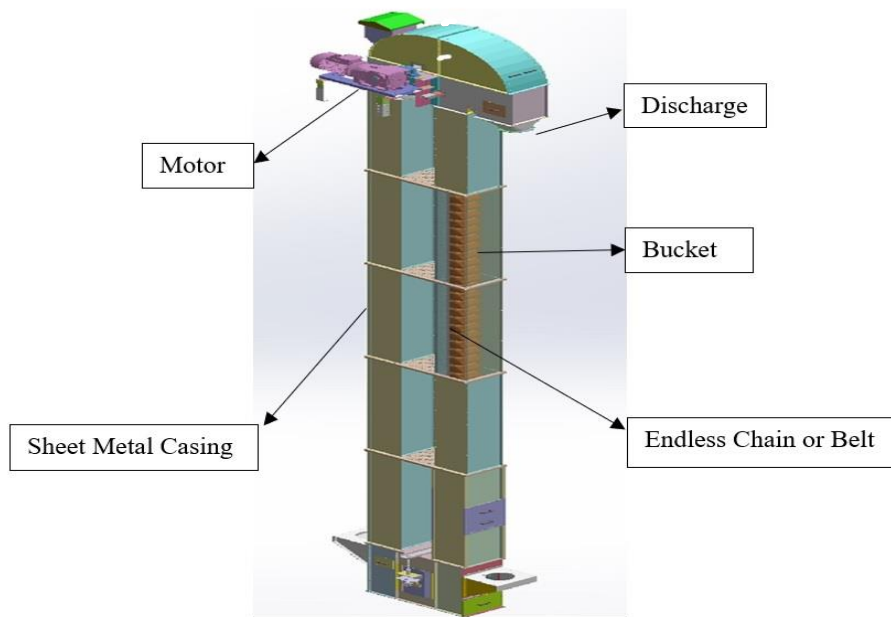
## **1. Introduction**

Bucket elevators are motorized conveying equipment consisting of a continuous belt or chain to which buckets are attached for carrying bulk items in a vertical or severely inclined course. Due to the flexible belt/chain, the buckets travel unidirectional within a casing, collecting bulk items at the bottom end and delivering them at the top end, (Patel et al., 2008).

Elevators consist of four components:

- 1) Buckets to carry the bulk grain.
- 2) A belt to transport the buckets and transfer the pulls.
- 3) Means to operate the belt.
- 4) Attachments for loading buckets or scooping up material, collecting discharged material, regulating belt tension, and enclosing and safeguarding the elevator.

Almost all centrifugal discharge elevators feature rounded bottomed spaced buckets. At the foot pulley, they pick up their load from a boot, a pit, or a mound of material. The buckets can also have a triangular cross shape and be placed close together on the belt with little or no clearance. This is called as a bucket elevator that runs continuously. Its primary use is to transport tough materials at a slow rate. A flat chain with buckets connected every several inches was utilized in early bucket elevators. A rubber belt with plastic buckets is now in use. An example of the bucket elevator and its components are given in Figure 1.1.



**Figure 1.1.** Main parts of elevator conveyor.

A wide variety of material can be a candidate for the production of buckets. Suppliers for the industry are constantly introducing new technical materials. Engineers now have a large variety of materials to choose from 160.000 or more (Ashby, 2011), therefore engineers have to choose optimum and suited materials for their purpose. Advanced material selection method should be used before starting a particular design process. A methodology suggested by Ashby is an advanced material selection approach that generates material charts to find the optimum material for a certain target function, such as increasing strength while minimizing cost or increasing strength while decreasing weight of an object. When this method applied, it provides direction and greatly simplifies the first screening of possible candidate materials. Ashby method was used in several subjects such as High Strength and Lightweight Spur Gear Design (Delibaş et al., 2017), Materials Selection in Micromechanical Design (Srikar and Spearing, 2003). The methodologies are easily implemented as computer-based tools, one of which is the Granta CES Edupack materials selection platform. The Ashby technique considers all material characteristics, including mechanical, physical, optical, and thermal ones (Ashby, 2011). In addition to that, CES Selector is one of the most powerful tools for material selection since it can rank materials based on their material index or indices value, which may be derived using the Ashby approach. Indices that consider tooth form provide a tool for enhancing material co-selection (CES Selector, 2016). One property does not determine performance, it is almost always a mix of traits that is important. As an example, requirement for high strength at a low weight can be given. Performance is limited by material attributes. Machine member designs that are lightweight and low cost are becoming increased by using Ashby's technique. This research aims to select low-cost and high strength materials for certain bucket design that is suitable to use in cold climates which can reach down to  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  by applying Ashby method together with material selection software which is CES

EduPack. The restriction was established as bending or fracture failure criteria and shear failure, with the target function being to reduce the bucket's cost with increasing bending strength, fracture toughness and shear strength. To be able to find candidate materials, Ashby chart was applied and material index value was rated using the CES Selector tool for a specific bucket which is used to transport 80 ton grain per hour. Following the selection of candidate materials, a variety of ranked materials were tested for a specific bucket. The results after material change were compared with each other based on finite element analysis. This method is widely used in engineering research and applications based on its approach and validity compared to actual design. Computer Aided Numerical Damage Analysis of the Axle Shaft (Adin et al., 2022) and Finite Element Analysis of Safety Pin in Snowplow Equipment (Adin et al., 2022) can be given as examples where finite element analysis was used for static structure analysis. It is an efficient way of analyzing and visualizing the behaviors of designed parts in different conditions. In this study ANSYS® Mechanical was used as FEA software.

## **2. Material and Methods**

Different types of material selection procedures, such as choice matrix, PUGH method, analytic hierarchy process (AHP), and others, are accessible in the literature (Dieter et al., 2009). When the approaches' efficiencies are compared, it is clear that the Ashby methodology outperforms the others. Because, in contrast to Ashby's technique, the above-mentioned evaluation methods need experiment and personal judgment. To analyze the prospective materials, the engineer must establish the appropriate weight factors. In the Ashby material selection technique, however, simply employing the required design formula is sufficient to discover the optimum material for the proposed product. Furthermore, because the determination of the material index is parametric research in the Ashby method, the material index of each material is correct and there is no dispute.

### **2.1. Advanced Material Selection (Ashby Method):**

In Ashby method translating the design requirements is the basic step to select the optimum material. It basically includes the following steps:

1-Function: It is the answer of "what does a component do". In this case, Bucket to transport grains for high elevations is suitable for function.

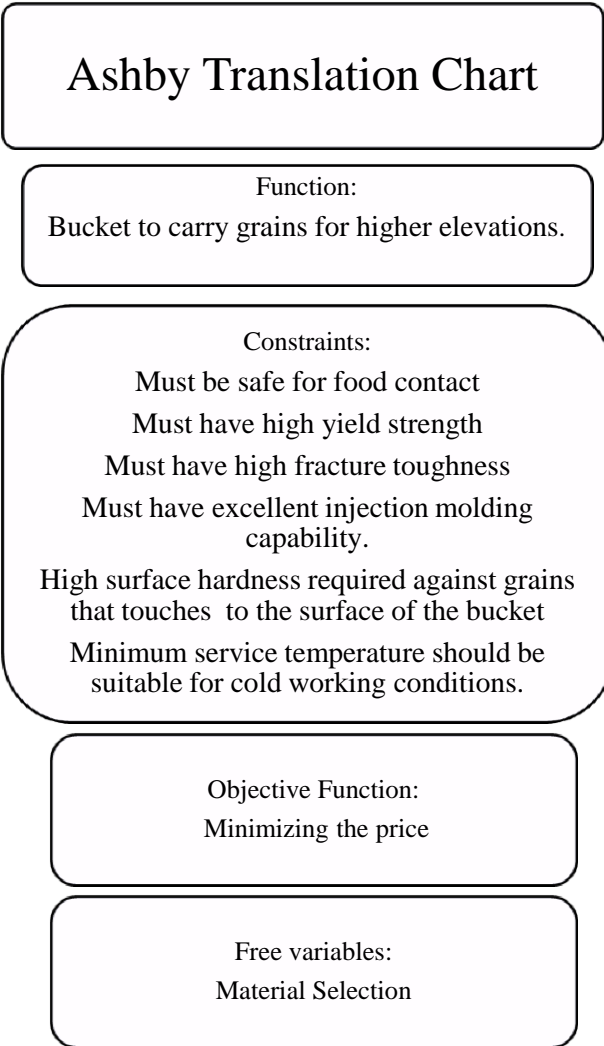
2-Constraint: Constraints are the nonnegotiable conditions to be met. There are two kinds of nonnegotiable constraints must be met, soft and hard constraints.

3-Objective Function: Objective is the aim which is desired to increase or decrease for the material. In our study, objective was chosen to minimize the price, as it is not preferred to cost much more than the cost of the production of the previously used buckets. For this reason, it is desired to choose the one with the low-price as well as meeting the constraints.

4-Free Variables: Free variable can be defined as what the designer is free to change. (Ashby, 2011). In this study shape of the bucket and other variables are constant except material choice. So, material selection is free variable.

For this study the simple Ashby Diagram chart that was created for the selection of appropriate bucket material is given in Table 2.1.

**Table 2.1.** Ashby translation chart



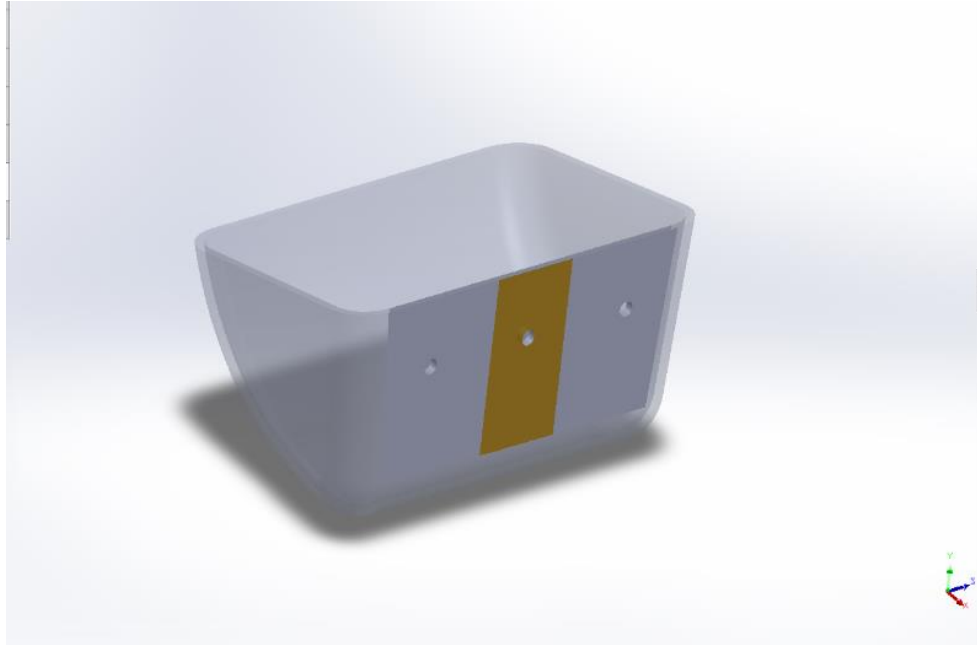
**2.1.1.1. Material Index**

A performance equation is used to determine components’ performance. The material qualities are organized into three groups (Functional Requirements, Geometric Parameters and Material Properties) in the performance equation as it is seen in Figure 2.1. The property that maximizes performance for given design is material properties called as material index. They provide criteria of excellence that allows ranking of materials by their ability to perform well in the given application. Material index provides the selection of optimum material between the materials ranked with respect to constraints (Ashby, 2009).

$$P = [ \left( \begin{matrix} \text{Functional} \\ \text{Requirements, } F \end{matrix} \right), \left( \begin{matrix} \text{Geometric} \\ \text{Parameters, } G \end{matrix} \right), \left( \begin{matrix} \text{Material} \\ \text{Properties, } M \end{matrix} \right) ]$$

**Figure 2.1.** Material performance

In our study the objective function was to minimize the price. Each of slice that bolt effect was the same so that three slices were taken on the bucket to find out material index. Material index was the same for all other slices shown in Figure 2.2.



**Figure 2.2.** Bucket used for 80 ton/hour in CSI

The thickness of section part shown in Figure 2.2. is 6 mm and width is 60 mm.

$$C = C_m p A L \quad (1)$$

In this formula  $C$  is the material cost that is calculated by equation (1).  $C_m$  is the cost of the material to be used per unit weight and  $p$  is the density of the material.  $A$  is the cross-sectional area of the slice shown in Figure 2.2.  $L$  is the length of the cross section shown above.

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{10h^4}{12} \quad (2)$$

$I$  is the moment of inertia and  $b$  is the width of the plate and  $h$  is the thickness of the plate.

$$\begin{aligned} \text{Width} &= 60\text{mm} \\ \text{Thickness} &= 6\text{mm} \end{aligned}$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{M \frac{h}{2}}{\frac{10h^4}{12}} = \frac{6M}{10h^3} \quad (3)$$

In equation (3),  $\sigma$  is stress,  $M$  is bending moment,  $c$  is the outermost perpendicular distance from neutral axis to surface.

$$Area = bh = 10h^2$$

$$A = \left(\frac{6M}{\sigma}\right)^{2/3} \quad (4)$$

$$C = C_m \rho \left(\frac{6M}{\sigma}\right)^{2/3} L \quad (5)$$

$$C = (6M)^{2/3} L \frac{C_m \rho}{\sigma^{2/3}} \quad (6)$$

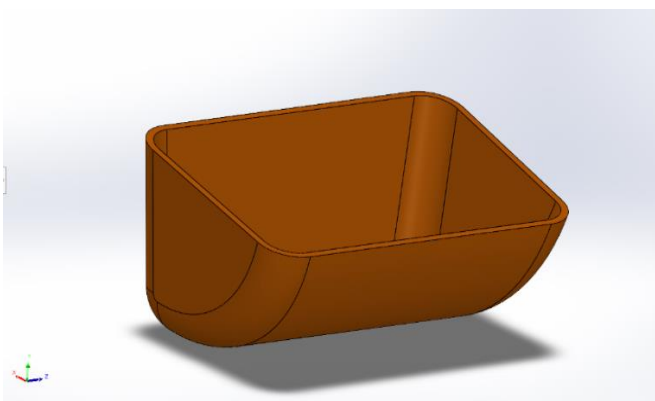
Material index to be minimized is  $M = \frac{C_m \rho}{\sigma^{2/3}}$ .

By using equations 1-6 the material index is found. The necessary calculations are made in order to have a result to find material index by calculating each component that is necessary to find out.

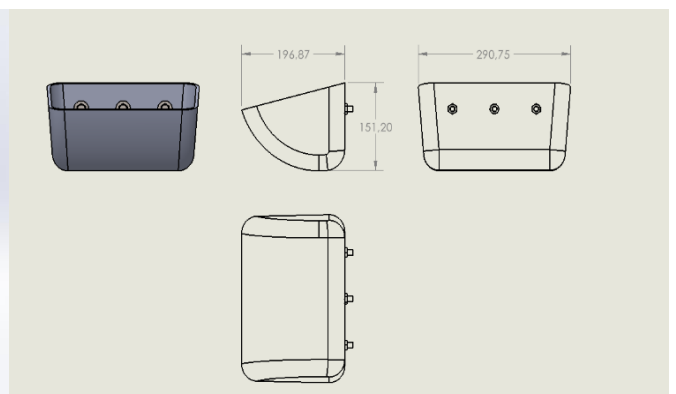
These equations were written by considering the bucket as a beam with high strength as it is subjected to the bending stress mostly.

## 2.2. Grain Weight

The total volume of the empty space that bucket can carry grains was found as 4.9 liters as shown in Figure 2.3. The bulk density of wheat was taken as  $830 \text{ kg/m}^3$  by considering the information taken from Cukurova Silo. So, the total amount of wheat that can be carried is 4.06 kg. The whole body was thought as full of its carriage capacity, as result 4.06 kg wheat is carried and as force is equal to 39.82N (~40N). The technical drawing of the bucket is shown in Figure 2.4.



**Figure 2.3.** Empty volume that grain can be filled

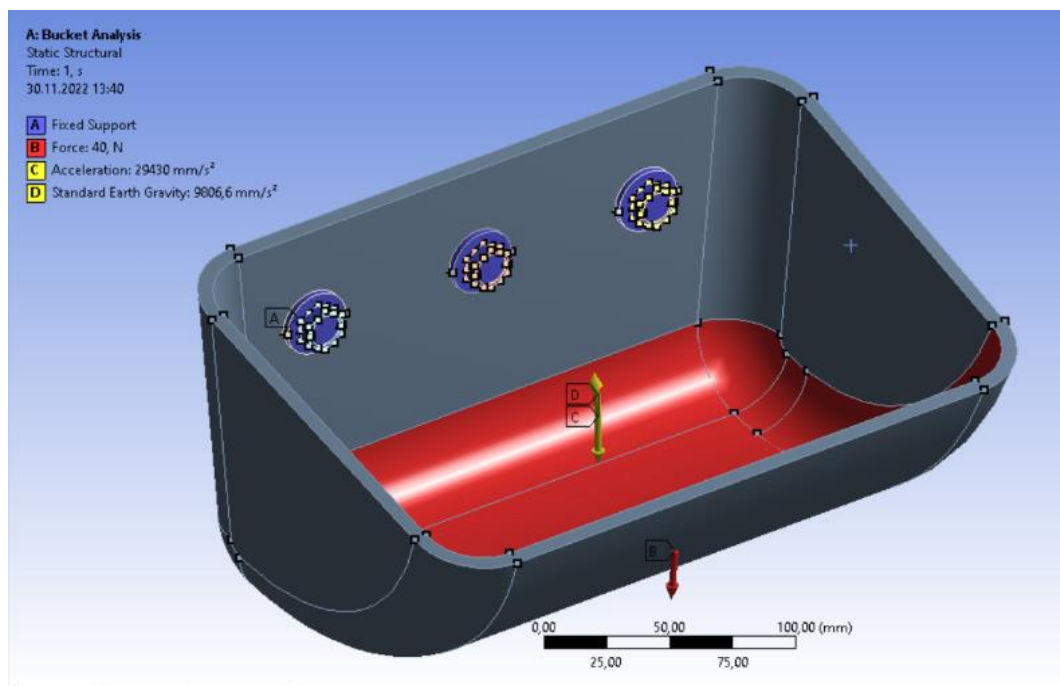


**Figure 2.4.** Technical Drawing of the Bucket

## 2.3. Finite Elements Analysis:

Finite element analysis (FEA) is a widely used tool in engineering application for analysis. It can be used for the applications of structural, fluid flow, energy transportation such as heat transfer and so on.

It is practical and trustful approach to observe the results for demanded application in engineering. To find out the stresses applied to the bucket, whole body was analyzed in ANSYS® Mechanical. Analysis and validation of Eicher 11.10 chassis frame using Ansys (Patel et al, 2013) can be given as a good example for the validation in between real case and simulated results. The result of this study is very close to the real conditions. In our case the outside temperature was selected as -40 °C while inner side of the elevator was selected as -30 °C by considering cold climate working conditions and thermal shock caused by the temperature difference. Weight of the grain that the bucket can contain was applied as force together with gravitational acceleration beside of the acceleration that a bucket can come across in elevator while transporting grain. Bolt connections were accepted as fixed geometry in ANSYS Mechanical modeling. Boundary conditions can be seen in Figure 2.5. For the analysis of the bucket, the weight of grains that the specific type of bucket carries to higher elevations must be determined by using the density of bulk grain and the empty volume of the bucket that grains fill inside. For this purpose, Solidworks software was used to determine the empty volume for grain transportation.



**Figure 2.5** Boundary conditions of static analysis

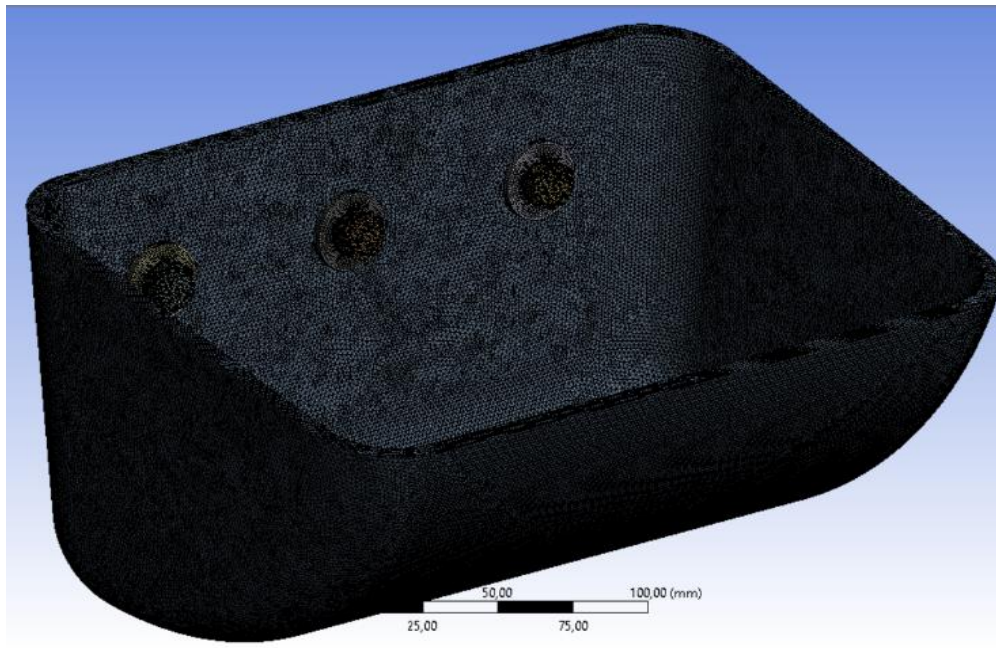
### 2.3.1. Mesh Generation in ANSYS® Mechanical

ANSYS® Mechanical program was used to analyze the results of stresses occurred in bucket. For a reliable result meshing must be done properly. Mesh quality can be determined with respect to some major concepts shown in Table 2.2. Mesh quality values.

**Table 2.2.** Mesh quality values (ANSYS Mesh Quality and Advanced Topics Lecture 7, 2015)

	Excellent	Good	Acceptable	Inacceptable
Skewness	0-0.25	0.25-0.80	0.8-0.94	0.98-1
Aspect Ratio	1	1-5	5-10	20
Orthogonal Quality	1-0.95	0.95-0.2	0.20-0.15	0-0.001

In the analysis of the bucket fine mesh was created with a 100% relevance. Local mesh sizing applied where the force effects are seen mostly on the bucket. These are the regions where bucket and bolt contact with each other as most of the stresses occur at that region. Total number of elements in the mesh is 1863424 and total number of nodes is 2774175. Average aspect ratio is 1.86, skewness is 0.22, and orthogonal quality is 0.77. The mesh of the bucket can be seen in Figure 2.6.



**Figure 2.6.** Mesh generation

#### **2.4. Fracture Toughness:**

Fracture toughness is another important criterion to be found out beside of stresses occurred during the transportation of grains. For a bucket some cracks or flaw propagation can be seen by the time. Mostly these propagations occur at the connection points of the bolts and bucket as high stress effects seen in these regions mostly.

$$K_I = \beta\sigma\sqrt{\pi a} \quad (7)$$



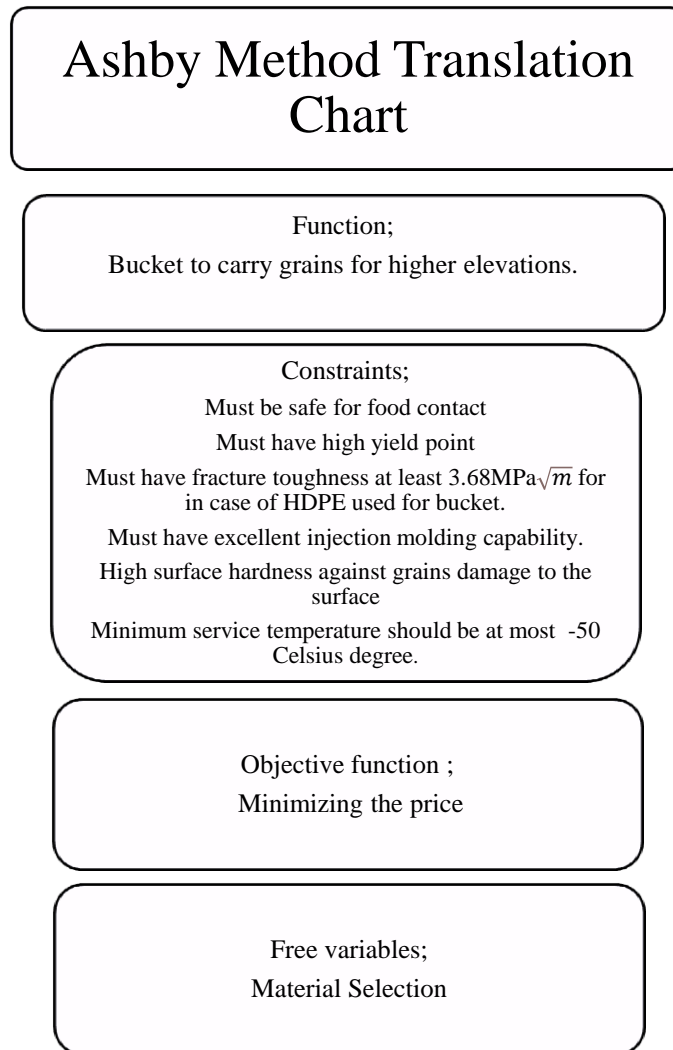
$$\frac{K_{IC}}{K_I} = n \quad (8)$$

$\beta$  is stress intensity modification factor.  $\sigma$  is stress value which is taken from Ansys results.  $a$  is the length of the crack that is allowed to occur.  $K_I$  is stress intensity factor and  $K_{IC}$  is critical stress intensity factor.

### 3. Results and Discussion

In our study, lots of properties were taken into consideration, such as maximum stress that buckets can handle with respect to safety factor of 1.5 at least, also fracture toughness with respect to 2 mm crack propagation as maximum at the edges of the bolt holes. As production method, in general injection molding is used for plastic materials. That's why bucket material must have excellent injection molding process capability. During the loading and unloading of the grains from the bucket, surface of the material is exposed to the friction, and it causes erosion on the surface of the bucket. Especially small sized and sharp-edged grains, such as wheat, may give damage to the surface of the bucket during loading and unloading. That's why high hardness is necessary as soft constraint, and this property provides long term usage without erosion and crack propagation because of friction of the grain. Some of the bucket elevators that are produced in Çukurova Silo Company, work at cold climate conditions. It may cause some problems such as decreasing impact toughness. That's why it is also necessary to withstand cold climates for a bucket. So that, working temperature condition was set up as -40 °C degree or more to analyse in Ansys Mechanical. But as coldest working conditions can be observed as -50 °C degree with respect to information taken from Çukurova Silo Company. Applying Ashby method by using CES Software Application, different candidate materials were ranked depending on constrains mentioned above. Candidate materials were analyzed in ANSYS® Mechanical and results were compared with HDPE material which is currently in usage to produce buckets.

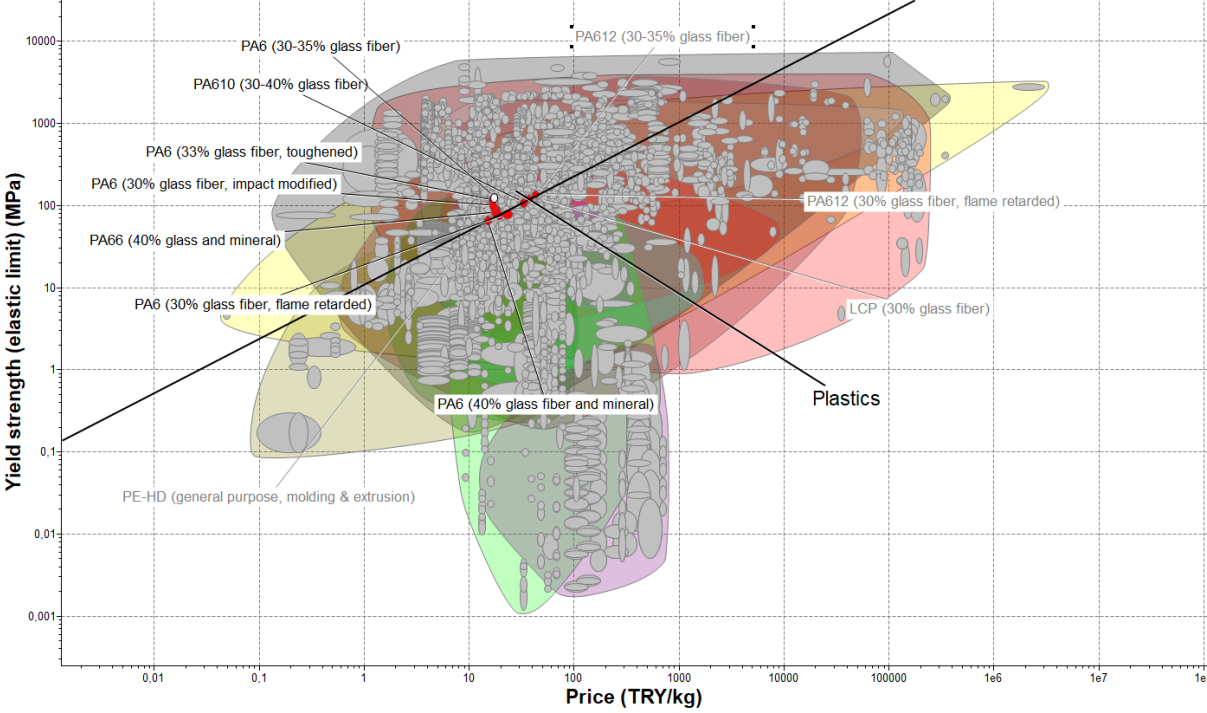
**TABLE 3.1.** Ashby translation chart



### 3.1. CES Software Application

A distinctive collection of instructional tools, Granta CES EduPack supports the use of educational materials. Granta EduPack offers assistance to improve undergraduate course materials instruction. A database of knowledge on materials and processes, tools for selecting items, and a variety of supplementary resources are all included in CES EduPack. A lot of different materials exist in engineering. Ashby charts provide to compare them with different aspects such as yield strength-price or yield strength-density and many more. CES Edupack software provides useful tool to implement Ashby methodology to the charts to select the optimum material together with applying constraints to be met. When the constraints and material index applied to the chart, candidate materials to be ranked seen on the chart. In our study Ashby translation chart was determined in Table 3.1. The constraints applied to the CES Edupack Software and as the aim of this study was to find out the optimum material in terms of yield strength-price, Ashby chart was set to the yield strength-price. Material index found in section 2.1.1. applied to the CES Edupack shown as line with a slope of 2/3 in Figure

3.1 and materials on this line performs equal to each other. Materials located above this line, outperforms to others. Between defined engineering materials, CES Edupack restricted the materials that are not suitable shown as gray dots and suitable materials represented as red dots shown in Figure 3.1.



**Figure 3.1.** Yield strength-price chart

After restriction possible materials were selected to be ranked to find out the optimum one among the other candidates. These materials are labelled in Figure 3.1. and the comparison of them was tabulated in Table 3.2.

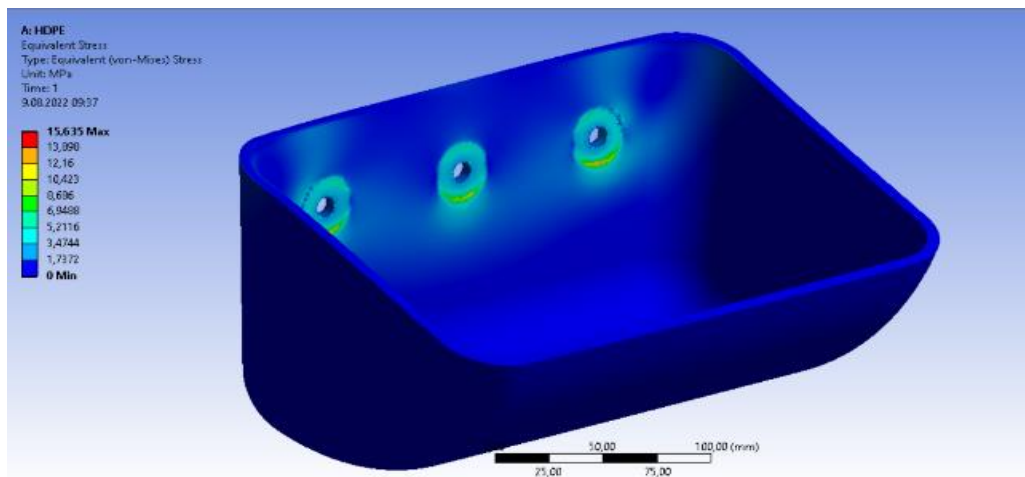
**Table 3.2.** Materials to be ranked (CES Selector, 2016)

Material	Density( $\frac{kg}{m^3}$ )	Tensile Strength(MPa)	Young's Modulus (GPa)	Yield Strength (MPa)	Specific Stiffness (MN.m/kg)	Hardness (Rockwell-R)	Fracture Toughness (MPa.M <sup>0.5</sup> )	Toughness $\frac{kJ}{m^2}$	Impact strength (At -30 C°)
PA6 (30%-35% Fiberglass)	1340-1360	108-132	5.34-6.66	111-139	3.95-4.93	158-175	4.39-4.85	3.09-4.12	6.9-15
PA6 (33% Fiberglass toughened)	1350-1380	104-128	6.34-7.91	103-129	4.64-5.8	156-172	4.55-5.03	2.8-3.74	9.61-20.9
PA66 (40% Glass and Mineral)	1450-1480	74-91	5.11-6.38	74-92.3	3.49-4.36	132-146	4.35-4.81	3.17-4.24	2.29-4.98
HDPE ( General Purpose)	952-965	22.1-31	1.07-1.09	26.2-31	1.11-1.14	45-55	1.52-1.82	2.15-3.04	3.33-16.3
PA 610 (30%-40% Fiberglass)	1330-1360	115-140	5.74-7.16	97.9-122	4.27-5.33	163-180	4.46-4.93	2.97-3.96	***
PA6 (30% Fiberglass Impact Modified)	1290-1310	89-110	4.74-5.91	88.7-111	3.65-4.55	145-160	4.29-4.74	3.33-4.44	9.61-20.9

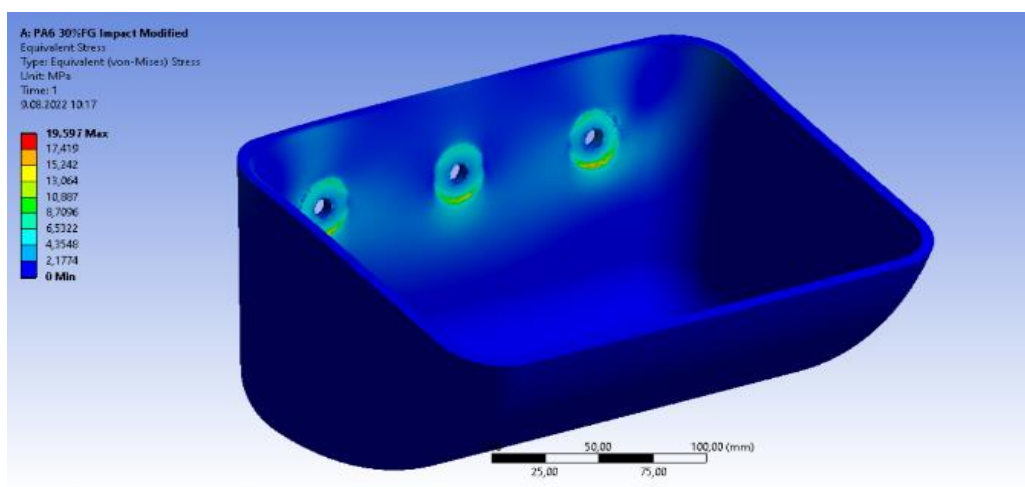
### 3.2. FEA Results

#### 3.2.1. Equivalent von Mises

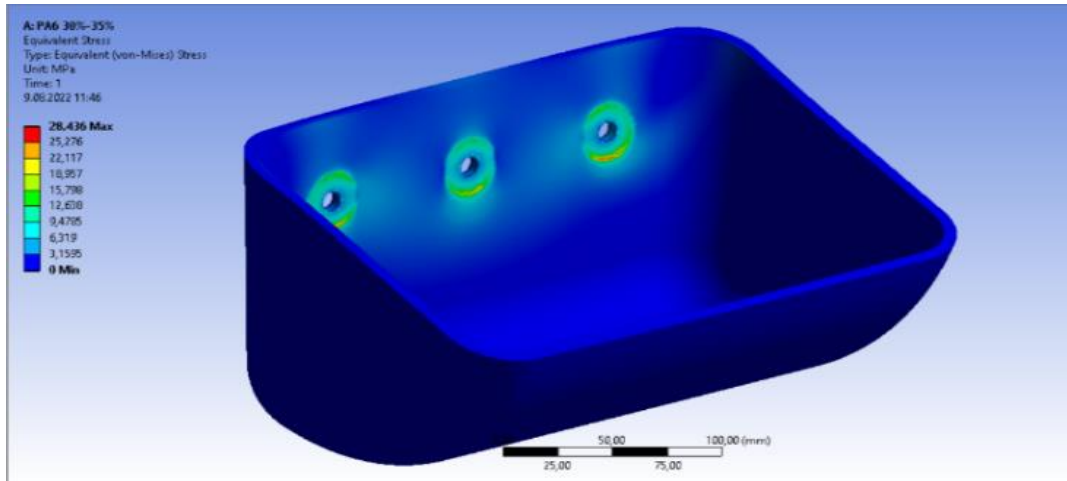
Von Mises found that, even though none of the principal stresses exceeds the material yield stress, yielding is still possible because of the combination of the stresses. The von Mises criterion is a formula for combining the three main stresses into an equivalent stress, which is then compared to the material's yield stress to determine the material's failure state. As a shorthand for the comparable stress, it is frequently referred to as the von Mises Stress (Qiang and Yong, 2014). For the loads applied to the bucket by grain to the bottom surfaces, the von Misses Stress value is maximum 15.635 MPa which is located just behind of the washer for HDPE material seen in Figure 3.2.a. In other regions the effect of the load caused by grains are negligible. For PA6 30% fiberglass impact modified and PA6 with 30%-35% Fiberglass materials stress values are 19.597 MPa and 28.436 MPa as they are seen in the Figures 3.2.b. and 3.2.c. with order.



(a)



(b)

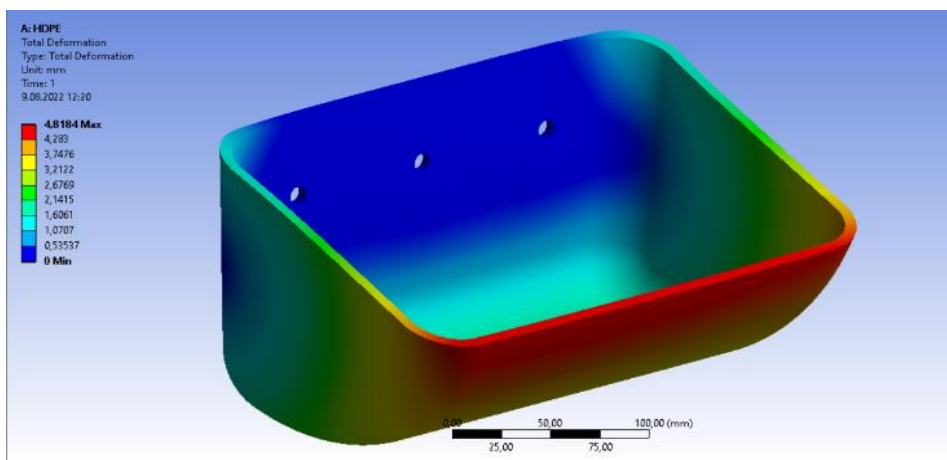


(c)

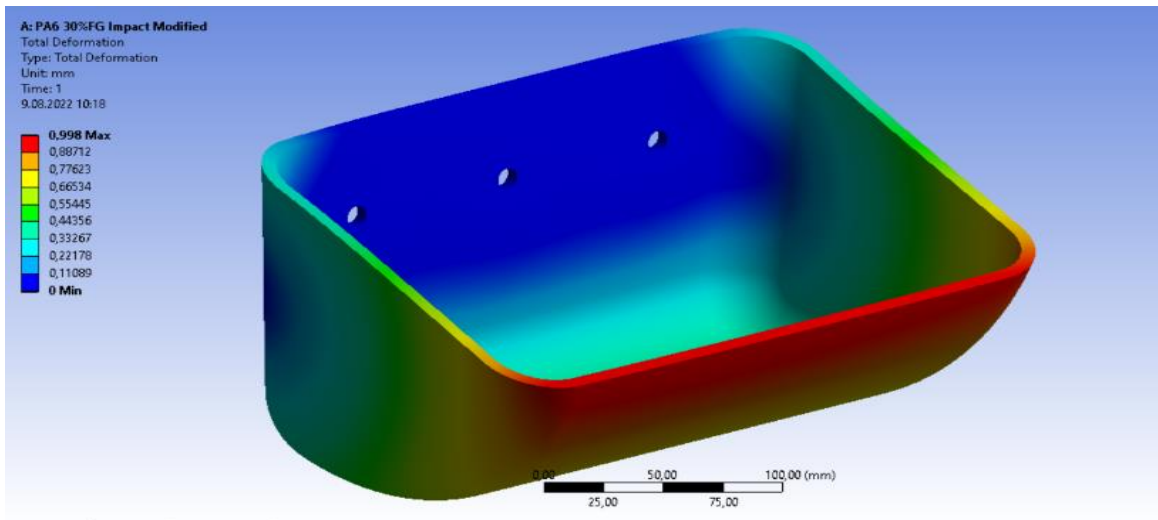
**Figure 3.2.** Equivalent von Mises Stress values for  
 (a) HDPE (b) PA6 30% Fiberglass Impact Modified (c) PA6 30%-35% Fiberglass

### 3.2.2. Total Deformation

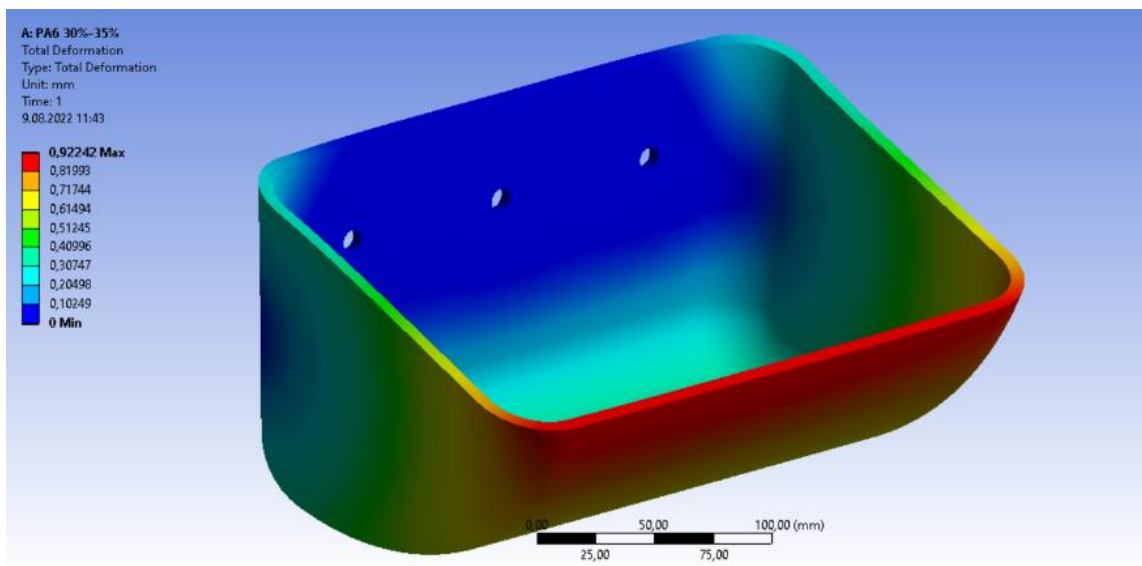
In structural FEA analyses in ANSYS® Mechanical, deformation results are important to understand the effects of stresses on material. ANSYS® provides a very useful deformation tool showing the results clearly. In this bucket, total deformation is 4.8184 mm when HDPE material is selected to be applied. It shows how much the bucket is deformed after loaded with grain. On the other hand, the results of PA6 with 30% Fiberglass-Impact modified and PA6 with 30%-35% Fiberglass was 0.998 mm and 0.922 mm respectively.



(a)



(b)



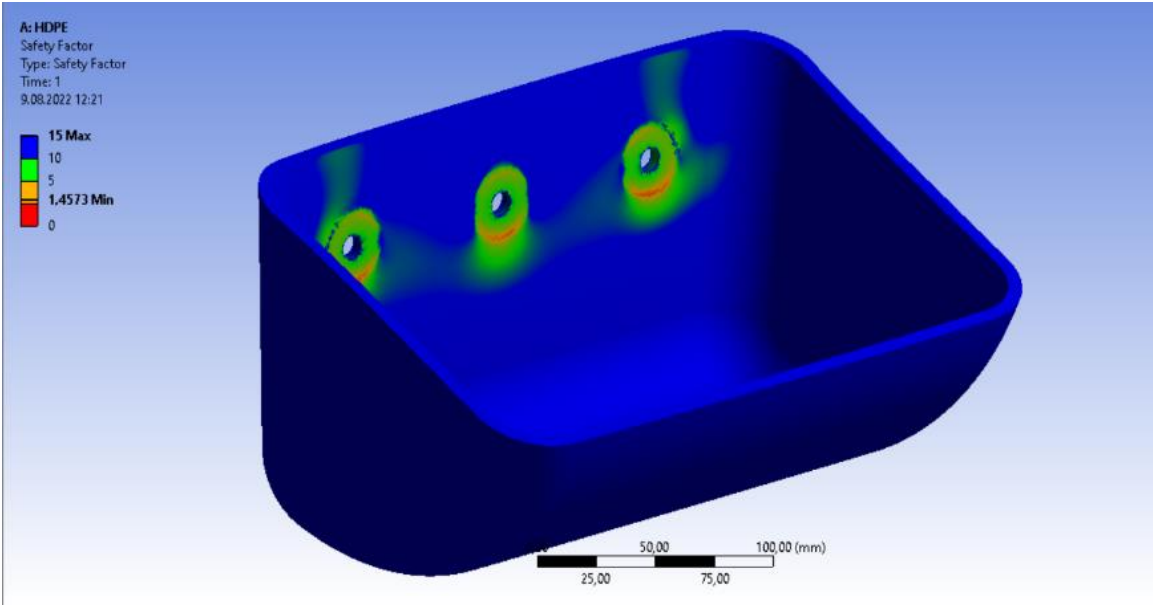
(c)

**Figure 3.3.** Total deformation

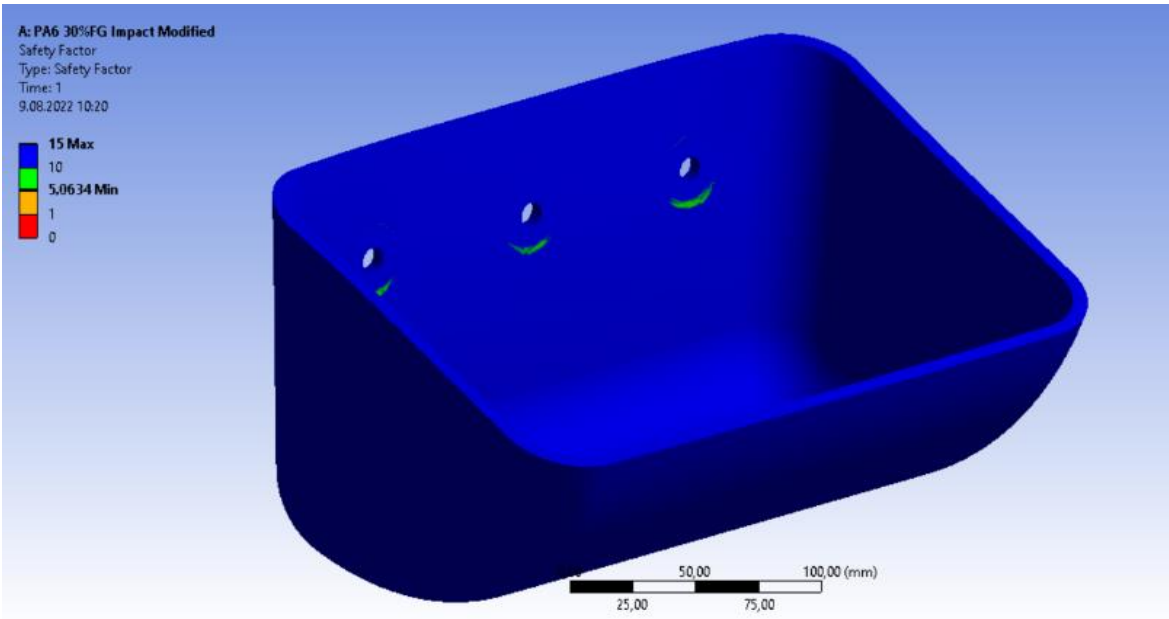
(a)HDPE (b) PA6 30% Fiberglass-Impact Modified (c) PA6 30%-35% Fiberglass

### 3.2.3. Safety Factor

The safety factor is a typical way to represent a ratio between a measure of the maximum load that will not cause the specified type of failure and a matching measure of the maximum load that will be applied. It can also be represented as the ratio of the expected design life to the actual service life in some circumstances (Clausen et al., 2006). For the bucket, which was produced with HDPE, the safety factor was taken as 1.46 against the stress applied to it. On the other hand, it was 5.063 and 4.368 for PA6 30% Fiberglass-impact modified and PA6 30%-35% Fiberglass respectively.

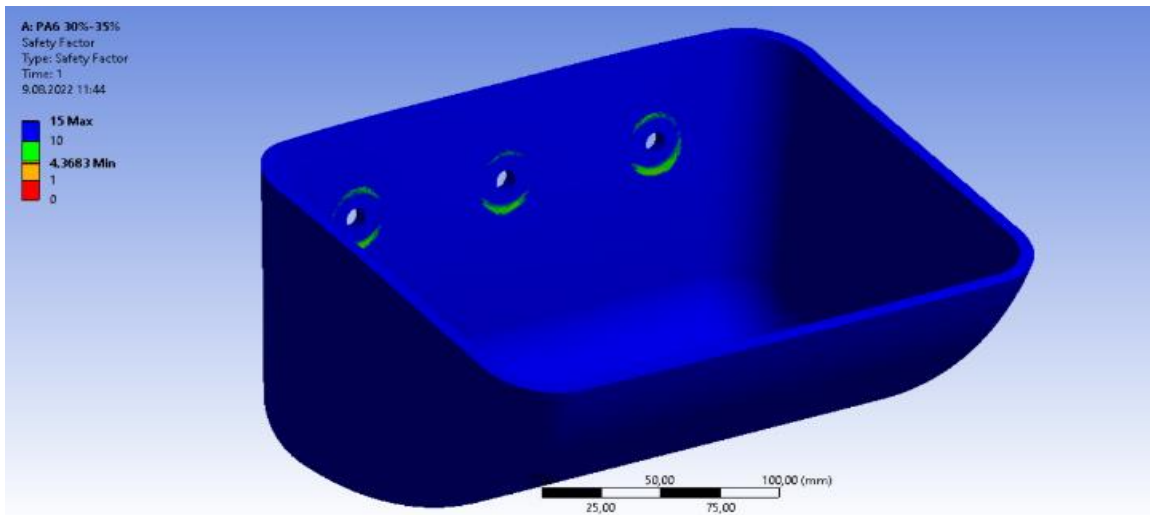


(a)



(b)





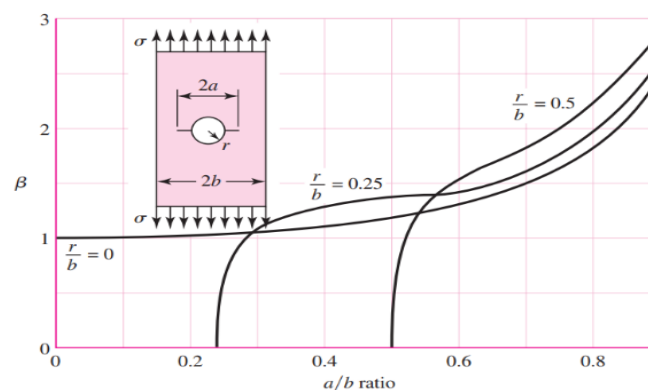
(c)

**Figure 3.4.** Safety factor values

(a) HDPE (b) PA6 30% Fiberglass-Impact Modified (c) PA6 30%-35% Fiberglass

### 3.3. Fracture Toughness Value

Maximum equivalent von Mises stress was 15.635 MPa as seen in the Figure 3.2. (a) when HDPE material was used to produce bucket. With respect to the results of von Mises stresses seen in Figure 3.2.b. and Figure 3.2.c. fracture toughness values found out for the materials, PA6 30% Fiberglass-Impact Modified and PA6 30%-35%-Fiberglass with orders by using equations in section 2.4. With respect to these stresses, fracture toughness values were found in the case of traverse crack was taken as 2 mm in each side of the bolt hole.



**Figure 3.8** Tension in shape containing a circular hole with two cracks. (Budynas and Nisbett, 2011)

Depending on Figure 3.8 Tension in shape containing a circular hole with two cracks, (a) will be 7 mm and  $\beta$  is equal to 1.06 approximately.

For HDPE, PA6 with 30% Fiberglass-Impact modified and PA6 with 30%-35% Fiberglass materials by using the equation (7) and (8) the fracture toughness values are calculated. The results are shown in Table 3.2.

**Table 3.2.** Fracture toughness values of the candidate materials

Material/Fracture Toughness	$K_I$ (MPa $\sqrt{m}$ )	$K_{IC}$ (MPa $\sqrt{m}$ )
HDPE	2.45	3.68
PA6 with 30% Fiberglass-Impact modified	3.08	4.62
PA6 with 30%-35% Fiberglass	4.469	6.70

With respect to the results, it can be clearly concluded that the fracture toughness value for HDPE material with 2 mm cracks at each side of holes to fix the bucket to the belt with bolts was not enough even without taking a safety factor. On the other hand, the fracture toughness value of PA6 material with 30% Fiberglass-Impact Modified was enough to handle with that flaw occurred at sides of holes with safety factor of 1.5. Fracture toughness value for PA6 with 30%-35% Fiberglass was 4.469 MPa $\sqrt{m}$  without safety factor but when safety factor of 1.5 is taken the value is 6.70 MPa $\sqrt{m}$ . From section 3.3 the allowed transverse crack length was taken as 2 mm as maximum from the information taken from Çukurova Silo with respect to the usage and maintenance conditions for the buckets. By applying the force as considering that the grain was wheat to be carried, HDPE material was analyzed by using ANSYS® Mechanical. Results showed that the HDPE material with current design had enough strength to carry grains without any failure in static loading conditions. However, with a transverse crack occurred at the edges of the bolt hole with 2 mm flaw, it was important to have superior fracture toughness value as current design and material used to produce buckets doesn't meet the requirement. With respect to the fracture toughness calculations for materials to be ranked, after safety factor of 1.5 was applied the optimum material is PA6 with 30% Fiberglass-Impact Modified. PA6 has superior properties in long term usage when compared to HDPE, in addition to that has higher value of hardness and thanks to this property, it resists the damage, erosion and wear that material can come across in usage with respect to the contact of grain particles to the surface while deploying and loading conditions. So that, the maintenance cost would be lower compared to HDPE material. HDPE, PA6 material with 30%-35% Fiberglass and 30% Fiberglass impact modified were analyzed and the results were shown from Figure 3.1 to Figure 3.4 with order. Results showed that PA6 with both variations had superior mechanical properties when compared with HDPE. With using same amount of material, HDPE was lighter. But when same strength was demanded, PA6 was lightweight and cheaper. PA6 was found to be superior when compared with HDPE not only in long term but also in short term usage. The fatigue strength was approximately four time higher as long-term aspect. When the short-term usage parameters compared in between PA6 and HDPE,

maintenance, durability against wear resistance, erosion, weight/cost and fracture toughness were much better.

#### **4. Conclusion**

In this study, as an advanced material selection, Ashby method was used as it is efficient way to choose the materials without personal judgment and necessity of experience. The material for the buckets that are used in grain transportation was studied to find out the optimum material which meeting the constraints by applying advanced material selection with Ashby method using CES Edupack material selection program which is suitable for the application of this method. Candidate materials were investigated and compared further. Some of the materials were suitable to choose for the production of bucket that transports 80 ton/hour at a working condition of -50 °C. After candidate materials were applied to a specific bucket geometry some values were found by applying FEA via using Ansys Mechanical software. Results of Ansys Mechanical software showed the material behaviours, deformation, safety factor and von Misses stress values for the materials that have already been used in silo elevator buckets and the materials found by applying Ashby method via CES software. For the specific type of bucket, it was concluded that both of PA6 with 30%-35% Fiberglass and PA6 with 30% Fiberglass-Impact modified were superior to HDPE and optimum materials for buckets for specified conditions. In conclusion, PA6 with 30% Fiberglass-Impact Modified material was found to be the optimum one in terms of price-strength as it could meet the constraints and enough fracture toughness with the consideration of 1.5 safety factor value to carry grains at a temperature of -50 °C for this specific type of bucket.

#### **Acknowledgements**

Thanks to TUBITAK-2244 Sanayi Doktora Programı (Project Number/Name 119C125 Hububat Silosu ve Taşıma Sistemleri Tasarımı ve İmalatı) also to Cukurova Silo Company for conducting this valuable research to be done in their company.

#### **Declaration of conflict of interest**

The authors declare that they have no conflict of interest.

#### **Author Contribution Statements**

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

## References

- Adin H., Ergün RK., Adin MŞ. Computer aided numerical damage analysis of the axle shaft. *European Mechanical Science* 2022; 6(3): 201-206.
- Adin MŞ., Adin H., Ergün RK. Finite element analysis of safety pin in snowplow equipment. *European Journal of Technique (EJT)* 2022; 12(1): 89-92.
- Ansys. Lecture 7: Mesh quality and advanced topics. Ansys, Inc 2015.
- Ashby MF. *Materials selection in mechanical design*. 1th ed. UK: Elsevier Ltd; 2011.
- Ashby MF., Schodek D., Ferreira P. *Nanomaterials, nanotechnologies and design*. 1th ed. UK: Butterworth-Heinemann; 2009.
- Budynas RG., Nisbett JK. *Shigley's mechanical engineering design*. 9th ed. NY: McGraw Hill; 2011.
- [www.grantadesign.com](http://www.grantadesign.com) (Access Date:21.07.2022)
- Clausen J., Hansson SO., Nilsson F. Generalizing the safety factor approach. *Reliability Engineering & System Safety* 2006; 91(8): 964-973.
- Cook RD., Malkus DS., Plesha ME., Witt RJ. *Concepts and applications of finite element analysis*. 4th ed., Wiley, New York, 2002.
- Delibaş H., Uzay Ç., Geren N. Advanced material selection technique for high strength and lightweight spur gear design. *European Mechanical Science* 2017; 1(4): 133-140.
- Dieter GE., Schmidt LC. *Engineering design*. 4th ed. Boston: McGraw-Hill Higher Education; 2009.
- Koster K. Bulk material discharge of bucket elevators, especially high-capacity bucket elevators. *Aufbereitungs-Technik* 1984; 25(8): 450–463.
- Qiang B., Yong B. *Subsea pipeline design, analysis, and installation*. USA: Gulf Professional Publishing 2014; 2014.
- Patel S., Patel S., Patel J. A Review on design and analysis of bucket elevator. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)* 2012; 2(5): 018-022.
- Patel TM., Bhatt MG., Patel HK. Analysis and validation of Eicher 11.10 chassis frame using Ansys. *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science* 2013; 2(2): 85-88.
- Rademacher F. Non-spill discharge characteristics of bucket elevators. *Powder Technology* 1979; 22(2): 215–241.
- Srikar VT., Spearing VT. Materials selection in micromechanical design: an application of the Ashby approach. *Journal of Microelectromechanical Systems* 2003; 12(1): 3-10.
- Vaidya A., Pathak K. Mechanical stability of dental materials. *Applications of Nanocomposite Materials in Dentistry* 2019; 285-305.

## Fesleğenden (*Ocimum basilicum L.*) Sentezlenen Gümüş Nanopartiküllerin İnsan Akciğer Kanseri Hücrelerinde Antikanser Aktivitesinin Araştırılması

Hilal YAVUZ<sup>1\*</sup>, Münevver Müge ÇAĞAL<sup>2</sup>, Hilal ÇALIK<sup>3</sup>, Rabia ÇAKIR KOÇ<sup>4</sup>, Musa TÜRKER<sup>5</sup>

<sup>1-2-3</sup>Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, 16310, Bursa

<sup>4,5</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, 34220, İstanbul

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-3645-2167>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-1786-1216>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-9509-7866>

<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-8545-9878>

<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0003-3195-1119>

\*Sorumlu yazar: hillyvz16@gmail.com

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 21.11.2022

Kabul tarihi: 26.03.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

*Ocimum basilicum L.*

Gümüş nanopartikül

Yeşil sentez

Akciğer kanseri

Antikanser aktivite

### ÖZ

Nanopartiküller (NP) pek çok alanda etkili bir biçimde kullanılmaktadır. Sentezinde fiziksel ve kimyasal yöntemlerin yanı sıra günümüzde oldukça göze çarpan biyolojik yöntemler de mevcuttur. Yeşil sentez olarak da adlandırılan bu metotta insana ve çevreye zarar vermeyecek bileşenler kullanıldığından çalışmada yeşil sentez metodu tercih edilmiştir. Fesleğenin (*Ocimum basilicum L.*) yaprak ve baharatının sulu ekstraktları farklı konsantrasyonlarda kullanılmıştır. Yapılan tekrarlı çalışmalardan elde edilen NP'lerin boyutları incelenmiştir. Dinamik Işık Saçılması (DLS) yöntemi ile boyut analizi sonucunda yapraktan 138,3 nm, baharattan 188,6 nm büyüklüğünde gümüş nanopartiküller (AgNP) elde edilmiştir. Çalışma sırasında sentezlenen tüm AgNP'lerin A549 hücreleri üzerinde sitotoksik etkisi incelendiğinde, 2,5 ve 3,25 mg mL<sup>-1</sup> konsantrasyonları aralığında, boyutu 138,3 nm olan, bekletilmeden kullanılan yaprak fesleğen AgNP'lerinin en fazla sitotoksik etki sağladığı görülmüştür.

## Investigation of Anticancer Activity of Silver Nanoparticles Synthesized from Basil (*Ocimum basilicum L.*) in Human Lung Cancer Cells

### Research Article

#### Article History:

Received: 21.11.2022

Accepted: 26.03.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

*Ocimum basilicum L.*

Silver nanoparticle

Green synthesis

Lung cancer

Anticancer activity

### ABSTRACT

Nanoparticles (NP) are used effectively in many fields. In addition to physical and chemical methods in its synthesis, there are also biological methods that are quite outstanding today. In this method, which is also called green synthesis, the green synthesis method was preferred in the study, since components that do not harm humans and the environment are used. Aqueous extracts of the leaf and spice of basil (*Ocimum basilicum L.*) were used at different concentrations. The sizes of NPs obtained from repeated studies were examined. As a result of dimensional analysis with Dynamic Light Scattering (DLS) method, silver nanoparticles (AgNP) with a size of 138,3 nm from the leaf and 188,6 nm from the spice were obtained. When the cytotoxic effect of various AgNPs synthesized during the study was examined on A549 cells, it was seen that the AgNPs of basil leaves, which were used without waiting, with a size of 138,3 nm, in the concentration range of 2,5 and 3,25 mg mL<sup>-1</sup>, provided the most cytotoxic effect.

**To Cite:** Yavuz H., Çağal MM., Çalık H., Koç RÇ., Türker M. Fesleğenden (*Ocimum basilicum L.*) Sentezlenen Gümüş Nanopartiküllerin İnsan Akciğer Kanseri Hücrelerinde Antikanser Aktivitesinin Araştırılması. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(3): 2234-2246.

## 1.Giriş

Nanoteknoloji, bilim ve teknolojinin uygulamalı alanlarından ilham alır ve mevcut teknolojilerdeki yeniliklerden ortaya çıkan disiplinler arası bir araştırma alanıdır (Zia ve ark., 2016; Muhammad ve ark., 2019). Kimya, fizik, mühendislik ve biyoloji gibi çeşitli disiplinleri, ayrıca atomlar ve moleküller gibi küçük parçacıkları manipüle etme stratejilerini kullanır (Farias ve ark., 2014). Nanoteknoloji, çeşitli nanopartiküllerin (NP) sentezi ve geliştirilmesi ile ilgilenir (Elgorban ve ark., 2016). Nanopartiküller ise 10 ila 100 nm arasında değişen çaplara sahip, mikroskobik boyutlu parçacıklardır (Farias ve ark., 2014). Terapötik ajanları özel bir organ, hücre veya dokuda hedeflenen bir bölgeye güvenli bir şekilde taşımak için potansiyel adaydırlar. Bunlar, ilaç dağıtım ve tutma ile ilgili sorunları büyük ölçüde azaltabilen yeni bileşiklerdir. (Iravani, 2011). NP'ler uzun süredir fiziksel ve kimyasal olarak üretilmiştir, (Nadeem ve ark., 2017) ancak son gelişmeler metal NP'lerin üretiminde mikroorganizmaların ve biyolojik sistemlerin kritik rolünü göstermektedir (Manikandan ve ark., 2021). Bu alanda organizmaların kullanımı, artan başarıları ve NP'lerin oluşum kolaylıkları nedeniyle hızla gelişmektedir. Ayrıca, metal NP'lerin biyosentezi, ağır, toksik ve pahalı kimyasallar kullanılmadan uygulanan çevreye duyarlı bir yöntemdir. Çevreye herhangi bir zararı bulunmamasından dolayı bu sentez yöntemi yeşil kimya alanına girmektedir (Singh ve Raja, 2011). Biyolojik yöntemler arasında NP'lerin bitki bazlı biyosentezi, bitkilerin çeşitli doğası ve kolay bulunabilirliği nedeniyle altın bir teknik olarak kabul edilir (Ankamwar ve ark., 2005). Bitkilerin içerisindeki fitokimyasallar, NP'lerin biyosentezinde stabilize edici ve indirgeyici ajanlar olarak kullanılır (Siddiquah ve ark., 2018). Ayrıca gümüşün (Ag) antibakteriyel etkiye sahip olduğu literatürde mevcuttur (Dehaghi ve ark., 2014). Üretilen NP'nin uygulanan hücre ortamında aynı zamanda antibakteriyel etkiye de sahip olması istendiğinden çalışmada Ag metali seçilmiştir.

*Ocimum basilicum L.* (fesleğen) Lamiaceae familyasına ait aromatik bir tıbbi bitkidir. Yaygın farmasötik potansiyeli sayesinde, yaprak ve çiçeklerinden elde edilen esansiyel yağları nedeniyle oldukça değerlidir. Önemli bir uçucu yağ bitkisi olmasından dolayı da birçok ülkede ticari olarak yetiştirilmektedir (Pedro ve ark., 2017). Fenolik bileşikler ve polifenoller dahil olmak üzere diğer doğal bileşiklerinden kaynaklanan karakteristik bir kokuya ve keskin bir tada sahiptir (Filip, 2017). Fesleğen, böcek kovucu, antibakteriyel, antifungal ve antioksidan aktivitelerinin (Anonim, 2022) yanında, seskiterpenler, fenolik asitler, antosiyaninler, fenilpropanoidler ve monoterenler gibi biyolojik olarak aktif bileşenler içerir (Elgorban ve ark., 2016). Çeşitli *in vivo* çalışmalar, fesleğenin anti-enflamatuar aktivitesini de bildirmiştir. Bu nedenle, fesleğen yaprakları ilaç olarak çeşitli hastalıklarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Hakkim ve ark., 2007).

Tüm bu bilgiler ışığında çalışmada sırasıyla; fesleğenden AgNP'ler yeşil sentez yöntemiyle elde edilmiştir, sentez aşamasındaki işlemlerde elde edilebilecek daha küçük boyutta NP eldesi için

optimizasyon tekrarlarına yer verilmiştir, karakterizasyon amacıyla literatürden faydalanılarak, sentezlenen NP'lerin DLS metodu ile boyut ölçümü yapılmıştır (Zook ve ark., 2011).

**Tablo 1.** A549 Hücre hattında antikanser aktivitesi incelenen yeşil sentez çalışmaları (PA1: Ovaryum kanseri; B16: Fare melanoma hücre hattı MCF-7: İnsan meme kanseri EDX: Enerji dağıtıcı X-ray; FTIR: Fourier dönüştürücülü infrared spektroskopisi; ICP-OES: İndükleyici plazma optik emisyon spektrometresi; SEM: Taramalı elektron mikroskopu; TEM: Transmisyon elektron mikroskopu; UV-Vis: UV-visible absorpsiyon spektroskopisi; XRD: X-ray kırınım cihazı)

Çalışma	Bitki	Kullanılan Kısım	Kanser Hücre Hattı	Boyut(nm)	Şekil	Karakterizasyon Yöntemleri	AgNO <sub>3</sub> (mM)
Khanra ve ark. (2016)	<i>Croton bonplandianum</i>	Yaprak	PA-1, A549	32	Küresel	UV-Vis, TEM, SEM, XRD	1
Palaniappan ve ark. (2015)	<i>Cymodocea serrulata</i>	Yaprak	A549	29,28	Küresel	UV-Vis, DLS, TEM, SEM, XRD, FTIR	1
Mukherjee ve ark. (2014)	<i>Olex scandens</i>	Yaprak	A549, B16, MCF-7	30-60	Küresel	UV-Vis, DLS, TEM, XRD, FTIR, ICP-OES	100
Venkatesan ve ark. (2014)	<i>Rosa damascena</i>	Taç yaprak	A549	15-27	Küresel	UV-Vis, TEM, SEM, FTIR, XRD, EDX	1-10
Khanra ve ark. (2015)	<i>Scoparia dulcis</i>	Yaprak	PA-1, A549	15-25	Küresel	UV-Vis, TEM, SEM, FTIR, XRD, EDX	1

Literatürden faydalanılarak oluşturulan Tablo 1'de yeşil sentez yöntemiyle farklı bitkilerden AgNP elde edilen çalışmalar gösterilmektedir ve elde edilen AgNP'lerin A549 hücre hattında sitotoksik etkisi gözlemlenmiştir (Ovais ve ark., 2016) Farklı bir çalışmada ise başka bir fesleğen sınıfına ait *Ocimum americanum* yaprakları kullanılarak AgNP elde edilmiş ve A549 hücrelerinde apoptozu indüklediği için güçlü sitotoksik etki gözlenmiştir (Manikandan ve ark., 2021). *Ocimum basilicum*'un içerisinde olan ve antikanser aktiviteye sahip olduğu bilinen rosmarinik asit, kikorik asit ve kaftarik asitten (Elensary ve ark., 2015) yola çıkılarak bu bitkiden üretilecek AgNP'lerin de antikanser aktivitesinin olabileceği düşünülmüştür. *Ocimum basilicum*'un antikanser aktivitesi genellikle yaprağının ekstresi veya esansiyel yağı kullanılarak araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar arasında A549 hücre hattına rastlanmamıştır (Perna ve ark., 2022). Yanı sıra bu bitkiden yeşil sentez yöntemiyle elde edilen AgNP'lerin antimikrobiyal, antidiyabetik ve A549 dışındaki farklı kanser hücre hatlarında antiprolaktif aktiviteleri incelenmiştir (Malapermal ve ark., 2017; Abbasi ve ark., 2019). Özetle, fesleğen ile AgNP oluşumuna ilişkin çok sayıda çalışma mevcuttur (Ahmad ve ark., 2010; Manikandan ve ark., 2021). Ancak literatürde, oluşturulan AgNP'lerin akciğer kanseri hücre hattı A549 üzerindeki sitotoksik etkisinin araştırıldığına rastlanmadığından bu aktivitenin incelenmesi çalışmaya özgünlük kazandırmaktadır.

Bu doğrultuda çalışmada son olarak, sentezlenen AgNP'lerin A549 hücre hattı üzerinde sitotoksik aktivitesi 2,3-bis (2-metoksi-4-nitro-5-sülfenil)-5-[(fenilamino) karbonil]-2H-tetrazolyum hidroksit kiti (XTT) kullanılarak araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kimyasallar

AgNP sentezi için kullanılan AgNO<sub>3</sub> ve XTT metodundaki bütün kimyasallar (XTT tuzu, tetrazolyum, DMEM, PMS) Sigma-Aldrich firmasından (Missouri, ABD) temin edilmiştir.

### 2.2. AgNP'lerin Yeşil Sentezi

AgNP sentezi için yeşil yapraklı ve baharat fesleğen lokal marketlerden alındı. Bitki kurutulup AgNP'ler elde edildiğinde kanser hücresi üzerinde sitotoksik etkisinin taze yaprağa göre kıyaslanması için iki türü tercih edildi.



Şekil 1. Kullanılan *Ocimum Basilicum L.* 'nin yaprakları ve baharatı

Yeşil yapraklardan 100 mg mL<sup>-1</sup>, baharattan 20 mg mL<sup>-1</sup> konsantrasyonu sağlayacak şekilde fesleğenler tartılıp saf suyla yıkandı. Üzerine 100 mL distile su eklenip değişken sıcaklık ve AgNO<sub>3</sub> konsantrasyonlarında ısıtıcı manyetik karıştırıcıya (Mini Stirrer, 120V, VWR, US) konuldu. Her örnek için karıştırma hızı 300 rpm'de sabit tutuldu. Karıştırma süresi ise yeşil yapraklar için 30 dk, baharat için 10 dk olarak belirlendi. Tablo 2'de yaprak, Tablo 3'te baharat fesleğen için sentez esnasında kullanılan parametreler sırasıyla gösterilmiştir.

Tablo 2. Yeşil yapraklı fesleğenden AgNP sentezinde kullanılan parametreler

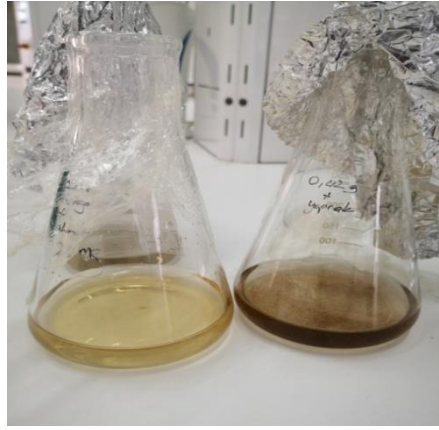
Örnek no	Sıcaklık (°C)	AgNO <sub>3</sub> Solüsyon/ Ekstrakt (% mL)
1	60	80
2	70	90
3	75	90
4	85	80
5	85	70
6	95	80



**Tablo 3.** Baharat fesleğenden AgNP sentezinde kullanılan parametreler

Örnek no	Sıcaklık (°C)	AgNO <sub>3</sub> Solüsyon/Ekstrakt (% mL)
1	60	90
2	70	80
3	80	70
4	90	90
5	100	80
6	110	70

Diğer yandan, literatürdeki çalışmalarla optimize edilen miktarda AgNO<sub>3</sub> (1mM, 0,017 g), 100 mL suyla karıştırılıp 20 dk ağzı kapalı bir şekilde ve ışısız ortamda bekletildi (Ernández-Pinero ve ark., 2016; Manikandan ve ark., 2021). Karıştırıcıdan alınan bitkisel ekstrakt Whatman filtre kağıdından dikkatlice süzöldü ve katı kısımlar atıldı. Toplam hacim 100 mL olacak şekilde Tablo 1 ve 2'de verilen AgNO<sub>3</sub> konsantrasyonlarına göre, pastör pipet yardımıyla ekstrakt ve AgNO<sub>3</sub> solüsyonu oda sıcaklığında 5 dk karıştırıldı. AgNP'lerin oluşumu için karışım ağzı kapalı bir şekilde ışısız ortamda, oda sıcaklığında 24 sa. bekletildi. 24 sa. sonunda, oluşan AgNP'ler sayesinde açık sarıdan kahverengiye doğru bir renk değişimi gözlemlendi.



**Şekil 2.** AgNP oluşumuna dair renk değişimi

Karışımın içindeki büyük parçalar sonikasyon cihazında (Ultrasonic Cell Crusher, JingxinTechnology, Çin) 5 dk boyunca titreşim yoluyla kırıldı ve daha homojen bir karışım elde edildi. UV-vis spektrofotometrede (Shimadzu UV-1700, Japonya) sentezin gerçekleştiğini gösteren, yaklaşık 400 nm'de absorpsiyon göröldü. Daha sonra ürün 50 mL'lik falkon tüplere alındı. +4°C, 5000 rpm'de 12 dk boyunca santrifüjlendi (Sigma 2-16PK, Sigma-Aldrich, Fransa). Sonrasında dipte oluşan pelletler atıldı, üstteki sıvı kısım ayrı tüplere alındı. Tekrar +4°C, 10000 rpm ve 15 dk santrifüjlendi. Bu kez üstteki sıvı kısım atıldı ve yıkama işlemi için tüplere 50 mL distile su eklendi. Bir kez daha +4°C, 10000 rpm'de 15 dk santrifüjlendi. Oluşan sıvı kısım atıldı. Kalan pellet üzerine 5 mL distile su eklendi. Tüm işlemler tamamlandıktan sonra DLS yöntemi ile boyut ölçümü yapıldı.

### 2.3. Sentezlenen AgNP'lerin Karakterizasyonu

Sentezlenen AgNP çözeltilerinin ilk aşamada UV-vis spektrofotometre ile spektroskopik analizi gerçekleştirildi. İkinci karakterizasyon yöntemi olarak, her örneğin solüsyon içerisindeki gerçek boyut

dağılımı DLS metodu ile belirlendi. Ölçümler, örnekler distile su ile seyreltilerek, cihaza (Nano-ZS90, Malvern Instruments Ltd, UK) ait ZEN0040 küveti ile yapıldı.

#### **2.4. AgNP'lerin A-549 Hücre Hattına Karşı *In Vitro* Sitotoksitesisi**

Fesleğen ekstraktının ve elde edilen AgNP'lerin A549 (ATCC; CCL-185) (İstanbul Üni. Tıp Fakültesi, Türkiye) insan akciğer kanseri hücreleri üzerindeki sitotoksik aktivitesi ve uygun çalışma konsantrasyonlarının belirlenmesi 10993-5 standardına uygun olarak XTT [2,3-Bis(2-metoksi4-nitro-5-sulfofenil)-2H-tetrazolyum] canlılık testi ile yapıldı. Bu canlılık testi üç aşamada gerçekleştirildi. İlk aşamada hücreler etkisi incelenmek istenen örneğe maruz bırakıldı. Pozitif kontrol olarak DMSO (dimethyl sulfoxide) kullanıldı. İkinci aşamada örnek uzaklaştırılıp tetrazolyum bileşiği ortama eklendi ve hücrelerle ortalama 4 saat boyunca CO<sub>2</sub>'li inkübatörde (CO-50AIC-PE, SanyoScientific, Japonya) bekletildi. Bu esnada, XTT tetrazolyum tuzu canlı hücrelerde indirgenip formazana dönüştü ve ortamda turuncu renk değişimi gerçekleşti. Son aşamada ise renk değişimi spektrofotometrik yöntemle ölçülerek yüzde canlılık belirlendi. İşlemler sırasında her kuyucukta 1x10<sup>4</sup> hücre olacak şekilde hücre ayrıldı ve üzerine DMEM (Dulbecco's modified eagles media) besiyeri eklenerek süspanse edildi. Süspanse edilen hücrelerden her kuyucuk için 100 µL alınarak 96 kuyucuklu steril mikrolakalara (TermoFisherScientific, Fransa) hücre ekimi yapıldı. Mikrolakalar, 37°C'de %5 CO<sub>2</sub> içeren inkübatörde 24 saat inkübe edildi ve böylece hücrelerin plaka yüzeyine tutunmaları ve konfluent olmaları sağlandı. Örneklerin belirlenen konstrasyonlarıyla hazırlanan solüsyonlardan 100'er µL alındı ve en az 3 tekrar kuyucuğu olacak şekilde konfluent yapı oluşturan hücreler üzerine eklendi. Kontrol grubu olarak herhangi bir örnek içermeyen besiyeri kullanıldı. Mikrolakalar 37°C'de %5 CO<sub>2</sub> içeren inkübatörde 24 saat inkübe edildi. İnkübasyonun ardından, XTT solüsyonu, her mikrolaka için 4 mg XTT tuzu, 10 mL DMEM ve 10 µl N-metil dibenzopyrazin metil sülfat (PMS) kullanılarak hazırlandı ve kuyucuktaki besiyeri pipet yardımıyla çekildikten sonra her bir kuyucuğa hazırlanan solüsyondan 100'er µL eklendi. Mikrolaka, %5 CO<sub>2</sub> içeren inkübatörde 37°C'de 4 saat boyunca inkübe edildi ve inkübasyonun ardından absorbans değerleri çoklu mikrolaka okuyucu yardımıyla (Biotek instrument Inc.) 450 nm dalga boyunda ölçüldü.

#### **2.5. İstatiksel Analiz**

Verilerin istatistiksel analizi GraphPad yazılımı (GraphPadInc. CA, ABD) kullanılarak yapıldı. Örnek ve kontrol ortalamaları, unpaired t-testi kullanılarak karşılaştırıldı. 0,0001'den (p <0,0001) küçük p değerleri istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

### **3. Bulgular ve Tartışma**

#### **3.1. UV-vis Spektrofotometre Analizi**

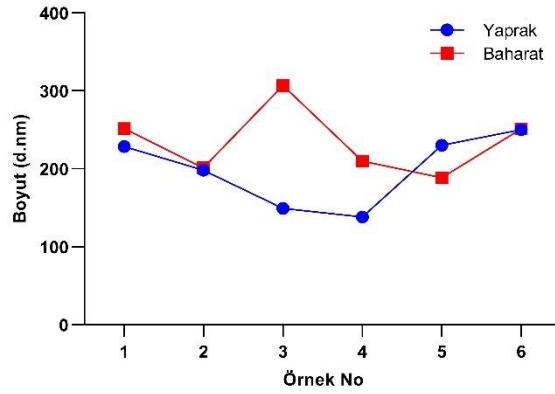
Hazırlanan örnekler UV-vis spektrofotometrede (Shimadzu UV-1700, Japonya) 300-700 nm dalga boyu aralığında tarandı. AgNP'ler için 350-450 nm bölgesinde maksimum absorbans bandı beklenmektedir (Ünal, 2019). Ölçüm sonucunda 400 nm de AgNP'lere ait pik görülmüştür.

### 3.2. DLS Metodu ile AgNP'lerin Boyut Ölçümü

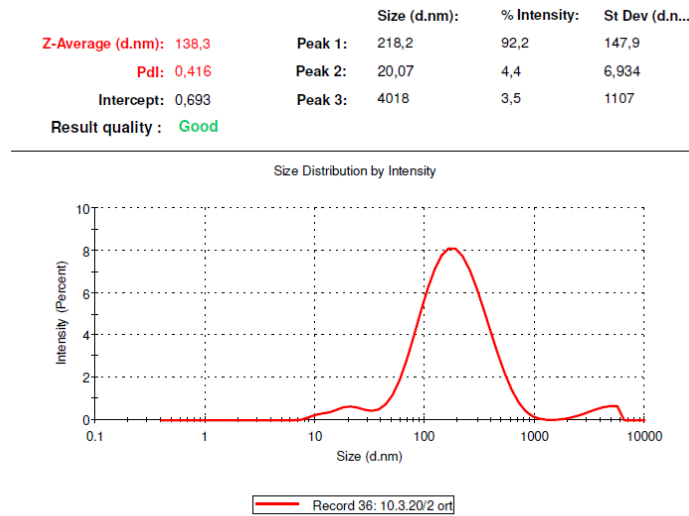
Sentezlenen AgNP'lerin parçacık büyüklüğü, dinamik ışık saçılımı (DLS) metodu ile belirlenmiştir. AgNP sentezi esnasında boyut karşılaştırması yapabilmek için farklı parametreler denenmiştir. Bunların arasında yeşil yapraklı fesleğende 4 nolu (85 °C, %80 AgNO<sub>3</sub> konsantrasyonu), baharat fesleğende ise 5 nolu örnekte (100 °C, %80 AgNO<sub>3</sub> konsantrasyonu) çalışmadaki en küçük AgNP'ler elde edilmiştir. DLS metodu ile boyut ölçümü sonuçları yaprakta 4 nolu örnekte 138,3 d.nm, baharatta 5 nolu örnekte 188,6 d.nm olarak kaydedilmiştir.

**Tablo 4.** AgNP'lerin DLS metodu ile boyut ölçümü sonuçları

No	Yaprak için Boyut Ölçüm Sonucu (d.nm)	Baharat için Boyut Ölçüm Sonucu (d.nm)
1	228,4	251,6
2	198	201
3	149	306,9
4	138,3	209,8
5	230	188,6
6	250	251

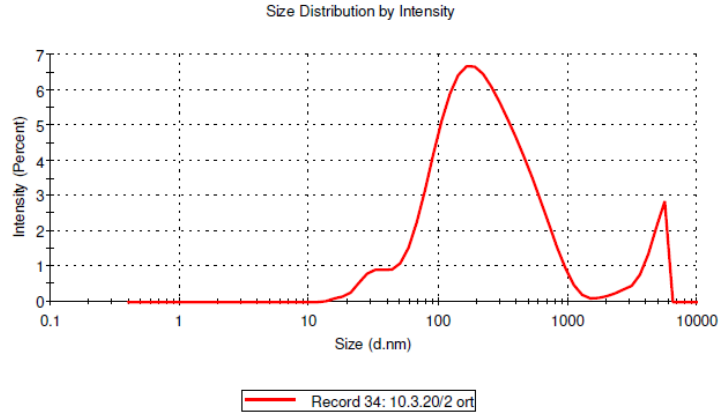


**Şekil 3.** AgNP'lerin DLS metodu ile boyut ölçüm sonuçları (x ekseni örnek numarasını, y ekseni ise DLS metodu ile ölçümü yapılan NP boyutlarını ifade etmektedir)



**Şekil 4.** 4 nolu fesleğen yaprağı kullanılarak sentezlenen nanopartiküllerin boyut dağılımı grafiği

	Size (d.nm):	% Intensity:	St Dev (d.n...
Z-Average (d.nm): 188,6	Peak 1: 270,1	87,9	211,0
Pdl: 0,512	Peak 2: 4446	8,5	1107
Intercept: 0,837	Peak 3: 29,72	3,7	6,400
Result quality : Good			



Şekil 5. 5 nolu fesleğen baharatı kullanılarak sentezlenen nanopartiküllerin boyut dağılımı grafiği

Literatürde yer alan biyosentezlenmiş AgNP'lerin yaklaşık 100-300 nm aralığındaki boyutlara sahip olabileceği gözlenmiştir (Singh ve ark., 2016). Solüsyon içerisinde kalan büyük partiküller, DLS boyutunun artmasına neden olabilmektedir. Uygun büyüklükteki porlara sahip membran filtre kullanılarak büyük parçacıkların uzaklaştırılması ve vorteks uygulanarak aglomerasyonun dağılımı sağlanabilir.

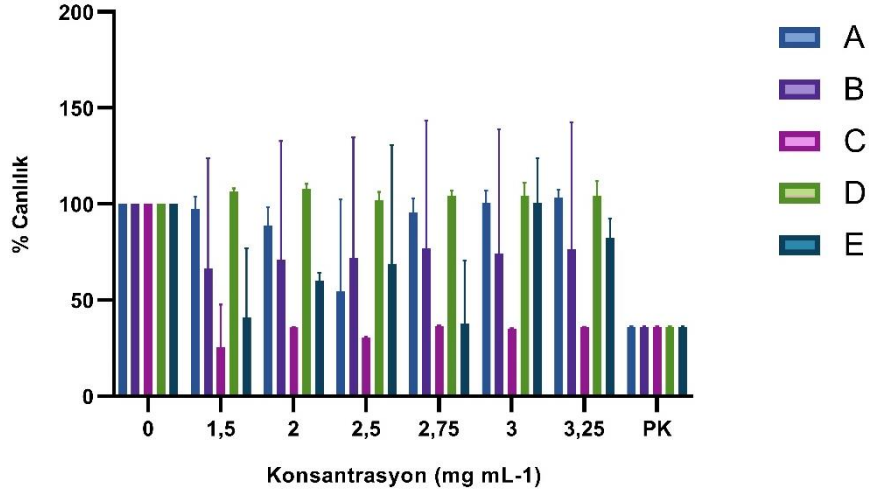
Partikül boyutu ve dağılımları NP'lerin fiziksel olarak stabil olduklarını anlayabilmek için oldukça önemlidir. Bu noktadaki en önemli parametre PDI (Poly dispersity index) değeridir. Foton korelasyon spektroskopik analizinden elde edilir ve parçacığın dağılımını tanımlar. Homojen ve dar bir dağılıma sahip olan parçacıklar için bu değer genel olarak 0,1-0,25 arasındadır. Çok geniş boyutlu dağılıma sahip örnekler için indeks >0,7'dir ve bu örnekler DLS metodu ile ölçüme uygun değildir. Ölçüm sonucu görülen PDI değeri, ideal NP oluşumu için 0,1-0,5 aralığında olmalıdır. Kümelenmiş nanopartiküller, PDI değeri 0,5' ten büyük olduğunda meydana gelir ve daha düşük stabilite sunmaktadır. (Nidhin ve ark. 2008; Tripathi ve ark. 2010; Kavaz, 2011; Özkahraman ve ark. 2011; Ünal, 2019). Çalışmamızda ölçüm sonucunda PDI değerlerinin 0,416 ve 0,512 olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre AgNP'lerin süspansiyondaki dağılımı istenen aralıkta kabul edilebilir ancak sınıra yakın bir değerde olduğundan agregat oluşumu görülebilir.

### 3.3. Fesleğenden (*Ocimum basilicum L.*) Sentezlenen Gümüş Nanopartiküllerin A549 Hücreleri Üzerinde Sitotoksik Etkinin Değerlendirilmesi

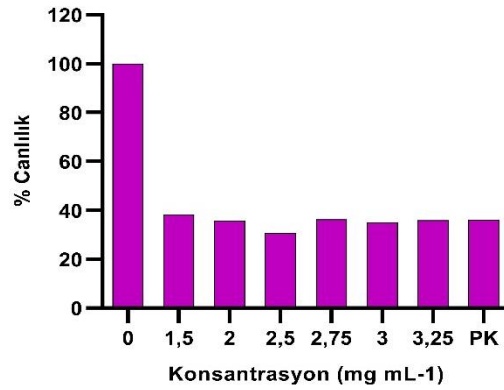
Akciğer kanseri 21. yüzyılın başlarında sık karşılaşılmamasına karşın günümüzde çokça artan önemli bir sağlık sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır. Akciğer kanser tedavisinde kemoterapi, radyoterapi veya kombinasyon tedavilerinin kullanılması; sağlıklı hücrelerin ölümü, çevresel hasar, yüksek

maliyetler gibi hastaların hayat kalitesini düşüren pek çok olumsuz yan etkiler gösterebilmektedir (Greenlee ve ark., 2000). Bu dezavantajlar, araştırmacıları yan etkisi olmayan, yalnızca kanserli dokuyu yok etmeye yönelik terapi araştırmalarına yöneltmiştir. Öte yandan bitkilerden elde edilen doğal ürünler geçmişte ilaç keşfine önemli ölçüde katkıda bulunmuştur ve hala etkin bir biçimde kullanılmaktadır (Anonim, 2017).

XTT metodu ile hücre canlılığının değerlendirilmesinin ardından örneklerin mikropilaka okuyucu ile 450 nm dalga boyunda verdikleri absorban değerleri incelenmiştir. Canlılık değerleri Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. A,B,C,D ve E örneklerinin 1,5 – 3,25 mg mL<sup>-1</sup> konsantrasyonlarda konsantrasyon-canlılık grafiği (A: yeşil yaprak ekstresi, B: 3 ay +4°C'de bekletilen yeşil yaprak AgNP (138,3 nm), C: Sentez sonrası hemen testi yapılan yeşil yaprak AgNP (138,3 nm), D: Liyofilize edilmiş 3 ay +4°C'de bekletilen yeşil yaprak NP (138,3 nm), E: Liyofilize edilmiş 3 ay +4°C'de bekletilen baharat NP (188,6 nm),PK: Pozitif Kontrol)



Şekil 7. C örneğinin canlılık değerleri

Grafiklerden de anlaşılacağı üzere C örneği A549 hücreleri üzerinde diğer örneklere kıyasla daha yüksek sitotoksik etki göstermiştir.

Karşılaştırma amacıyla bitkinin yeşil yapraklı ve kuru baharat halleri kullanılmıştır. Bazı örnekler AgNP eldesinden sonra liyofilizasyon işlemiyle toz haline getirilmiştir. Karşılaştırıldığında yeşil yaprakların baharattan daha fazla sitotoksik etkisi olduğu görülmüştür. Bu duruma, yaprakları baharat

haline getirirken tabii tutulan kurutma aşamasında bitkideki biyoaktif bileşenlerin inaktif hale gelmesinin sebebiyet vermiş olabileceği düşünülmüştür. Literatürde geçmişten beri fesleğen yapraklarının kurutulmadan ilaç olarak çeşitli hastalıklarda yaygın olarak kullanıldığı rapor edilmiştir (Hakkim ve ark., 2007). Bir diğer çalışmaya bakıldığında ise kullanılan tüm örneklerin başlangıç nem içeriği değerleri %82,4 olarak ölçülmüştür (Topdemir, 2019). Daha sonra zamanla mikroçoğaltım ile üretilmiş fesleğen örneklerinin nem içeriği değerleri azaldığı ve belirli bir süre sonra örneklerdeki nemin tamamen uzaklaştığı görülmektedir. Kurutma aşaması sonunda meydana gelen bu yüksek nem farkı fesleğen yaprağındaki birçok biyomekanizmayı etkileyebilmektedir (Topdemir, 2019). Böylelikle bu durumun bitkinin sitotoksik etkinliğini de azalttığı düşünülebilir. Aynı şekilde liyofilizasyon işleminde bitkinin nem içeriği yok olduğundan benzer inaktiflik söz konusu olabilir.

Aynı zamanda örneklerin bekletildiği takdirde etkinliğinin kaybolup kaybolmadığı da denenmiştir. NP'lerin sentez sonrasında direkt kullanımı sonucunda kanser hücreleri üzerindeki sitotoksik etkilerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sentez sonrasında hemen kullanılan yaprak NP'leri A549 hücrelerinin canlılığını %30 oranına indirmiştir. Bekletilen örneklerde ise sitotoksik bir etki gözlenememiştir. Örnekler beklediği süre içerisinde, bitki içeriğindeki biyoaktif bileşenler inaktif hale gelmiş olabilir. Bu süreçte örneklerde meydana gelen reaksiyonlar dizisi bilinmemekte ve literatürde herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

XTT sonuçlarına göre en düşük canlılık %30,49 oranıyla C numunesinin 2,5 mg mL<sup>-1</sup> konsantrasyonunda gerçekleşmiştir.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada baharat fesleğen ve yeşil yapraklı fesleğenden çeşitli parametrelerle, yeşil sentez yöntemiyle AgNP'ler elde edilmiştir. Çalışma sonuçları, literatürü destekler nitelikte olup *Ocimum basilicum L.*'nin AgNP oluşumunda indirgeyici ajan olarak görev yapan biyoaktif bileşiklere sahip olduğunu gösterir. NP'lerin yeşil sentezindeki önemli noktalardan biri de en iyi AgNP'leri üretmek için hangi parametrelerde (sıcaklık, karıştırma hızı, süre, konsantrasyon) çalışılacağına optimizasyonudur. Dolayısıyla çalışmamızda optimizasyonlar sağlanmış ve NP'lerin büyüklüğü kontrol edilmiştir. Tüm sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda 2,5 ve 3,25 mg mL<sup>-1</sup> konsantrasyonları aralığındaki, bekletilmemiş yeşil yaprak fesleğen AgNP'lerinin A549 hücreleri üzerinde en fazla sitotoksik etki sağladığı görülmüştür. Elde edilen NP'lerin görülen sitotoksik etkisinin yanında aynı zamanda maliyetinin çok düşük, hammaddenin kolay bulunabilir olması, yeşil sentez sayesinde çevreye ve biyolojik dokulara zararlı etkilerinin olmaması, kısa sürede sentezinin yapılabilmesi ve tüm aşamalar için pahalı ekipmanlara ihtiyaç duyulmaması büyük kolaylıklar sağlayan avantajlardır.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Makalemiz ile ilgili herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile mali çıkar çatışması yoktur ve yazarlar arasında çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamışlardır.

## Kaynakça

- Abbasi BH., Nazir M., Muhammad W., Hashmi SS., Abbasi R., Rahman L., Hano C. A comparative evaluation of the antiproliferative activity against HepG2 liver carcinoma cells of plant-derived silver nanoparticles from basil extracts with contrasting anthocyanin contents. *Biomolecules* 2019; 9(8): 320.
- Ankamwar B., Damle C., Ahmad A., Sastry M. Biosynthesis of gold and silver nanoparticles using *Emblicofficinalis* fruit extract and their phase transfer and trans metallation in an organic solution. *Journal of Nanoscience Nanotechnology* 2005; 5: 1665–1671.
- Anonim. Bitkilerden ilaç elde edilmesi. 2017. [https://www.ttb.org.tr/makale\\_goster.php?Guid=81aa5bf6-927e-11e7-b66d-1540034f819c](https://www.ttb.org.tr/makale_goster.php?Guid=81aa5bf6-927e-11e7-b66d-1540034f819c) (Erişim Tarihi: 12.06.2021)
- Anonim. Fesleğen faydaları nelerdir?, 2022. <https://www.cnnturk.com/saglik/feslegen-faydaları-nelerdir-neye-iyi-gelir-feslegen-az-bilinen-faydaları> (Erişim Tarihi: 12.06.2021)
- Dehaghi SM., Rahmanifar B., Moradi AM., Azar PA. Removal of permethrin pesticide from water by chitosan–zincoxide nanoparticles composite as an adsorbent. *Journal of Saudi Chemist Society* 2014; 18: 348–355.
- Elansary HO., Mahmoud EA. In vitro antioxidant and antiproliferative activities of six international basil cultivars. *Nat. Prod. Res.* 2015; 29: 2149–2154
- Elgorban AM., Al-Rahmah AN., Sayed SR., Hiran A., Mostafa AAF., Bahkali AH. Antimicrobial activity and green synthesis of silver nanoparticles using *Trichoderma viride*. *Biotechnology Equipment* 2016; 30: 299–304.
- Ernández-Pinero JL., Terrón-Rebolledo M., Foroughbakhch R. Effect of heating rate and plant species on the size and uniformity of silver nanoparticles synthesized using aromatic plant extracts. *Appl Nanosci* 2016; 6: 1183–1190.
- Farias CBB., Silva AF., Rufino RD., Luna JM., Souza JEG., Sarubbo LA. Synthesis of silver nanoparticles using a biosurfactant produced in low-cost medium as stabilizing agent electron. *Journal of Biotechnology* 2014; 17: 122–125.
- Filip S. Basil (*Ocimum basilicum L.*) a source of valuable phytonutrients. *International Journal of Clinical Nutrient Diet* 2017; 3: 118

- Greenlee RT., Murray T., Bolden S., Wingpo CA. Cancer statistics. *Cancer Journal Clinical* 2005; 50: 7-33.
- Hakkim FL., Shankar CG., Girija S. Chemical composition and antioxidant property of holy basil (*Ocimum sanctum L.*) leaves, stems, and inflorescence and their *in vitro* callus cultures. *India Journal of Agricultural Food Chemistry* 2007; 55: 9109–9117
- Iravani S. Green synthesis of metal nanoparticles using plants. *Green Chemistry* 2011; 13: 2638–2650
- Kavaz D. Nanopartiküller. *Nanobülten, Aylık Nanoteknoloji ve Nanotıp Dergisi* 2011; 13, 12-19.
- Khanra K., Panja S., Choudhuri I., Chakraborty A., Bhattacharyya N. Antimicrobial and cytotoxicity effect of silver nanoparticle synthesized by *Croton bonplandianum* Baill. leaves. *Nanomedicine J.* 2016; 3(1): 15–22
- Khanra K., Panja S., Choudhuri I., Chakraborty A., Bhattacharyya N. Evaluation of antibacterial activity and cytotoxicity of green synthesized silver nanoparticles using *Scoparia dulcis*. *Nano Biomed. Eng.* 2015; 7(3): 128–133
- Malapermal V., Botha I., Krishna SBN., Mbatha JN. Enhancing antidiabetic and antimicrobial performance of *Ocimum basilicum*, and *Ocimum sanctum (L.)* using silver nanoparticles, *Saudi Journal of Biological Sciences* 2017; 24: 1294-1305
- Manikandan DB., Sridhar A., Sekar RK., Perumalsamy B., Veeran S., Arumugam M., Karuppaiah P., Ramasamy T. Green fabrication, characterization of silver nanoparticles using aqueous leaf extract of *Ocimum americanum* (Hoary Basil) and investigation of its *in vitro* antibacterial, antioxidant, anticancer and photocatalytic reduction. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2021; 9(1): ISSN 2213-3437
- Muhammad W., Khan MA., Nazir M., Siddiquah A., Mushtaq S., Hashmi SS., Abbasi BH. *Papaver omniferum L.* mediated novel bioinspired leadoxide (PbO) and ironoxide (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanoparticles: In-vitro biological applications, biocompatibility and their potential towards HepG2 cellline. *Material Science Engineering* 2019; 103: 109740.
- Mukherjee S., Chowdhury D., Kotcherlakota R. et al. Potential theranostics application of bio-synthesized silver nanoparticles (4-in-1 system). *Theranostics* 2014; 4(3): 316–335.
- Nadeem M., Abbasi BH., Younas M., Ahmad W., Khan T. A review of the green synthesis and antimicrobial applications of gold nanoparticles. *Green Chemistry* 2017; 10: 216–227.
- Nidhin M., Indumathy R., Sreeram KJ., et al. Synthesis of iron oxide nanoparticles of narrow size distribution on polysaccharide templates. *Bull Mater Sci* 2008; 31: 93–96.
- Ovais M., Khalil AT., Raza A. Green synthesis of silver nanoparticle via plant extracts: beginning a new era in cancer theranostics, *Nanomedicine* 2016; 11(23): 3157-3177.
- Özkahraman B., Acar I., Güçlü G. Mikrojeller ve uygulama alanları. *Nanoteknoloji Günleri, Kocaeli Üniversitesi*, 2011.



- Palaniappan P, Sathishkumar G, Sankar R. Fabrication of nano-silver particles using *Cymodocea serrulata* and its cytotoxicity effect against human lung cancer A549 cells line. *Spectroch Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.* 2015; 138: 885–890.
- Pedro AC, Moreira F, Granato D, Rosso ND. Extraction of bioactive compounds and free radical scavenging activity of purple basil (*Ocimum basilicum L.*) leaf extracts as affected by temperature and time. *Ann. Braz. Acad. Sci* 2017; 88: 1055–1068.
- Perna S, Alawadhi H, Riva A, Allegrini P, Petrangolini G, Gasparri C, Alalwan TA, Rondanelli M. In vitro and in vivo anticancer activity of basil (*ocimum spp.*): Current insights and future prospects. *Cancers.* 2022; 14(10): 2375.
- Siddiquah A, Hashmi SS, Mushtaq S, Renouard S, Blondeau JP, Abbasi R, Hano C, Abbasi BH. Exploiting *in vitro* potential and characterization of surface modified ZincOxide nanoparticles of *Isodonrugosu* sextract: Their clinical potential towards HepG2 cell line and human pathogenic bacteria. *Excli. Journal* 2018; 17: 671–687.
- Singh P., Kim YJ., Zhang D., Yang DC. Biological synthesis of nanoparticles from plants and microorganisms. *Trends in Biotechnology* 2016; 34(7): 588-599.
- Singh P., Raja RB. Biological synthesis and characterization of silver nanoparticles using the fungus *Trichodermaharzianum*, *Asian J. Exp. Biol. Sci* 2011; 2: 600–605.
- Topdemir A. Mikroçoğaltımla üretilmiş fesleğenin (*Ocimum basilicum l.*) tepsili kurutucuda kuruma karakteristiğinin belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi* 2019; 31(2): 545-550.
- Tripathi A, Gupta R, Saraf SA. PLGA nanoparticles of anti tubercular drug: drug loading and release studies of a water in-soluble drug, *Int. J. PharmTech. Res* 2010; 2: 2116-2123.
- Ünal İ. *Rheum Ribers* (Işgın) ve *Paeonia Kesraunensis* (Ayıgülü) bitkilerinin ekstraktından gümüş nanopartikül sentezi, karakterizasyonu ve sitotoksitesinin belirlenmesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Tokat, Türkiye, 2019.
- Venkatesan B, Subramanian V, Tumala A, Vellaichamy E. Rapid synthesis of biocompatible silver nanoparticles using aqueous extract of *Rosa damascena* petals and evaluation of their anticancer activity. *Asian Pac. J. Trop. Med.* 2014; 7(1): S294–S300.
- Zia M, Gul S, Akhtar J, ulHaq I, Abbasi BH, Hussain A, Naz S, Chaudhary MF. Green synthesis of silver nanoparticles from grape and tomato juices and evaluation of biological activities. *IET Nanobiotechnology* 2016; 11: 193–199.
- Zook JM, Long SE, Cleveland D. Measuring silver nanoparticle dissolution in complex biological and environmental matrices using UV–visible absorbance. *Anal. Bioanal. Chem.* 2011; 6: 401-410.



## Tarsus Tarihi Ticaret Merkezinin Kentsel Mekân Düzeninde Değerlendirilmesi ve Koruma Önerileri\*

Merve DENİZ<sup>1</sup>, Nur UMAR<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık ABD, 26000, Eskişehir

<sup>2</sup> Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 01010, Adana

<sup>1</sup> <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0002-6341-0264>

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0296-3671>

\*Sorumlu yazar: numar@atu.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 07.11.2022

Kabul tarihi:03.04.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Tarihi ticaret merkezi

Geleneksel doku

Koruma

Tarsus

### ÖZ

Bir devinim halinde olan kentler değişip gelişirken bünyelerinde konumlanan mekânların söz konusu değişimlerden etkilenmesi kaçınılmazdır. Bu mekânlardan biri kent merkezleridir. Çalışma kapsamında ele alınan Tarsus kentinin ılıman iklimi, stratejik konumu ve limanının varlığı kentin önemli bir ticaret merkezi durumuna gelmesine katkı sağlamıştır. Ancak 19. yüzyılda Mersin'in liman kent olarak öne çıkmasıyla Tarsus geri planda kalmış ve zamanla ilçe statüsüne gerilemiştir. Dolayısıyla yerleşim, ticari faaliyetlerdeki aktifliğini yitirmeye başlamış ve zamanla modern alışveriş merkezlerinin inşa edilmesiyle de kent merkezi başka bölgelere kaymıştır. Böylelikle gittikçe mekânsal ve işlevsel özelliklerini kaybetmiştir. Günümüzde bu merkez Şehitkerim Mahallesi'nde konumlanmaktadır. Bu çalışmanın amacı; Tarsus Tarihi Ticaret Merkezi'nin mevcut geleneksel yerleşim dokusunu değerlendirmek ve bölgenin potansiyelleri ile problemlerini tespit edip bu merkezin gelecek kuşaklara aktarılmasına yönelik koruma önerileri geliştirmektir. Araştırma kapsamında çeşitli kaynaklardan literatür taraması yapıldıktan sonra çalışma alanının mekansal analizleri yapılmış ve ardından bu alanın problemleri ile potansiyelleri tespit edilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda söz konusu yerleşimin gelecek kuşaklara aktarılması için koruma önerileri geliştirilmiştir.

## Evaluation of Tarsus Historical Trade Center in Urban Space Layout and Conservation Suggestions

### Research Article

#### Article History:

Received: 07.11.2022

Accepted: 03.04.2023

Published online: 04.12.2023

### ABSTRACT

While the cities that are in a state of movement change and develop, it is inevitable that the spaces located within them will be affected by these changes. One of these places is urban centers. The temperate climate, strategic location and the presence of the port of Tarsus, which

\* Bu makale, A. T. Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda Dr. Öğretim Üyesi Nur Umar danışmanlığında Merve Deniz tarafından hazırlanmış olan "Kentsel Bellek Bağlamında Tarsus Tarihi Ticaret Merkezinin Değerlendirilmesi" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

---

**Keywords:**

Historical trade center  
Traditional pattern  
Conservation  
Tarsus

is considered within the scope of the study, have contributed to the city becoming an important trade center. However, in the 19th century, when Mersin came to the fore as a port city, Tarsus remained in the background and declined to the status of a district over time. Therefore, the settlement began to lose its activity in commercial activities and over time, with the construction of modern shopping centers, the city center shifted to other regions. Thus, it gradually lost its spatial and functional properties. Today, this center is located in Şehitkerim Neighborhood. The aim of this study is to evaluate the existing traditional settlement texture of Tarsus Historical Trade Center and to identify the potentials and problems of the region and to develop conservation proposals for the transfer of this center to future generations. Within the scope of the research, after the literature review was made from various sources, physical analyzes of the study area were made and then the problems and potentials of this field were determined. In line with the data obtained, conservation recommendations have been developed to transfer the settlement to future generations.

---

**To Cite:** Deniz M., Umar N. Tarsus Tarihi Ticaret Merkezinin Kentsel Mekân Düzeninde Değerlendirilmesi ve Koruma Önerileri. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(3): 2247-2266.

## 1. Giriş

Kentler; toplumların bir arada yaşamsal faaliyetlerini devam ettirdiği, fiziksel ve sosyal yapının biçimlendirdiği mekânlardır. Tarih boyunca daima değişime uğrayan çok katmanlı yerleşimler olan kentler, toplumsal sürekliliği sağlamakta ve bireylerin kültürel yapısının birer kalıntısını oluşturmaktadır. Söz konusu kentlerin bünyelerinde konumlanan yapılar, kentsel dokular, vistalar ise yerleşime tarihi değer ile kimlik kazandırmaktadır. Boyer (1994), her kentin bünyesinde eskiye ait izlerin varlığından bahsederek bu izler sayesinde farklı kent yapılarının meydana geldiğini ifade etmiştir (Boyer, 1994). Ancak sanayileşmeyle birlikte değişmeye başlayan gereksinimlerin, modernleşme ve küreselleşme akımlarıyla devam etmesi bireylerin yeni alanlara yönelmesine ve beraberinde kentleşme sürecinin hızlanmasına neden olduğundan kentler, tek tipleşmeye doğru gitmektedir (Biol, 2007). Bakımsızlık, terk, vandalizm gibi tehlikelerle de tarihi kent merkezleri gittikçe arka plana atılmış, özgün doku ve yöresel değerler kaybolmaya başlamıştır.

Tarihi çevreler; geçmişte yaşamış toplumlardan günümüze gelen yerleşimlerden ve kalıntılardan oluşmakta olup yer aldıkları kentlerin süreç boyunca yaşadıkları izleri taşımaktadır (Ahunbay, 2004). Bu çevreler konumlandıkları kentlerin kültürel, sosyal, teknolojik öğeleriyle şekillenmekte ve bu sayede o kentin kimlik öğelerini meydana getirmektedir. Söz konusu öğeler tarihsel süreç boyunca birtakım değişimler ve dönüşümler geçirerek mevcudiyetlerini sürdürmüşlerdir. Fakat teknolojinin hızlıca gelişmesi yeni ihtiyaçların doğmasına zemin hazırladığından zamanla bu alanlar yeterli gelmeyerek fiziksel ve kültürel yapılarında değişiklikler yaşanmıştır (Akın ve İzgi, 2021). Nitekim tarihi dokuların korunmasının önemine dair ilk adım 1964'te Venedik Tüzüğü ile olmuştur. Bu kapsamda tek yapı ölçeğinden kentsel ölçeğe geçilerek bütüncül koruma önem kazanmıştır. Ancak hızlı kentleşme ile yaşanan çevresel sorunlar, toplumsal ve işlevsel değişimler tarihi çevrenin özgün bir biçimde muhafaza edilmesini zorlaştırmıştır (Enlil, 1992). 1975 yılında ise bu zorlukların çözülmesi için Amsterdam Bildirgesi ortaya konularak tarihi çevrelerin bütünlük koruma anlayışıyla

muhafaza edilmesi kararlaştırılmıştır. Bu bağlamda koruma çalışmalarında toplumun da göz önüne alındığı çözümlerin sunulmasına dikkat çekilerek tarihi çevrede yaşamsal faaliyetlerini sürdüren bireylerin korumaya katılımının gerekliliği belirtilmiştir (Aksoy ve ark., 2012).

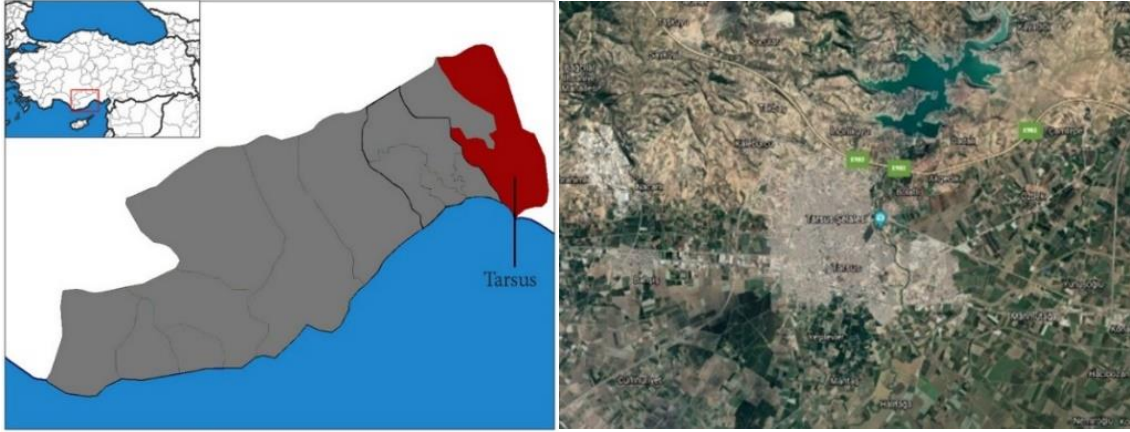
Tarihi yerleşimler, kent ile etkileşim halinde oldukları için kentlerin birer parçaları durumundadır. Özellikle kentlerde yaşamsal faaliyetlerini sürdüren toplumların tarihlerini, kültürlerini ve sosyal yaşantılarını gösteren değerli bölgelerdir. Bu nedenle kentlerin birer kimliklerini meydana getirmelerinin yanı sıra geleneksel dokuyu da yansıtmaktadırlar. Her ne kadar yerleşimlerin geçmişi hakkında bilgiler sunsalar da kentlerin gelişmesi sonucunda ihtiyaçlar artınca mevcut koşullara ayak uydurmakta zorluk çekmektedirler. Nüfusun hızla artması ve kentleşme gibi durumlar bu yerleşimleri etkilemiştir. Bu durumlar neticesinde özgün dokuları bozularak zamanla yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalmışlardır (Gedik, 2015). Dolayısıyla bu yerleşimlerin korunması ile kültürel mirasın yitirilmesini önlemek ve gelecek kuşaklara aktarmak amaçlanmaktadır (Ahunbay, 2004). Bu bağlamda tarihi çevreye uygun koruma çalışmalarının belirlenmesi elzem olup muhafaza edilirken sürekliliklerinin sağlanması gerekmektedir. İlâveten söz konusu çalışmaların hem çağın ihtiyaçlarına cevap verecek hem de geçmiş ile geleceği birbirine bağlayacak bir köprü niteliğinde olması önem arz etmektedir (Erder, 1999).

Tarihi çevrenin kapsamında yer alan tarihi ticaret merkezleri, daima kentli tarafından tercih edilen ve toplumun ihtiyaçlarının karşılandığı kent merkezlerindeki kamusal alanlardandır. Konumlandıkları kentlerin kimliklerini yansıtmakta olup herkesin erişebildiği toplumun ortak kullanım yerleridir. Bireylerin bir araya gelerek iletişim kurduğu alanlar arasındadırlar. Dolayısıyla toplumların sosyalleşmelerine ve güzel vakit geçirmelerine katkı sağlamaktadırlar. İlâveten bu merkezlerde yer alan ticaret mekânları ile bu mekânların şekillendirdiği yollar ise kentsel dokuyu oluşturmaktadır. Ancak günümüzde değişen yaşam koşulları karşısında kullanıcılarının daha konforlu yapıları tercih etmesi nedeniyle geleneksel ticaret alanlarının işlevsellikleri azalmakta ve bakımsız kalarak özgün özelliklerini yitirme tehlikesiyle karşı karşıya kalmaktadır. Tarsus Tarihi Ticaret Merkezi de her geçen gün özgün özelliklerini yitirme tehlikesi ile karşı karşıya kalan kentlerden biridir. Tarsus, Regma Gölü ve ılıman iklimi sayesinde her dönem ticari faaliyetlerde aktif rol oynamıştır. Kent, 16. Yüzyılda Osmanlı İmparatorluğu'nun hakimiyetine girdikten sonra da ticaret merkezi olma durumunu daha da pekiştirmiş ve döneminin önemli ticaret merkezleri arasında yerini almıştır. Ancak 19. Yüzyılda Regma Gölü bataklığa dönüşünce kent liman özelliğini kaybetmiş ve gittikçe arka planda kalarak Mersin ile Adana illeri arasında kalan bir ilçe olmuştur. Tarihi ticaret merkezini meydana getiren bölge ise atıl bir duruma gelerek azalan işleviyle fonksiyonuna devam etmiş ve gelişigüzel müdahaleler geçirerek yetkililer tarafından göz ardı edilmiştir. Bu bölge günümüzde Şehitkerim Mahallesi'nde konumlanan ve güneyde 3403., 3409., 3424., sokakları; doğuda Sayman Caddesi; kuzeyde Adana Bulvarı ve batıda Abdi İpekçi Caddesi ile sınırlanan alandır. Bu çalışma kapsamında Tarsus Tarihi Ticaret Merkezi'nin seçilmesinin nedeni yaklaşık 8000 yıllık varlığıyla değerli bir yerleşim yeri olup literatürde Tarsus Tarihi Ticaret Merkezi'nin korunmasına ve belgelenmesine dair çalışmaların

eksikliğidir. Dolayısıyla bu çalışmanın amacı Tarsus Tarihi Ticaret Merkezi'nin mevcut geleneksel yerleşim dokusunu değerlendirmek ve bölgenin potansiyelleri ile problemlerini tespit edip bu merkezin gelecek kuşaklara aktarılmasına yönelik koruma önerileri geliştirmektir.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmanın materyalini Tarsus Tarihi Ticaret Merkezi oluşturmaktadır. Tarsus ilçesi Mersin İli'nin en büyük ilçesi olup, Kilikya Ovası'nda bulunmaktadır (Şekil 1). Tarihi oldukça eskilere dayanan yerleşimin hem ılıman iklimi hem de Regma Gölü'ü sayesinde ön plana çıktığı ve bu sayede çeşitli toplumların ilgisini çektiği tahmin edilmektedir. MÖ 1650'li yıllarda kentte ilk olarak Kizzuwatna Krallığı varlığını sürdürmüştür (Öz, 2012). Ardından Hitit, Kue, Asur, Pers, Kilikya, Selefkos ve Roma medeniyetleri tarafından ele geçirilmiştir. Bizans'ın hâkimiyetine girdikten sonra ise yerleşim, Araplar ile Selçuklular'ın saldırısına maruz kalmıştır (Zoroğlu, 1995). 1360 yılı itibarıyla de Memlükler'in himayesine girince kentin yönetimi Ramazanoğulları Beyliği'ne bırakılmıştır (Öz, 2012). Osmanlı padişahı Yavuz Sultan Selim Mısır Seferi dönüşünde bu beyliğe son vererek bölgeyi kendi topraklarına katmış ve Türkiye Cumhuriyeti kurulana kadar Osmanlılar tarafından yönetilmiştir (Zoroğlu, 1995). Ayrıca 19. yüzyılda Regma Gölü'nün bataklığa dönüşmesi ve beraberinde Mersin Limanının tüccarlar tarafından fark edilmesi Tarsus'un arka planda kalmasına ve kentin ticaret merkezi olma özelliğini kaybetmesine yol açmıştır. Çalışmaya konu olan bu tarihi merkez ise günümüzde Şehitkerim Mahallesi'nde konumlanmaktadır.



Şekil 1. Tarsus ilçesi (Deniz, 2021)

Tarsus Tarihi Ticaret Merkezi, zaman içerisinde geçirdiği bakım-onarım çalışmaları ya da terk-bakımsızlık gibi nedenler sonucunda özgün özelliklerini kaybetme tehlikesiyle karşı karşıyadır. Dolayısıyla bu merkezin süreç içerisinde yaşadığı değişimi ortaya koyarak mevcut geleneksel dokusunu değerlendirip potansiyelleri ile problemlerini tespit etmek ve söz konusu merkezin gelecek kuşaklara aktarılmasına yönelik koruma önerileri geliştirmek bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Bu amaca yönelik öncelikle tezlerden, kitaplardan, makalelerden, Osmanlı Arşivi ile Tarsus Kudeb n Arşivinden yararlanılarak kapsamlı bir literatür araştırması yapılmıştır. Ardından bölgede yerinde incelemeler yoluyla tespitler gerçekleştirilerek çalışma alanının mekansal analizleri yapılmıştır.



Yapılan araştırmalar ve analizler ışığında mevcut geleneksel yerleşim dokusu değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda Tarsus Tarihi Ticaret Merkezi'nin gelecek kuşaklara aktarılmasına ynelik çalışma alanının potansiyelleri ile problemleri açıklanmış ve bu doğrultuda koruma nerileri geliştirilmiştir.

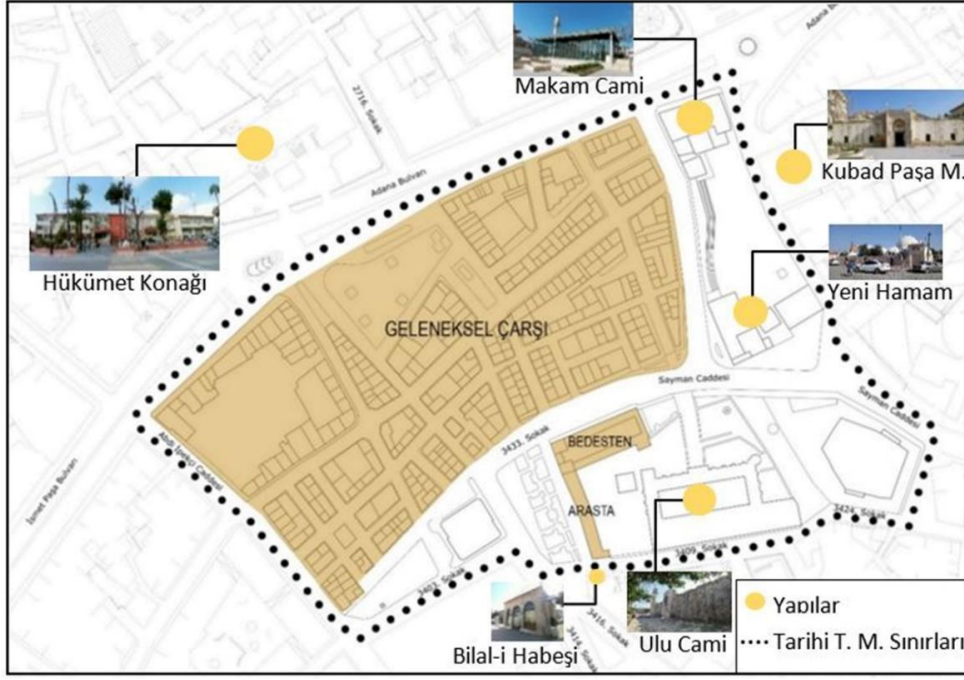
### 3. Bulgular

#### 3.1. Tarsus Tarihi Ticaret Merkezi'nin Günümüz Alan Sınırları

Günümüzde Şehitkerim Mahallesi'nde konumlanan Tarsus Tarihi Ticaret Merkezi'ni güneyde 3403. 3409. ve 3424. sokaklar; doğuda Sayman Caddesi; kuzeyde Adana Bulvarı ve batıda Abdi İpekçi Caddesi sınırlamaktadır (Şekil 2). Söz konusu merkezde varlığını devam ettiren yapılar; Makam Cami, Ulu Cami, Yeni Hamam, Kırkkaşık Bedesteni ile bitişik nizamdaki arastası, geleneksel arşı ve konutlardır. Ayrıca Gn Hanı'ndan günümüze sadece tac kapısı kalmıştır. Bölgenin yakın konumunda ise Bilal-i Habeşi Mescidi, Hükümet Konağı ile Kubad Paşa Medresesi yer almaktadır (Şekil 3).



Şekil 2. Tarsus Tarihi Ticaret Merkezi sınırı, 2021 (Deniz, 2021)



Şekil 3. Tarsus Tarihi Ticaret Merkezi sınırı ile yakın çevresi (Deniz, 2021)

### 3.2. Tarsus Tarihi Ticaret Merkezi'nin Tarihsel Gelişimi

Tarsus'un 19. yüzyıla kadar hem limana sahip olması hem de alışveriş yollarının kesişiminde konumlanması ticari faaliyetlerde ilerleyerek değerli ticaret merkezleri arasında yerini almasına katkı sağlamıştır. Özellikle 16. yüzyılda Osmanlı İmparatorluğu tarafından yönetilmeye başlandıktan sonra ekonomik, mimari, eğitim ve kültürel alanlarda gelişerek kentte birçok han, bedesten, çarşı, arasta, kervansaray, medrese, hamam ve okul yapısı inşa edilmiştir (Öz, 2016) (Tablo 1).

Tablo 1. 16. Yüzyılda Kentteki Kültürel, Eğitim ve Ticaret Yapılarının Sayısı (Evliya Çelebi, 2005)

İlkokul	Hamam	Dükkan	Medrese	Han
7	2	317	6	2

Tarihi merkezde, bedesten, han, çarşı, arasta, kervansaray yapıları haricinde pazarlar kurulmuş ve terzi, ipekeçi, semerci, bakkal, kasap, telis dokuyucu, tornacı, pamukçu, börekçi gibi çeşitli meslekler yer almıştır (Öz, 2016) (Tablo 2). 16. ve 17. yüzyılda alandaki sokaklara satışının yapıldığı ürüne göre kalaycılar, bakırcılar, kuyumcular gibi isimler verilmiştir (Matteson, 2007). 17. yüzyılda kente ziyarete gelen Evliya Çelebi, Ulu Cami'nin batı cephesine düşen tarafın kentin ticaret merkezini oluşturduğunu ve burada 2 adet hanın, 1 adet kapalı çarşının ve 400'den fazla dükkânın konumlandığını belirtmiştir (Deniz ve Umar, 2021).

Bir kentte han, dükkân ve kervansaray yapılarının sayıca fazlalığı kentin gelişmişlik düzeyini göstermektedir. Bu bağlamda Tarsus'ta inşa edilen bu yapıların sayısı 20. yüzyıl başlarına kadar daima artmıştır (Tablo 3). Kentte 1950'li yıllardan sonra sayısı ve konumu tam bilinmeyen pek çok han yıkılarak yerine yeni yapılar yapılmıştır. Bu yıkılanlar arasında bilinenler ise günümüzde Vakıfbank'ın yerindeki Saray Hanı, Şadırvanlı Otel'in yerindeki Şadırvanlı Han, Yeni Hamam'ın kuzeyindeki Gön Hanı ve Ticaret ile Sanayi Odası'nın güneyindeki Hindi Hamıdır (Ulutaş, 2012).

**Tablo 2.** 16. ve 17. Yüzyılda Tarsus'taki Meslekler (Deniz ve Umar, 2021)

Kentteki Meslek Grupları					
Bakkal	İpekçi	Terzi	Ekmekçi	Telis Dokuyucu	Demirci
Demirci	Kasap	Berber	Bozacı	Börekçi	Bakırcı
Kıraathane	Çayhane	Saraçhane	Tornacı	Derici	Kuyumcu
Pamukçu	Semerci	Kalaycı	Kahvehane	Ayakkabıcı	

**Tablo 3.** 1868-1901 Tarihleri Arasında Ticari Mekânların Sayıca Değişimi (Akgündüz, 1993)

Ticari Mekan Sayısı			
Yıl/Tür	HAN	BEDESTEN	DÜKKAN
1868	9	1	830
1891	27	-	1087
1901	18	-	1297

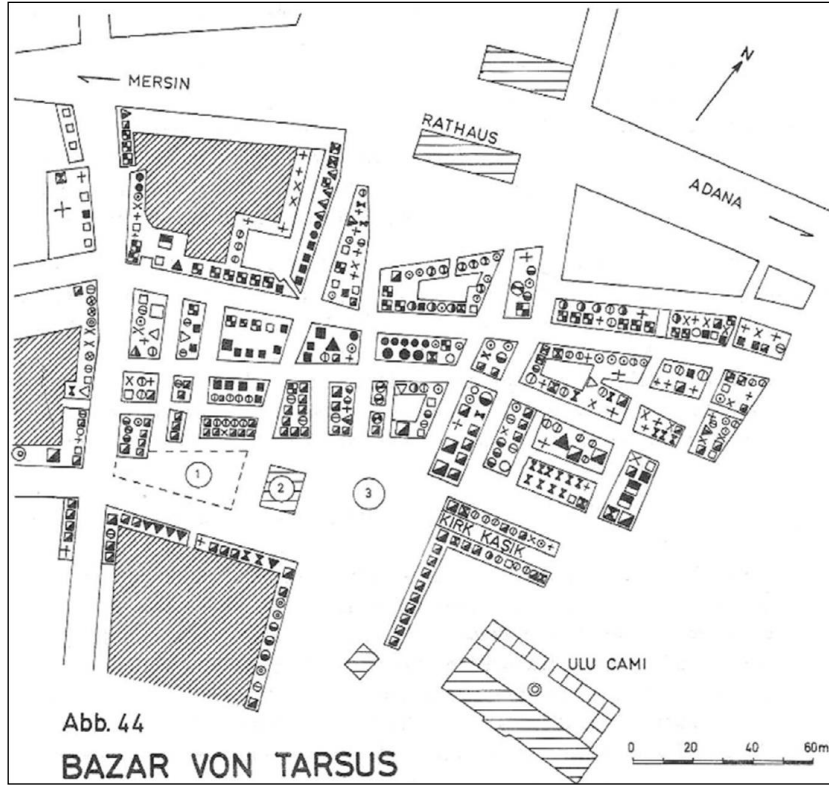
19. yüzyıl itibariyle Regma Gölü'nün bataklık bir hal alması üzerine 20. yüzyılda Mersin limanı fark edilince ticaretin yönü bu limana doğru çevrilmiş ve Tarsus kenti gittikçe arka planda kalarak önem kaybetmeye başlamıştır. Zamanla ilçe statüsüne düşen kentin tarihi ticaret merkezinde 1886, 1923 ve 1930 yıllarında yangın çıkması sonucunda da birçok dükkân yanarak yıkılmıştır (Öz, 2016) (Şekil 4).



**Şekil 4.** 20. yüzyılda Tarsus Tarihi Ticaret Merkezi (Tarsus Kudeb Arşivi, 2020-Öz, 2016)

20. yüzyılda kente gelip araştırmalar yapan Rother (1971), Tarsus'un tarihi ticaret merkezini; Şehitkerim mahallesinde konumlanan bölgenin oluşturduğunu ve bu bölgenin Osmanlı kent dokusundan izler taşıdığını belirtmiştir (Ünlü, 2009) (Şekil 5). Ayrıca 20. yüzyılın ortasından sonra ise modern alışveriş mekânlarının inşa edilmesiyle kentli bu mekânlara yönelmiş, söz konusu merkez ise azalan işleviyle köhneleşmeye başlayarak varlığını sürdürmeye devam etmiştir (Şekil 6).





Şekil 5. 1690'lı yıllar civarındaki tarihi ticaret merkezi planı (Rother, 1971)



Şekil 6. Günümüzde Tarsus Tarihi Ticaret Merkezi, 2021 (Deniz, 2021)

### 3.3. Mekânsal Analizler

Çevresel unsurlar, ulaşım durumu, ada-parcel, dolu-boş, mülkiyet, yasal statü, işlev, kat adedi, malzeme ve yapım tekniği, strüktür durum, korunmuşluk durum, kullanım durum ve yapım dönemi analizi üzere toplam on üç adet analiz yapılmıştır.

Çevresel unsurlar analizine göre; bölgede yeşil alan oldukça eksiktir ve park ile ağaç durumu az sayıdadır. Yollar özgün olmayıp asfalt ya da parke taşı ile kaplıdır. Söz konusu yapıların çatı örtüleri genellikle muhdestir. Bazı yapılarda ise çatı örtüsü sadece binanın üzerini kapatmak amacıyla eğimsiz bir biçimde yerleştirilmiştir. Alanda toplam seksen dokuz tane yapının kırk altısının üzeri örtülüdür. Makam Cami, Ulu Cami, Yeni Hamam ve Kırkkışık Bedesteni'nin örtü biçimi kubbedir. Ayrıca dokuz tane kırma ve yedi tane beşik çatının varlığından söz etmek mümkündür. Bu beşik çatılardan biri (Ulu Cami'nin kısmi bir bölümü) ile kırma çatılardan altısı marsilya tipi kiremit çatıdır. Diğerleri ise sundurma olup oluklu sac malzemedен yapılmıştır. Sundurma gölgeliğe sahip yapılar da bulunmaktadır (Tablo 4).

**Tablo 4.** Çatı Biçimlenişi ve Örtü Çeşitleri (Deniz, 2021)

Çatı Stili	Yapı Sayısı	%
Teras	46	48
Çatı Örtüsü	43	52
Örtü Çeşitleri	Yapı Sayısı	%
Kubbe	4	13
Kırma Çatı	9	29
Beşik Çatı	7	23
Sundurma	11	35

Ulaşım durumu analizine göre; çalışma alanında 1. 2. ve 3. derece taşıt yolları bulunmaktadır. Adana Bulvarı 1. derece taşıt yolu olup burada oldukça yoğun bir trafik akışı vardır. Alanda genellikle 3. derece yollar bulunduğundan iki aracın yan yana araç geçişi zordur. Çoğunlukla her adanın etrafında kaldırım bulunmakta ve bu kaldırımlara araçların park edilmesi ulaşımı daha da aksatıp yayaların sirkülasyonunu zorlaştırmaktadır. Çıkmaz sokak ile araç geçişine kapalı yaya yolu sayısı ise bir adettir. Bu yaya yolu Sayman Caddesi'nin geçtiği Makam Cami ve Kubad Paşa Medresesi'nin arasındaki güzergâhtır. Ayrıca dolu-boş alan analizinden elde edilen veriler kapsamında yerleşimde dolu ile boş kısımların düzenli bir biçimde dağılmadığı ve doluların boşluklardan fazla olduğu tespit edilmiştir.

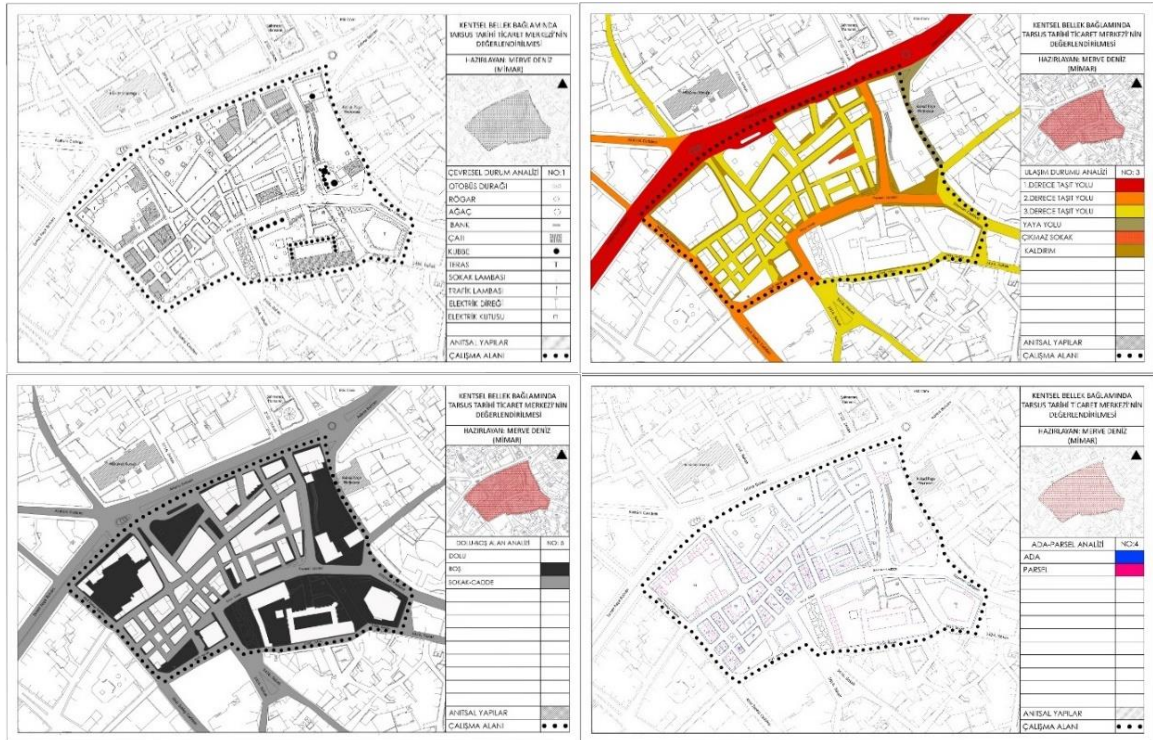
Ada-parcel analizine göre; yerleşimde yer alan toplam ada sayısı otuz dokuz olup bu adaların beş adedi tapu kayıtlarına bir ada (1635 numaralı ada) olarak gözükmektedir. Yapılar ayrıık ya da bitişik nizamda genellikle tek veya iki katlı olarak inşa edilmiş ve seksen dokuz tane yapı bulunmaktadır. 572 numaralı adada konumlanan Belediye Binası ise, 1992 yılında yıktırılmış ve günümüzde burası meydan işlevinde kullanılmaktadır. 578 numaralı adada yer alan yapının bir niteliği bulunmamaktadır. Dolayısıyla 583 numaralı adada konumlanan tarihi Gön Hanı'nın tek kalıntısı olan taç kapısının algılanabilirliği zorlaştırdığından 2007 yılında Tarsus Belediyesi tarafından başlatılan yenileme



çalışmaları kapsamında yıktırılmıştır. Söz konusu adanın tümü günümüzde meydana dönüştürülmüştür (Şekil 7). Çalışma alanının güney ve kuzey sınırlarındaki adalarda parçalanma ve yapı yüksekliklerinde artış gözlenmiştir. 1965’de yıktırılan hanların arşivlerden ulaşılan bilgileri doğrultusunda 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591 numaralı adalarda konumlandığı düşünülmektedir. Günümüzde bu adalarda birbirinden bağımsız yapıların yer alması belirtilen kanıyı desteklemektedir. 581, 274, 291, 292, 294, 295, 297, 299 no’lu adalardaki dükkânların ise nitelikli olduğu ancak zamanla muhdes eklerin veya bitişik nizamda yeni yapıların inşa edildiği tespit edilmiştir. Çevresel unsurlar, ulaşım durumu, dolu-boş ve ada-parcel analizlerinin gösterimleri Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Günümüzde meydana dönüştürülen 578 numaralı ada (Deniz, 2021)



Şekil 8. Sırasıyla çevresel unsurlar, ulaşım durumu, dolu-boş ve ada-parcel analizleri (Deniz, 2021)

Mülkiyet durumları incelendiğinde; alanda konumlanan seksen dokuz tane yapıdan kırk ikisi özel, yirmi sekizi karma, on biri özel vakıf, dördü Vakıflar Genel Müdürlüğü, ikisi Maliye Hazinesi, biri ise Ticaret ve Sanayi Odası'na aittir. 572 numaralı ada, ada numarası belirtilmeyip kentli arasında Kırkkaşık Bedesteni arasta parkı olarak ifade edilen alan ve 297 ada-7 parselde yer alan tarihi buğday pazarı da Tarsus Belediyesi'nin sınırları dâhilindedir. Nitekim %48 oranı ile mülkiyetlerin yaklaşık yarısının özel mülkiyet kapsamında olduğu söylenebilir. Karma mülkiyet kategorisinde değerlendirilen yapıların mülkiyeti özel vakıflar ile şahıslara aittir. Sadece 42 numaralı envanteri Tarsus Belediye ile özel vakıf, 25 numaralıyı ise limited şirket ile özel vakıf paylaşmaktadır. Ayrıca yasal statü analizinden elde edilen veriler kapsamında, yerleşimde konumlanan yapıların sadece %20'si tescilli olup sayıları on sekizdir. %9'unun ise niteliği bulunduğu tescillendirilmesi gerekmektedir. %68 oranında ise yeni yapının varlığından söz etmek mümkündür. Bu yapıların %10'u geleneksel dokuya uyum sağlamaktadır. Nitekim bölgenin geneli yeni yapılardan oluşmakta ve malzemeleri, kat adetleri, boyutları, yapım sistemleri kentin kimliğini yansıtmamaktadır. Tablo 5'te mülkiyet ile yasal statü analizlerinin tablosu gösterilmiştir (Tablo 5).

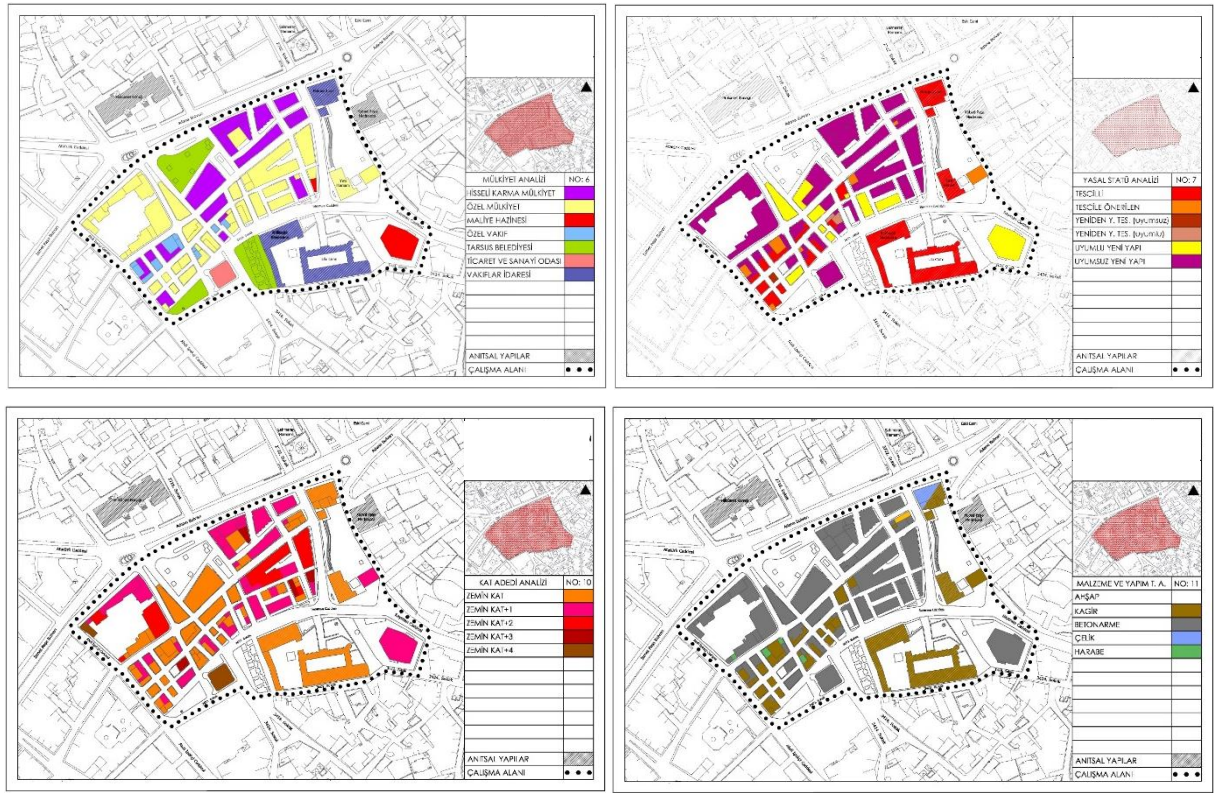
**Tablo 5.** Mülkiyet ve Yasal Statü Analizinin Tablosu (Deniz, 2021)

<b>Mülkiyet Analizi</b>	<b>Yapı Sayısı</b>	<b>%</b>
Özel Mülkiyet	42	48
Karma Mülkiyet	28	32
Özel Vakıf	11	12
Vakıflar İdaresi	4	5
Maliye Hazinesi	2	2
Ticaret ve Sanayi Odası	1	1
<b>Yasal Statü Analizi</b>	<b>Yapı Sayısı</b>	<b>%</b>
Tescilli	18	20
Tescile Önerilen	8	9
Yeniden Yapılmış Uyumsuz Tescilli	1	1
Yeniden Yapılmış Uyumlu Tescilli	2	2
Uyumlu Yeni Yapı	9	10
Uyumsuz Yeni Yapı	52	58

Kat adedi analizine göre; çalışma kapsamında yer alan yapıların %50'sinden fazlası bir katlı olup bazılarında ara kat bulunmaktadır. Ayrıca malzeme ve yapım tekniği analizinden elde edilen veriler kapsamında, çalışma alanında %63 oranında betonarme karkas sistemli niteliksiz yapılar konumlanmaktadır. Kâgir yapım tekniğinde inşa edilen yapılar incelenirken tamamı yığma ya da zemin kat yığma üst kat ahşap karkas olan yapılar ele alınmıştır. Söz konusu yapılar %29 oranına karşılık gelmekte olup tescillidir veya tescil için önerilmiştir. Kâgir+çelik kategorisinde ise sadece Makam Cami bulunmakta ve yenileme çalışmaları doğrultusunda çelik ilaveler eklenmiştir (Tablo 6). Şekil 9'da mülkiye, yasal statü, kat adedi ve malzeme ile yapım tekniği analizlerinin gösterimi verilmiştir.

**Tablo 6.** Kat Adedi ile Malzeme ve Yapım Tekniği Analizinin Tablosu (Deniz, 2021)

<b>Kat Adedi Analizi</b>	<b>Yapı Sayısı</b>	<b>%</b>
Zemin Kat	45	51
Zemin+1	33	37
Zemin+2	5	6
Zemin+3	4	4
Zemin+4	2	2
<b>Malzeme-Yapım Tekniği Analizi</b>	<b>Yapı Sayısı</b>	<b>%</b>
Kagir	26	29
Betonarme	56	63
Ahşap	1	1
Kagir+Çelik	1	1
Betonarme+Kagir	1	1
Harabe	4	5



**Şekil 9.** Sırasıyla mülkiyet, yasal statü, kat adedi, malzeme ve yapım tekniği analizleri (Deniz, 2021)

Tarihi dokuda konumlanan yapıların %72'sinin işlevi ticarettir. İki katlı olup zemin katın ticaret veya sağlık, birinci katın ise dernek, konaklama, sağlık ya da din işlevinde kullanılan karma fonksiyonlu yapılarda yer almaktadır. Bu yapılar sayıca az olduğundan yüzdeler dilime girmemiştir. %4 oranında dini işlevli Ulu Cami, Mustafa Ağa Mescidi ve Makam Cami vardır. Müftülük ile ticaret ve sanayi odasının konumlandığı iki adet yönetim binası yer almaktadır. Ayrıca alanda; arasta, bedesten ve geleneksel çarşı olmak üzere üç farklı alışveriş mekânı olup bu mekânlar arasında %98 oranında küçük birimlerin yer aldığı depo, dükkân ve ofis birimi bulunmaktadır. Arasta ile bedesten sayısı ise, bir adettir. Söz konusu mekânlardaki meslek gruplarını analiz etmek amacıyla zemin kat işlevlerinin detaylı bir analizi yapılarak yapılar; geleneksel zanaat, yöresel gıda, geleneksel zanaat, perakende satış

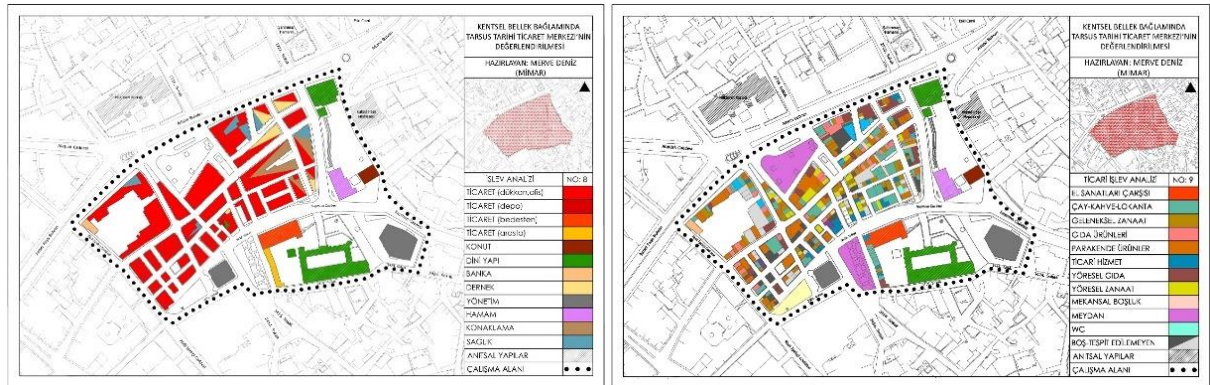


ve çay-kahve-yemek gibi gruplara ayrılmıştır. Aile sağlık merkezi, veteriner ve eczane sağlık kategorisine alınmıştır.

Yapılan işlev analizleri doğrultusunda alanda %20 oranıyla en çok perakende ürünlerinin satışının yapıldığı ortaya çıkarılmıştır. Söz konusu mekânlar çoğunlukla yaklaşık 55 yaş ve üzeri bireyler tarafından tercih edilmektedir. Ancak yerleşimde kapalı dükkânların varlığı nedeniyle işlevleri tespit edilemeyen %8 oranında yapı bulunmaktadır (Tablo 7). Şekil 10'da işlev analizlerinin gösterimi yer almaktadır.

**Tablo 7. İşlev Analiz Tablosu (Deniz, 2021)**

<b>İşlev Analizi-1</b>	<b>Yapı Sayısı</b>	<b>%</b>
Ticaret	69	72
Hamam	1	-
Konut	1	3
Dini Yapı	4	4
Dernek	2	2
Banka	1	-
Yönetim Yapısı	2	2
Sağlık	1	-
Konaklama-Ticaret	3	-
Konaklama+Ticaret+Sağlık	1	-
Ticaret+Dernek	2	2
Ticaret+Sağlık	3	3
Ticaret+Sağlık+Dernek	1	-
Ticaret+Dini	1	-
Buğday Pazarı	1	-
Meydan	3	3
<b>İşlev Analizi-2</b>	<b>Yapı Sayısı</b>	<b>%</b>
El Sanatları Çarşısı (Bedesten)	1	-
Çay-Kahve-Yemek Mekanları	51	17
Geleneksel Zanaat	38	12
Gıda Satış Mekanları	24	8
Sağlık	8	3
Yöresel Gıda	23	8
Ticari Hizmet	20	7
Yöresel Zanaat	22	7
Tespit Edilemeyen	25	8
Boş	27	9
Depo	2	1
Parakende Satış	61	20



**Şekil 10. İşlev Analizleri (Deniz, 2021)**

Yerinde inceleme ve gözlemler ışığında yapılan strüktür durum analizine göre; Alandaki yapıların %45'inin strüktür durumu orta olup yaklaşık %50'si basit müdahaleyle kurtarılabilir. %37 oranında durumu iyi bulunan yapıların varlığından söz etmek mümkündür. Bu yapıların geneli yeni inşa edilmiş veya müdahale geçirmiştir. Ayrıca tescilli ve tescile önerilen yapıların korunmuşluk durumu analiz edildiğinde; özgünlüğü iyi, orta ve kötü olarak sınıflandırılarak değerlendirilmiştir. Yapının kimliği korunmuş ve az seviyede müdahale görmüşse iyi; ilave kat ya da özgün elemanları değiştirilmişse orta; fazla seviyede müdahale geçirmişse kötü kategorisine alınmıştır. Bu bağlamda yirmi altı tane tescilli veya tescile önerilen yapıdan %9'u iyi, %10'u kötü ile orta durumdadır. Tablo 8'de strüktür ile korunmuşluk durum analizlerinin tablosu gösterilmiştir.

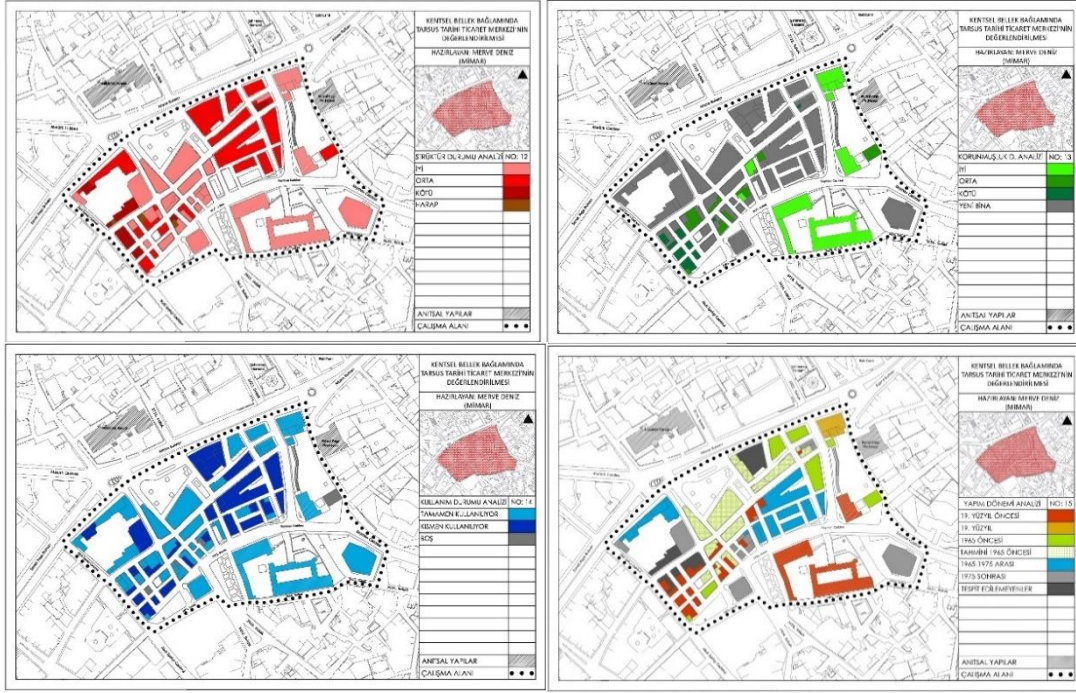
**Tablo 8.** Strüktür ile Korunmuşluk Durumu Analizlerinin Tablosu (Deniz, 2021)

<b>Strüktür Durum Analizi</b>	<b>Yapı Sayısı</b>	<b>%</b>
İyi	33	37
Ortay	40	45
Kötü	13	15
Harap	3	3
<b>Korunmuşluk Durum Analizi</b>	<b>Yapı Sayısı</b>	<b>%</b>
İyi	8	9
Orta	9	10
Kötü	9	10
Yeni Bina	63	71

Çalışma kapsamında tamamen kullanılan yapıların oranı %69'dır. Ayrıca yapım dönemi analizine göre; Tarsus Belediyesi'nin yapı iskân ruhsatlarında yazan tarihler doğrultusunda alanda konumlanan yapıların %23'ü 19. yüzyıl öncesine aittir. 19. yüzyılda inşa edilen tek yapı ise, 1857 yapım tarihli Makam Cami'dir. Ancak bazı yapılar ruhsatsız olduğundan yapım tarihlerine ulaşamadığı için arşiv fotoğraflarından, Milli Savunma Bakanlığı Harita Genel Müdürlüğü'nden alınan hava fotoğraflarından, kentli ve esnaflardan elde edilen veriler ile yapıların cephe, boyut, üslup, biçim ve uyum özelliklerinden yararlanılarak yapım yılları tahmin edilmiştir. Bu tahminlere göre; 1965 yılı öncesine ait olduğu düşünülen %18 oranında yapı vardır. Alandaki tüm yapıların %18'i hakkında ise herhangi bir veriye ulaşamadığından yorum yapılamamıştır. Tablo 9'da kullanım durumu ile yapım dönemi analizlerinin tablosu; Şekil 11'de ise bu analizler ile strüktür ve korunmuşluk durum analizlerinin gösterimleri yer almaktadır.

**Tablo 9.** Kullanım Durumu ile Yapım Dönemi Analizlerinin Tablosu (Deniz, 2021)

<b>Kullanım Durum Analizi</b>	<b>Yapı Sayısı</b>	<b>%</b>
Tamamen Kullanımda	61	69
Kısmen Kullanımda	24	27
Boş	4	7
<b>Yapım Dönemi Analizi</b>	<b>Yapı Sayısı</b>	<b>%</b>
19. yüzyıl öncesi	20	23
19. yüzyıl	1	1
1965 yılı öncesi	7	8
Tahmini 1965 yılı öncesi	16	18
1965-1975	20	22
1975 sonrası	9	10
Tespit edilemeyenler	16	18



Şekil 11. Sırasıyla strüktür, korunmuşluk ve kullanım durum ile yapım dönemi analizleri (Deniz, 2021)

### 3.4. Değerlendirme

Çalışma kapsamında taranan kaynaklardan ve yapılan analizlerden elde edilen veriler değerlendirildiğinde; söz konusu bölgede yeterli dolaşım alanının bulunmadığı ve dolu alanların boş alanlardan fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yerleşimdeki yapılar genellikle zemin ya da zemin+1 katlıdır. Bu zemin kata sahip binalar, kentsel kimliği yansıtmakta ve 15. yüzyılda inşa edildiği tahmin edilmektedir. Ancak tarihi merkezin işlevsel ve mekânsal özelliklerinde zamanla değişim yaşandığı ve gelişmiş müdahaleler gördüğü anlaşılmaktadır. Özellikle geleneksel dokuyu meydana getiren Şadırvanlı ve Gön Hanı başta olmak üzere birçok dükkânın yıkılması, alan ile uyumsuz yüksek katlı yeni yapıların inşa edilmesi, mevcutta konumlanan mekânların üzerlerinin sundurma muhdes elemanlarla örtülmesi, yapıların kat sayılarının arttırılması, nitelsiz eklerin yapılması, tablo ya da tabela gibi öğelerin yerleştirilmesi, birçoğunun kapı ile pencere doğramalarının değiştirilmesi, döşemelerin yeni malzemelerle kaplanması, cephelerin sıvanarak özgün özelliklerinin kapatılması ve sokak üstlerinin kumaş parçalarıyla örtülmesi bu kanıyı desteklemektedir. Nitekim bölgenin kentsel dokusunu yansıtan yapıların sayısı oldukça az olup niteliklerini kaybetme tehlikesi ile karşı karşıyadırlar.

2007 yılı itibariyle alanda konumlanan nitelikli yapılarda onarım faaliyetleri gerçekleştirilmiş ve bu doğrultuda sıvaları kazınarak özgün özellikleri ortaya çıkarılmış, nitelsiz ekleri ayıklanmış, doğramaları değiştirilmiş ve eksik kısımları tamamlanmıştır. Ancak henüz yenilenmeyen ve yıkılmak üzere olan yapılar da bulunmaktadır. Ayrıca söz konusu faaliyetler kapsamında yerleşimin geleneksel dokusuna ve tarihi kimliğine uyum, gabari, ölçek, boyut gibi özelliklerle bütünlük sağlama amacıyla



bölgedeki betonarme yapıların kat sayıları azaltılmış, doğramaları değiştirilmiş, cepheleri boyanmıştır. Harabe durumundakiler ise yıktırılarak yerlerine kâgir teknik ile tek katlı yapılar inşa edilmiştir. Fakat herhangi bir müdahale geçirmeyen betonarme yapıların varlığından da söz etmek mümkündür.

Bölgede çoğunlukla 3. derece taşıt yolları bulunmakta ve bu yollar asfalt ile kaplandığından kentsel doku ile uyumsuzdur. Söz konusu yollar dar olup iki araç yan yana zor bir biçimde geçmekte ve yaya yolları bulunmadığından kentli genellikle araç yollarından yürümektedir. Ayrıca özellikle gündüz vakitlerinde trafik yükünün fazlalığı nedeniyle kazalar meydana gelmektedir. İşletmeciler ise yeterli otopark alanı olmadığından araçlarını dükkân önlerine hatta kaldırımlara park etmektedir. Bu durum hem yayalar hem de araç kullanıcıları için gün geçtikçe sorun yaratmaya başlamıştır. Yeşil alanların varlığı ise yetersiz ve mevcutta konumlanan meydanlar bölgenin bu durumunu karşılamaya yetmemektedir. Kent mobilyaları ile ağaçların sayısı azdır. 1960'lı yıllarda yıktırılan geleneksel yapıların yerine inşa edilen 3-4 katlı konaklama yapıları ve müdahale geçiren özgün yapılar, tarihi merkezin algılanabilirliğini zedelemekte ve yerleşimin kimliğine uymamaktadır. Yapıların yarısından fazlası yeni yapı olup geneli dükkân tipolojisinde tasarlanmıştır ve günümüzde yaklaşık %70'i kullanılmaktadır. Geleneksel ve yöresel zanaat türlerinin sayısı azalmış ve yerini perakende ürünlerine bırakmıştır. Ayrıca bölgenin kentsel dokusunu yansıtan yapılardan restore edilenler haricindekilerin strüktür durumu kötü bir vaziyette olduğundan hem kullanıcılarının sağlığı hem de yerleşimin kimliği için tehlike yaratmaktadır. Tablo 10'da incelenen Tarsus Tarihi Ticaret Merkezi'nin değerlendirilme tablosu oluşturulmuştur.

**Tablo 10.** Tarsus Tarihi Ticaret Merkezi'nin Değerlendirilmesi (Deniz, 2021)

<b>Çalışma Alanının Potansiyelleri</b>	<b>Çalışma Alanının Problemleri</b>
Tarsus'un kentsel kimliğini yansıtan Ulu Cami'nin, Makam Cami'nin, Yeni Hamam'ın ve Kırkkâşık Bedesteni'nin varlığı	Kentsel dokuyu oluşturan kâgir teknikli ve zemin/z+1 katlı yapıların sayısının gittikçe azalması
Kentin tarihi yerleşimini meydana getirdiğinden ziyaret edilmesi	1960'lı yıllardan sonra geleneksel doku ile uyumsuz 3-4 katlı betonarme karkas yapıların inşa edilmesi
Ulaşılabilir ve erişilebilir olması	Günümüzde yöresel ve geleneksel zanaat türlerinin azalması
Kubad Paşa Medresesi, Hükümet Konağı, Şahmeran Hamamı, Kilise Cami, Roma Hamamı ve Bilal-i Habeşi Mescidi'ne olan yakınlığı	Yeşil alanların azlığı ve ağaç sayısının eksikliği
Tarihi ve kültürel bir dokusunun bulunması	Dolaşım alanlarının yetersizliği
Toplum tarafından benimsenmesi ve değerli görülmesi	Kentsel dokunun fazla müdahale geçirmesi
Ticari faaliyetlerin gerçekleştirilmesinin yanı sıra kentlinin sosyalleşme amacıyla bölgeyi tercih etmesi	Yoğun trafik akışı/dar yollarda araç sayısının fazlalığı/dükkan önlerine araç parkı
Nadiren kerme, tanıtım gibi etkinliklerin düzenlenmesi	Yer döşemelerinin asfalt ile kaplanmış olması
Merkezi bir yerde konumlanması	Yaya yollarının eksikliği
Sivil mimarlık örneklerinin yer aldığı Tarihi Tarsus Evleri'ne yakınlığı	Yapılara yeterli bakım-onarım çalışmalarının yapılmaması
	Yapılardaki strüktürel aksaklıkların göz ardı edilmesi

#### 4. Koruma Önerileri ve Sonuç

Tarsus Tarihi Ticaret Merkezi işlevsel ve mekânsal özelliklerini 19. yüzyıldan başlayıp günümüze kadar kaybetmeye devam etse de her dönem değerli bir yerleşim yeri olarak önemini sürdürmüştür. Dolayısıyla söz konusu merkezin sahip olduğu hafızasıyla beraber korunarak gelecek kuşaklara aktarılması için günümüz gereksinimlerine yanıt verebilecek kapsamlı çözüm önerilerinin getirilmesi gerekmektedir.

Tarihi çevrelerin korunmasına dair tüzükler incelendiğinde; Venedik Tüzüğü (1964) yapıların toplumsal bir amaç için kullanılmasının bu yapıların korunmasına katkı sağladığından yeni bir fonksiyonun verilmesinin mümkün olduğunu ve Washington Tüzüğü (1987) de işlevlendirilen mekânın, yerleşimin karakteriyle uyum sağlaması gerektiğini belirtmektedir. (Venedik Tüzüğü, 1964- Washington Tüzüğü, 1987). Bu tüzüklere dayanarak çalışma alanında yapılan yerinde incelemeler ve mekansal analizler doğrultusunda bölgenin toplum tarafından tanınıp göz ardı edilmesinin önüne geçmek ve işlevsiz kalan yapıların terk, bakımsızlık gibi nedenlerle yok olmasını engellenmek için yerleşimin tarihi ile kültürel kimliğine ve geleneksel dokusuna uygun işlevsel çözüm önerileri geliştirilmiştir.

##### 4.1. Çevre Ölçeğinde Koruma Önerileri

Tarihi bölgede yeterli dolaşım alanı olmadığından, dükkân ve kaldırım önlerine araç park edildiğinden ve 3. derece taşıt yollarında oldukça yoğun bir yaya ile trafik akışı gerçekleşip kazalar meydana geldiğinden öncelikle bu yolların tümü yaya yoluna dönüştürülmeli, araç giriş ve çıkışı yasaklanmalı ve araç parkına izin verilmemelidir. 1. ve 2. derece taşıt yolları işlevine devam etmelidir. Kentsel dokuya uyum sağlamayan asfalt döşemeler yerine arnavut kaldırımları gibi yerleşimin kimliği ile bütünlük kurabilen döşemeler yapılmalıdır.

Bu bağlamda; günümüzde demircilik, bakırcılık, tenekecilik gibi azalan zanaat faaliyetlerini tekrardan hareketlendirmek ve gençleri alana kazandırmak amacıyla kullanılmayan yapılar kursa dönüştürülerek gençler eğitilmeli ve bu sayede söz konusu faaliyetlerin yeniden üretimine katkıda bulunulmalıdır. Hatta işletmecileri tarafından çok fazla geliş güzel müdahalelere maruz kalan yapıların varlığı, bireylerin korumaya dair bilinç eksikliğini doğruladığından bu bilincin ortaya çıkarılmasına ve tarihi çevrenin muhafaza edilmesine yönelik seminerlerin verileceği atölyeler oluşturulmalıdır. Geleneksel üretim mallarının göz ardı edilmesinin önüne geçmek, tarihi merkezi yeniden özgün özellikleri ile ön plana çıkarmak, ziyaretçilerin ilgisini buraya çekerek yöre halkına maddi kazanç sağlamak için yerel ürünlerin yer aldığı hediyelik eşya dükkânları açılmalı, tanıtıcı broşürler hazırlanarak turizm ofislerine bırakılmalı ve bölge tur güzergâhlarına eklenmelidir. Ayrıca hem Tarsus'un dokumacılık, sepetçilik, oya yapımı gibi somut olmayan kültürel mirasını geleneksel doku ile birlikte koruyarak kültürel mirasın yok olmasını önlemek hem de ticaret merkezinin tarihi ve kültürel kimliğini tanıtmak gayesiyle boş yapılara yaşayan müze işlevi verilmelidir. Araştırmacıların yerleşim hakkında bilgi edinirken doğru bilgilere ulaşabilmesi amacıyla alana ait eski dönem haritalarının, fotoğraflarının ve

belgelerinin sergilendiği arşiv merkezi açılmalıdır. Alanın yeniden canlandırılması ve kentli tarafından tercih edilme durumunun artırılması için bölgenin kimliği ile uyum göstermeyen hatta gittikçe çoğalan parakende ticaretinin yapıldığı dükkanlar nostaljik kafelere dönüştürülebilir. Bölgede yapılan gözlemler doğrultusunda kullanıcıların gün içerisinde meydanları sosyalleşme mekânı olarak kullandığı ve diğer kişilerin de konser, sergi, tiyatro veya festival etkinlikleri ile alanı benimseyebileceği düşünüldüğünden bu etkinliklere yer verilmesi önerilmektedir.

#### **4.2. Yapı Ölçeğinde Koruma Önerileri**

Tarihi merkeze yapılacak yeni yapıların zemin katlı, kesme taş malzemeden ve kâgir teknik ile kurgulanması ve tasarım yarışmalarının düzenlenerek projelere karar verilmesi bölgenin dokusuna, kültürel ile mimari özelliklerine uygun projelerin ortaya çıkmasına katkı sağlayacaktır. Yerleşimin algılanmasını zorlaştıran ve kimliğini zedeleyen sokak üstlerini örten kumaşlar, niteliksiz ilave katlar, muhdes çatı ile gölgelikler, tabela ile klima üniteleri ve alanla uyumsuz doğrama ile kaplamalar kaldırılmalıdır. Strüktür durumu kötü olanlar onarılmalı, iyi ve kötü durumdakilerin ise bakımları yapılmalıdır. Ayrıca alanın geleneksel karakterini yansıtan yapılar arasında strüktür durumu iyi derecede olanların belirli aralıklarla bakımları yapılmalı, kötü ile orta derecedekiler ise restore edilerek özgün özellikleri ortaya çıkartılmalıdır. Harap bir vaziyette konumlananların da yeniden kente kazandırılması için eski fotoğraflardan, gravürlerden, arşiv belgelerinden, yerleşimdeki diğer nitelikli yapılardan ve bölgenin tarihi ile kültürel kimliğinden yararlanılarak öncelikle sağlaştırılması ardından diğer restorasyon teknikleri ile çözüm önerilerinin getirilmesi gerekmektedir. Fakat bu çözümler yeterli gelmezse geleneksel dokuya uyumlu yeni yapılaşmanın da önerilmesi uygundur.

#### **4.3. Sonuç**

Kentler; kullanıcılarıyla beraber şekillenen yerleşimler olup dokularında konumlanan kamusal alanlar ise esas işlevlerinin yanında bireylerin sosyalleşmesine imkân tanıyan mekânlardır. Bu mekânlardan biri de geleneksel dokuyu meydana getiren ve her toplumun yaşam tarzına göre biçimlenen tarihi ticaret merkezleridir. Çalışmaya konu olan ve geçmişte önemli bir ticaret merkezi olan Tarsus kenti önemini kaybetmeye başladıktan sonra eski fonksiyonlarını kaybetmiş ve günümüzde Şehitkerim Mahallesi'nde tarihi bir bölge olarak mevcudiyetini devam ettirmektedir. Bu çalışma boyunca söz konusu merkezin süreç içerisinde yaşadığı değişim ortaya konulmaya çalışılmış, yerinde yapılan incelemelere ve fiziki analizlere dayanarak yerleşimin mevcut geleneksel dokusu değerlendirilmiş, alanın potansiyelleri ile problemleri tespit edilmiş ve elde edilen tüm veriler ışığında bölgenin gelecek kuşaklara aktarılmasına yönelik yapısal ile çevresel müdahale önerileri geliştirilmiştir. Böylelikle bu merkezin sadece tarihi bir çevre olarak mevcudiyetini sürdürmesinden öte tarihsel ile kültürel kimliğinin herkesçe fark edilip hak ettiği değeriyle birlikte tekrardan Tarsus'un kent yaşantısına kazandırılması hedeflenmektedir. Nitekim tespit edilen problemlerin çözümüne dair günümüzde olumlu bir gelişme olmayıp bu makale kapsamını aşan finansal ile hukuki koşulların oluşturulmasıyla

beraber multidisipliner bir çalışma dâhilinde yerel ve ulusal yetkililer ile koruma bilincine sahip bireyler tarafından gerçekleştirilmesi öngörülmektedir.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

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

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamışlardır.

### **Kaynakça**

- Ahunbay Z. Tarihi çevre koruma ve restorasyon. İstanbul: Yapı Yayın; 2004.
- Akın ES., Demiroğlu İzgi B. Tarihi hanlarda yeni işlev: Deveci Han ve Taşhan, Tokat. Vakıflar Dergisi 2021; 56(1): 143-162.
- Akgündüz A. Arşiv belgeleri ışığında Tarsus tarihi ve Eshab-ı kehf. İstanbul: Tarsus Ticaret ve Sanayi Odası Yayınları; 1993.
- Aksoy A., Enlil Z., Ünsal D., Pulhan G., Dinçer İ., Zeren Gülersoy N., Ahunbay Z., Köksal G. Kültürel miras yönetimi. Eskişehir: T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını; 2012.
- Biröl G. Bir kentin kimliği ve kervansaray oteli üzerine bir değerlendirme. Arkitekt Dergisi 2007; 514(1): 46-54.
- Boyer C. The city of collective memory. Cambridge: Mıt Press; 1994.
- Deniz M. Kentsel bellek bağlamında Tarsus Tarihi Ticaret Merkezinin değerlendirilmesi. Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Adana, Türkiye, 2021.
- Deniz M., Umar N. Breakdowns in urban memory: Tarsus Şadırvanlı Han example. 7th International Mardin Artuklu Scientific Researches Conference, 10-12 December 2021, sayfa no: 601-610, Mardin.
- Enlil Z. Tarihi bir çevreyi yaşatmak: Paris ve Bologna'da bütüncül koruma yaklaşımları. İstanbul: YTÜ Mimarlık Fakültesi Yayını; 1992.
- Erder C. Tarihi çevre kaygısı. Ankara: ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayını; 1999.
- Evliya Çelebi. Evliya Çelebi seyahatnamesi. Haz: Y. Dağlı, S.A. Kahraman, R. Dankoff. İstanbul: Yapı Kredi Yayınları; 2005.
- Gedik GS. Tarihi çevrelerin sürdürülebilir yeniden canlandırılmasında kullanıcı görüşlerinin değerlendirilmesi: Bursa Hanlar Bölgesi örneği. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 2015.
- ICOMOS. Venedik Tüzüğü; 1964. Alındığı yer [http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR\\_tr0243603001536681730.pdf](http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0243603001536681730.pdf).

- ICOMOS. Washington Tüzüğü; 1987. Alındığı yer  
[http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR\\_tr0627604001536681570.pdf](http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0627604001536681570.pdf).
- Matteson RP. Tarsus'taki yıllarım (1923-1927). Çev: Murat Köroğlu. Adana: Aratos Yayınları; 2014.
- Öz H. Yakın tarihte Tarsus (1850-2000). Adana: Alev Dikici Basım ve Ambalaj; 2012.
- Öz H. Tarsus ticaret tarihi. Mersin: Tarsus Ticaret ve Sanayi Odası; 2016.
- Rother L. Die Städte der Çukurova: Adana-Mersin-Tarsus. Ein Beitrag zum Gestalt-, Struktur- und Funktionswandel türkischer Städte. Tübingen, Im Selbstverlag des Geographischen Instituts der Universität; 1971.
- Tarsus Belediyesi. Fotoğraf Arşivi. Tarsus Kudeb Arşivi; 2021.
- Ulutaş S. Tarsus kazasının sosyo-ekonomik yapısı. Mersin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Doktora Tezi, Mersin, Türkiye, 2012.
- Ünlü T. Mekânsal planlamanın kentin biçimlenmesine etkisi: Mersin örneği. Planlama Dergisi 2009; 3(4): 27-42.
- Zoroğlu L. Tarsus tarihi ve tarihsel anıtları. Adana: Kemal Matbaası; 1995.

## 5G Üst Bandı 38 GHz’de Çalışan Dikdörtgen Yamalı Mikroşerit Anten

Mustafa MUTLU<sup>1\*</sup>, Mustafa KARA<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Ordu Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Ordu

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-6756-0668>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-3793-6828>

\*Sorumlu yazar: mustafamutlu@odu.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 19.11.2022

Kabul tarihi: 24.02.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

5G

Mikroşerit anten

Sanal gerçeklik

Nesnelerin interneti

### ÖZ

5G sistemi kablosuz iletişime önemli bir ivme kazandırmıştır. Teknolojik gelişmeler ışığında 5G sistemi birçok alt banda bölünerek frekans tahsisi yapılmış ve bu bantların bir kısmı ticari alana sunulmuştur. Bu çalışmada 5G üstbandı 38 GHz’de çalışan içten beslemeli dikdörtgen yamalı mikroşerit anten, Bilgisayar Benzetim Teknolojisi (Computer Simulation Technology, CST) ortamında tasarlanmıştır. Antenin taban kısmı, dielektrik kaybı küçük olan PF-4 ( $h:2$  mm,  $\epsilon_r:1,06$ ,  $\tan\delta:0,0001$ ) ten oluşturulmuştur. Antenin yama ve toprak kısmı PF-4’ün alt ve üst yüzeyine yapışacak şekilde bir tarafı yapışkan bakır banttandır seçilmiştir. Tasarımın benzetim sonuçlarından; antenin 35,642 GHz-41,627 GHz bandında çalıştığı, yansıma katsayısı ( $\Gamma$ )’nın 0,16 Gerilim Duran Dalga Oranı (GDDO)’nın 1,239 kazancı (Gain, G)’nin 9,512 dB yöneltim (Directivity, D)’inin 10,47 dBi bant genişliği (Bandwidth,  $B_w$ )’nin 5,985 GHz ve 3 dB açıklığı (aperture width)’nin 28,7° olduğu görülmektedir. Bu benzetim sonuçları ışığında tasarlanan mikroşerit antenin 5G üst bandında, alıcı veya verici anten olarak başarılı bir şekilde kullanılabilceğini göstermektedir.

## Rectangular Patch Microstrip Antenna Operating at 5G Upper Band 38 GHz

### Research Article

#### Article History:

Received: 19.11.2022

Accepted: 24.02.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

5G

Microstrip antenna

Virtually reality

IoT

### ABSTRACT

The 5G system has given a significant impetus to wireless communication. In the light of technological developments, the 5G system has been divided into many sub-bands and frequency allocation has been made and some of these bands have been offered to the commercial area. In this study, an internally fed rectangular patch microstrip antenna operating at 38 GHz in the 5G upperband is designed in the Computer Simulation Technology (CST). The base of the antenna is made of PF-4 ( $h:2$  mm,  $\epsilon_r:1.06$ ,  $\tan\delta:0.0001$ ) with a small dielectric loss. The patch and ground part of the antenna is selected from an adhesive copper tape on one side so that it adheres to the upper and lower surfaces of the PF-4. From the simulation results of the design; It is seen that the antenna operates in the 35.642GHz-41.627 GHz band, its reflection coefficient ( $\Gamma$ ) is 0.16, Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) 1.239 gain (G), 9.512 dB directivity (D) 10.47 dBi bandwidth ( $B_w$ ) 5.985 GHz and 3 dB aperture 28.7°. These simulation results show that the designed microstrip antenna can be successfully used as a transmit or receive antenna in the 5G upper band.

**To Cite:** Mutlu M., Kara M. 5G Üst Bandı 38 GHz’de Çalışan Dikdörtgen Yamalı Mikroşerit Anten. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 2267-2281.

## 1. Giriş

Haberleşme alanında en önemli gelişmelerden biri de 5G sisteminin ortaya çıkışıdır. Kablosuz iletişimin en önemli uygulayıcısı olan Mobil İletişim için Küresel Sistem (Global System for Mobile Communications, GSM) 5G ile çok önemli bir aşama kaydetmiştir. İnsanların cep telefonu kullanarak adeta tüm işlerini hallettikleri günümüzde, hızın ne kadar önemli olduğu bilinmektedir. Bu yüzden mevcut klasik yöntemlerin yerine onların yaptığı işi çok daha hızlı yapan ve onların yapamadığı yenilikleri sunan 5G sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem, birden çok standardı ve yüksek veri hızını bünyesinde toplayan yeni bir iletişim sistemidir. Tablo 1’de 5G sistemi için tahsis edilmiş frekans bantları gösterilmiştir. 5G üç temel özelliği bakımından diğer teknolojilere üstünlük sağlamaktadır. Bunlar; yüksek hız, çok düşük gecikme ve yüksek yoğunluklu bağlantıdır. Yüksek hızı sayesinde ortalama indirme hızı 10 Gbps’ye kadar çıkmıştır. Bu sayede özellikle canlı yayınlarda görüntü kalitesi 4K ve 8K’ye kadar yükselmiş, canlı bağlantıdaki görüntü ve ses kalitesi artmıştır. Düşük gecikme özelliği sayesinde vericiden gönderilen veriler 1ms’nin altında bir sürede alıcıya ulaşabileceklerdir. Bu özellikten faydalanarak insanlar dünyanın neresinde olurlarsa olsunlar kendi aralarında çevrim içi oyun vb. etkinliklerde bulunabileceklerdir. En önemlisi sanal gerçeklik sayesinde sağlık alanında çeşitli faaliyetler uzaktan gerçekleştirilebilmektedir. Yüksek yoğunluklu bağlantı sayesinde kilometre kare başına milyonlarca cihaz aynı anda bağlantı sağlayabilmekte, nesnelerin interneti (IoT) ile çok yakın bir gelecekte kurmayı düşündüğümüz akıllı şehir, bina ve araç sisteminin tasarımı ve uzaktan kontrolü daha da kolaylaşacaktır. Yine bu yöntem sayesinde ev aletlerine uzaktan erişim imkânı sağlanabilmektedir. Mikroşerit antenler kablosuz iletişimde en çok kullanılan anten türleridir. Özellikle küçük ebatları ve birden çok farklı bantta çalışabilmeleri onları diğer antenlerden üstün kılmaktadır. Aşağıda 5G iletişimde kullanılan mikroşerit antenlerle ilgili çalışmalar özetlenmiştir.

5G uygulamaları için 2x2 E şekilli 8,23 dBi kazançlı lineer mikroşerit anten tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir (Praveena ve ark., 2022). 2,2 dielektrik sabiti ve 0,254 mm kalınlığa sahip Rogers RT/Duroid 5880 yalıtkan kullanılarak 28 GHz frekansında çalışan 1x4 anten dizisi tasarlanmış, gerçekleştirilmiş ve Geri Dönüşüm Kaybı (Return Loss, RL,  $S_{11}$ ) Vektör Ağ Analizör (Vector Network Analyzer, VNA)’ü ile ışına yayılımı yankısız oda (Anechoic Chamber)’da ölçülmüştür. Tasarlanan ve gerçekleştirilen antenin karakteristik değerlerinin uyumlu olduğu gözlenmiştir (Gupta ve Gupta, 2022). 5G kablosuz haberleşme sistemi uygulamaları için 28 GHz frekansında bant genişliği (900 MHz), kazancı (6 dB) ve yönlülüğü (7 dBi) olan anten tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir (Ezzulddin ve ark., 2022). 5G için 28 GHz frekansında çalışan, 2 GHz bant genişliğine ve 7,18 dB’lik kazançla sahip anten tasarlanmıştır (Azizi ve Rabaani, 2022). 5G uygulamalarında kullanılmak üzere 0-10 GHz bandında, 9 dB’lik kazançla, 13 dBi’lik yönlülüğe sahip, daire, beşgen, altıgen ve sekizgen gibi yamaya sahip iki katmanlı alt yapı anten tasarlanmıştır (Vishnoi ve ark., 2022). Dielektrik sabiti  $\epsilon_r=2,2$  ve kalınlığı  $h=1,57$  mm olan RT Duroid 5880 kullanarak, 5G ve Lisanssız Spektrumdaki LTE

(Long Term Evolution in Unlicensed Spectrum, LTE-U) sistemlerinde, 3,52 GHz ve 5,37 GHz frekanslarında çalışan, geri dönüşüm kayıpları sırasıyla -31,54 dB ve -23,16 dB, kazancı 4,45 dB; bant genişliği 3 GHz ve anten verimi ( $\eta$ ) % 80-96,68 aralığında değişen anten tasarlanmıştır (Przesmycki ve Bugaj, 2022). 5G orta bantta (3,58-3,73 GHz) çalışan dairesel polarize 2×2 dizili anten tasarlanmış ve üretilmiştir. Benzetim ve ölçüm sonuçlarının birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür (Falih ve ark., 2022). 5G mobil uygulamalar için altyapısı 1mm kalınlığında RT/Duroid 5880 ve yama boyutları 33 mm×28,8 mm olan 3,5 GHz-11,65 GHz çalışma bandına sahip beş frekansta (3,5 GHz; 5,93 GHz; 7,49 GHz; 10,07 GHz ve 11,65 GHz) çalışan ve GDDO'nı 1,88 olan anten Yüksek Frekanslı Simülasyon Yapısı (High Frequency Simulation Software, HFSS) yazılımı kullanılarak tasarlanmıştır (Elechi ve John, 2022). 5G kablosuz iletişimi için kullanılmak üzere dielektrik sabiti 4,4 olan bir FR-4 kullanılarak 1,5 GHz ve 8,7 GHz frekanslarında çalışan dikdörtgen yamaya dairesel yuvalar yerleştirilerek anten tasarlanmıştır (Muduli ve ark., 2022). Dielektrik sabiti 4,4; kayıp tanjantı 0,02 olan FR-4 kullanılarak 2,74-76,83 GHz aralığında çalışan anten tasarlanmıştır (Djellid ve ark., 2022). 5G kablosuz iletişim sistemi için dielektrik katsayısı 2,2 olan ile Rogers RT/Duroid5880 alt malzeme kullanılarak 28 GHz'de çalışan MIMO mikroşerit anten tasarlanmıştır. Antenin bant genişliği 3,94 GHz'dir (Choudhary ve ark., 2022). 5G ve modern mobil iletişim teknolojilerinde kullanılmak üzere 26 ve 28 GHz'de çalışan dikdörtgen yamalı anten tasarlanmıştır. Yamanın üzerinden iki simetrik L yuvası ve ortasından kare çıkartılarak antenin karakteristik değerlerinde iyileştirmeler yapılmıştır (Nahas, 2022). 28 GHz'de çalışan dikdörtgen yamalı anten tasarlanmıştır (Hamzah ve ark., 2022). Dielektrik sabiti 3,55 ve kalınlığı 0,8 mm olan Rogers RO4003C kullanarak 3,3-3,8 GHz bandında 3,5 GHz'de çalışan, 14,9 dB'lik kazançla sahip 4×4 anten dizisi tasarlanmıştır (Bashar ve Elrouby, 2022). Dielektrik sabiti, 2,2, kayıp tanjantı 0,0009 ve kalınlığı, h:0,787 mm olan Rogers RT5880 alt malzemesi kullanılarak 28 GHz'de çalışan dikdörtgen yamalı anten tasarlanmıştır (Razak ve Shah, 2022). Dielektrik sabiti 2,2 ve kayıp tanjantı 0,0009 olan 7,8546 × 9,0356 × 0,8 mm boyutlarında RT Rogers 5880 alt malzemesi kullanılarak (36,5-40 GHz) Ka çalışma bandında 32 GHz ve 38 GHz'de çalışan, sırasıyla bant genişlikleri 2,8 ve 2,85 GHz, kazançları 6,27 dB ve 4,73 dB olan anten tasarlanmıştır (Hatte ve ark., 2022). Bu çalışmada, pek çok kanser tümörünün tespitinde kullanılmak üzere giyilebilir bir dikdörtgen mikroşerit anten tasarımı ve gerçekleştirilmesi yapılmıştır. Mikrodalga görüntüleme sistemlerinde hem alıcı hem de verici olarak kullanılabilen antenin yama ve toprak kısmı iletken (bakır) banttandır, yalıtkan kısmı ise PF-4 (köpük) malzemeden oluşturulmuştur. CST programı kullanılarak tasarlanan antenin çalışma frekans aralığı 1,71 GHz ile 8,53 GHz arasında olup bant genişliği 6,82 GHz'dir. Üretilen antenin bant genişliği ise 6,75 GHz'dir (1,6 GHz-8,35 GHz). Anten kazancı 5,31 dB'dir (Mutlu ve Kurnaz, 2020).

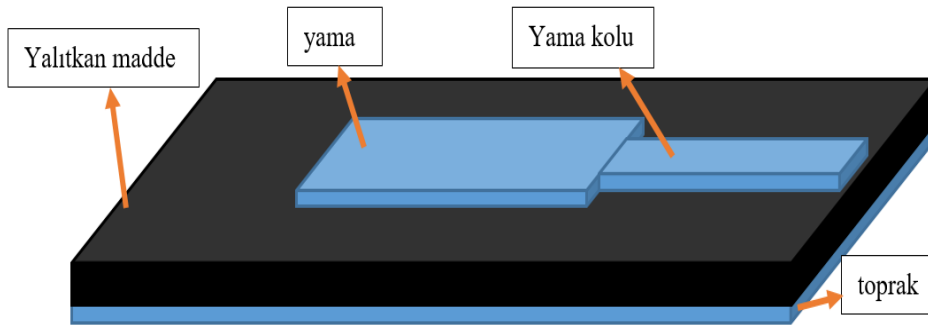


**Tablo 1.** 5G frekansları

Bantlar	Frekans aralığı (GHz)
Düşük bant	1<
Ortabant I	1-2,6
Ortabant II	3,5-6
Üst bant	24-40

## 2. Materyal ve Metot

5G üst bandı 38 GHz’de çalışacak antenin tasarımına ara malzeme için yalıtkan, yama ve toprak için seçilecek iletken malzemenin belirlenmesiyle başlanır. Mikroşerit antenler dört kısımdan oluşur. Bunlar: yama, yama kolu, yalıtkan malzeme ve topraktır. Yama, yama kolu ve toprak iletken malzemedir, orta kısım ise yalıtkan malzemedir. Şekil 1’de bir mikroşerit anteni oluşturan kısımlar gösterilmiştir.

**Şekil 1.** Mikroşerit anteni oluşturan kısımlar

Mikroşerit anteni oluşturan iletken ve yalıtkanın seçimi, antenin karakteristik değerlerini (kazanc, yöneltim, geri dönüş kaybı ve ışıma örüntüsü gibi) değiştirmektedir. Tablo 2’de anten tasarlanırken seçilen yalıtkan ara malzemenin özellikleri verilmiştir. Yalıtkan malzeme (PF-4) seçilirken bu malzemenin dielektrik kaybını temsil eden kayıp tanjantın küçük olmasına dikkat edilmiştir.

**Tablo 2.** Yalıtkan malzemenin özellikleri

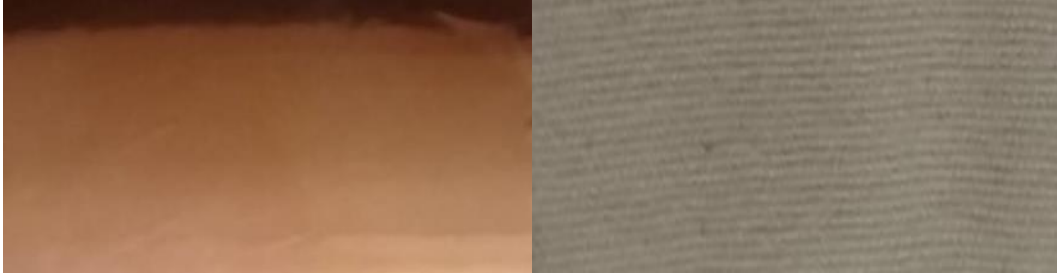
Dielektrik malzemenin türü	Dielektrik katsayısı ( $\epsilon_r$ )	Kayıp tanjantı ( $\tan\delta$ )	Yüksekliği (mm)
PF-4	1,06	0,0001	2

Tablo 3’te ise toprak ve yama için seçilen bir tarafı yapışkan bakır bandın özellikleri verilmiştir.

**Tablo 3.** İletken malzemenin özellikleri

	Elektriksel iletkenlik $\sigma$ (MS/m)	Yüksekliği (mm)
Bir tarafı yapışkan bakır bant	59	0,08

Şekil 2-a-’da bir tarafı yapışkan iletken bakır bandın, -b-’de ise yalıtkan malzemenin resmi verilmiştir.



-a-

-b-

Şekil 2. Seçilen -a- iletken, -b- yalıtkanın görüntüsü

Anten için yalıtkan ve iletken malzemeler belirlendikten sonra, antenin çalışacağı frekansa karar verilir, ardından CST ortamında dikdörtgen mikroşerit antenin tasarımına geçilir.

Önce yama kısmın genişliği, uzunluk artışı ve etkin bağıl dielektrik sabiti aşağıdaki bağıntılarda ( $f_r:38$  GHz ve  $\epsilon_r:1,06$  ve  $h:2$  mm) yerine yazılarak bulunur (Balanis, 2005): Yama genişliği (mm):

$$W = \frac{1}{2 \times f_r \times \sqrt{\mu_0 \times \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = 3,887 \text{ mm} \quad (1)$$

bulunur.

Etkin bağıl dielektrik sabiti, ( $\frac{W}{h} = 1,943 > 1$ ) koşulu altında eşitlik (2)'den bulunur.

$$\epsilon_{\text{retkin}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + \frac{12 \times h}{W} \right]^{-1/2} = 1,0412 \quad (2)$$

Eşitlik (2)'den hesaplanan etkin dielektrik sabiti ve (1) eşitliğinden bulunan yama genişliği kullanılarak, yamanın besleme koluyla birleştiği noktayla yamanın ön kısmında elektriksel olarak meydana gelen saçaklanma etkisiyle oluşan uzunluk artışı eşitlik (3)'ten hesaplanır.

$$\Delta L = \frac{2(0,412) (\epsilon_{\text{retkin}} + 0,3) \left[ \frac{W}{h} + 0,264 \right]}{(\epsilon_{\text{retkin}} - 0,258) \left[ \frac{W}{h} + 0,8 \right]} = 0,5676 \text{ mm} \quad (3)$$

(2) ve (3) numaralı eşitlikle bulunan  $\epsilon_{\text{retkin}}$  ve  $\Delta L$  kullanılarak yamanın teorik uzunluğu (L), Eşitlik (4)'ten hesaplanır:

$$L = \frac{c}{2 \times f_r} (\epsilon_{\text{retkin}})^{-1/2} - 2 \times \Delta L = 1,595 \text{ mm} \quad (4)$$

(1) nolu eşitlikle bulunan yama genişliği (W) ve (4) nolu eşitlikle bulunan yama uzunluğu (L)'den yararlanarak (5) ve (6) nolu eşitliklerden sırasıyla dielektrik ve toprak kısmın genişliği ( $W_g$ ) ve uzunluğu ( $L_g$ )

$$W_g = W + 6 \times h = 15,887 \text{ mm} \quad (5)$$

$$L_g = L + 6 \times h = 13,595 \text{ mm} \quad (6)$$

bulunur.

Burada;

$W_g$ : toprak ve dielektrik kısmın genişliği (mm)

$L_g$ : toprak ve dielektrik kısmın uzunluğunu (mm)

h: dielektrik kısmın yüksekliği (mm)

$\epsilon_r$ : bağıl yalıtkanlık sabitini

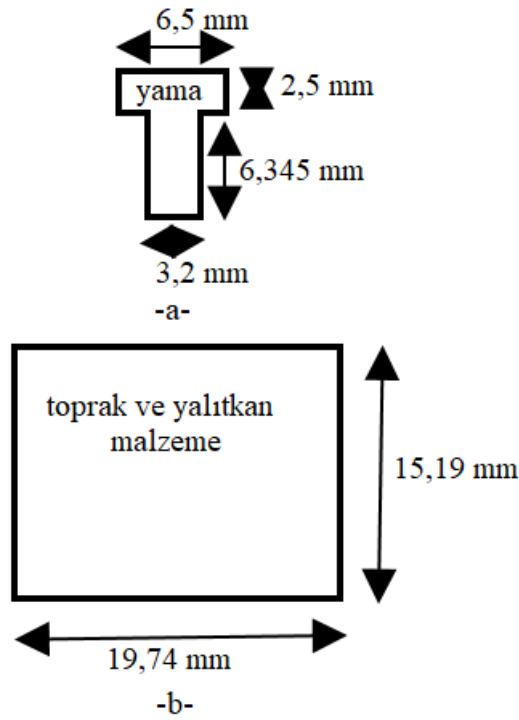
ifade eder.

Teorik olarak yukarıdaki gibi bulunan ebatlarla CST ortamında tasarım yapıldığında çoğunlukla elde edilen geri dönüş kaybı, kazanç, yöneltim gibi karakteristik değerler arzu edilen değerlerin altında olur. Bu yüzden özellikle yama kısmın uzunluk ve genişliği üzerinde değişiklik yapılarak istenilen karakteristik değerler elde edilene kadar program sürekli koşturulur. Tablo 4'te antenin teorik ve gerçek ebatları verilmiştir.

**Tablo 4.** Antenin teorik olarak bulunan ebatlarıyla gerçek ebatları

	Teorik (W) (mm)	Gerçek (W) (mm)	Teorik (L) (mm)	Gerçek (L) (mm)
Yama	3,887	6,5	1,595	2,5
Toprak	15,887	19,74	13,595	15,19
Yalıtkan	15,887	19,74	13,595	15,19

Şekil 3'te antenin istenilen karakteristik sonuçlarını veren -a-'da yama kısmın, -b-'de ise toprak ve yalıtkan malzemenin ebatları gösterilmiştir.

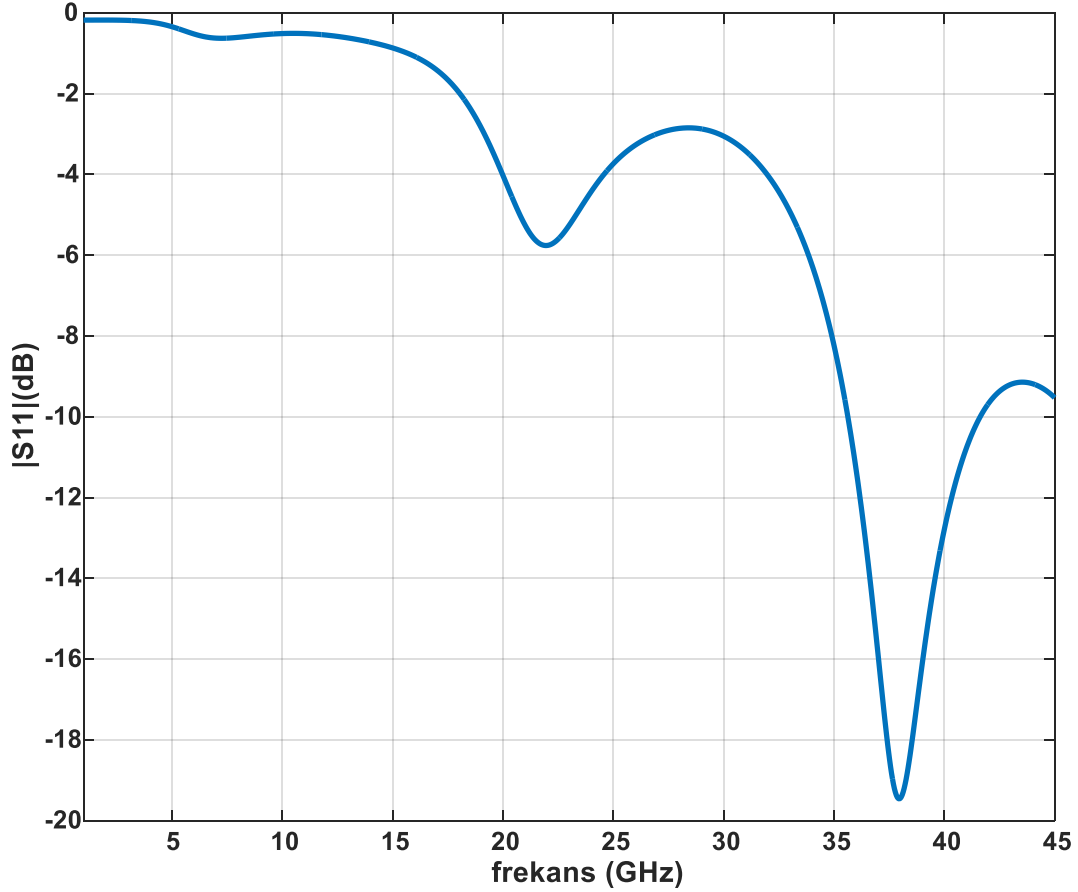


**Şekil 3.** Tasarlanan antenin -a- yama kısmın, -b- yalıtkan ve toprak kısmın ebatları

### 3. Bulgular ve Tartışma

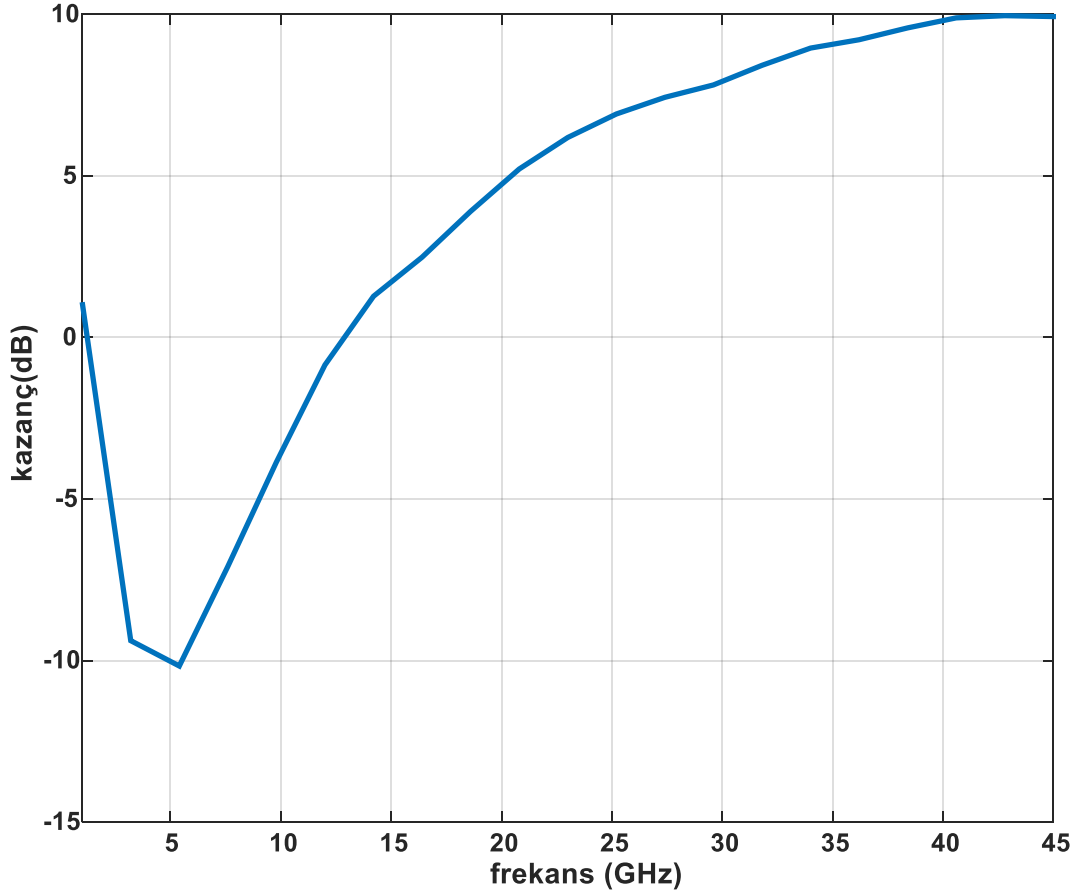
Benzetim sonucunda elde edilen karakteristik değerler, tasarlanan antenin başarısını gösteren önemli kanıtlardır. Tasarlanan antenin geridönüş kaybının frekansla değişimi şekil 4'te gösterilmiştir. Eğrinin -10 dB'i kestiği iki frekans değeri, antenin alt ve üst kesim frekansını verir. Bu iki frekans arasındaki frekans farkı, antenin bant genişliğini ifade eder.  $S_{11}$  eğrisinin en düşük değerine karşılık gelen frekans antenin çalışma frekansını verir.  $S_{11}$  ne kadar küçük olursa antenin empedans uyumunun o kadar iyi

yapıldığıının ifadesidir. Şekil 4'ten alt kesim frekansının 35,642 GHz, üst kesim frekansının 41,627 GHz ve bant genişliğinin normal bir mikroşerit antenin bant genişliğinden çok daha geniş 5,986 GHz olduğu görülmektedir. Aynı zamanda  $S_{11}$ 'in en düşük değerinin -19,452 dB ve bu değere karşılık gelen gerçek çalışma frekansının 37,995 GHz olduğu görülmektedir. Anten tasarlanırken alınan çalışma frekansı (38 GHz) ile tasarlanan antenin benzetim sonucunda bulunan çalışma frekansının (37,995 GHz) birbirine yakın olması anten tasarımının iyi yapıldığını gösterir.



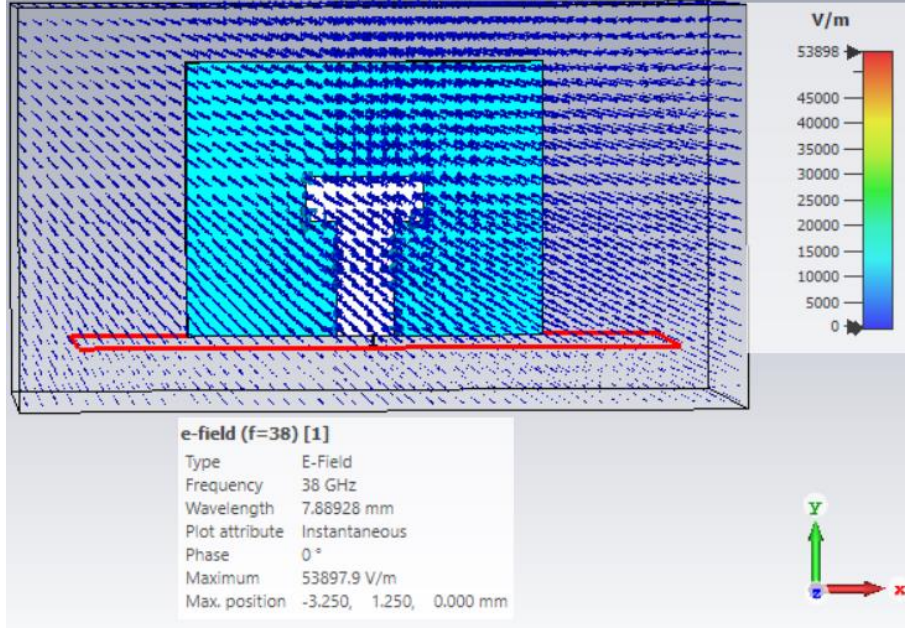
Şekil 4. Geri dönüş kaybının frekansla değişimi

Şekil 5'te antenin önemli parametrik değerlerinden biri olan kazancın frekansla değişimi gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde en yüksek kazanç (9,512 dB) ve bu değere karşılık gelen frekansın, çalışma frekansı olarak seçilen 38 GHz olduğu görülmektedir.



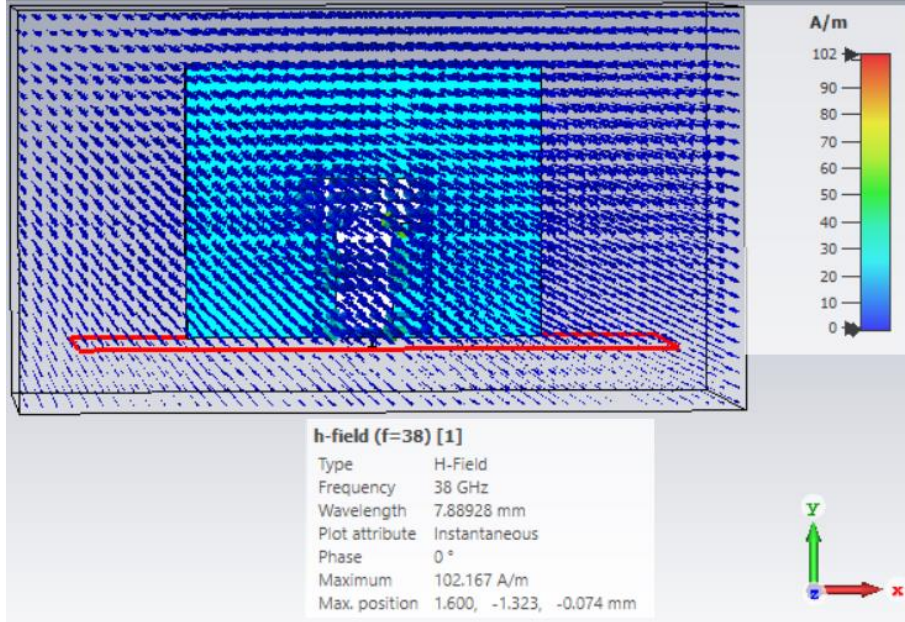
Şekil 5. Kazancın frekansla değişimi

Mikroşerit antenlerde ışınım, yamanın yama koluyla birleştiği noktayla yamanın ön kısmında oluşmaktadır. Şekil 6'da anten üzerindeki elektrik alan değişiminin önden görünümü gösterilmiştir. CST ortamında elektrik alanın phi ve theta'ya bağlı değişiminden antenin polarizasyonu belirlenmektedir. Polarizasyon haberleşmede önemli bir parametredir. Alıcı ve verici anten aynı polarizasyonda olmadığında alıcı antende, alıcı ve verici anten polarizasyonu arasındaki açının cosinüs'ünün karesiyle doğru orantılı olarak ifade edilen polarizasyon kaybı (Polarization Loss Factor, PLF)'ndan dolayı daha düşük bir gerilim elde edilir ( $PLF = \cos^2\phi$ ). Şekil 6'da elektrik alanın +X yönünde olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Anten üzerindeki elektrik alan değişimi

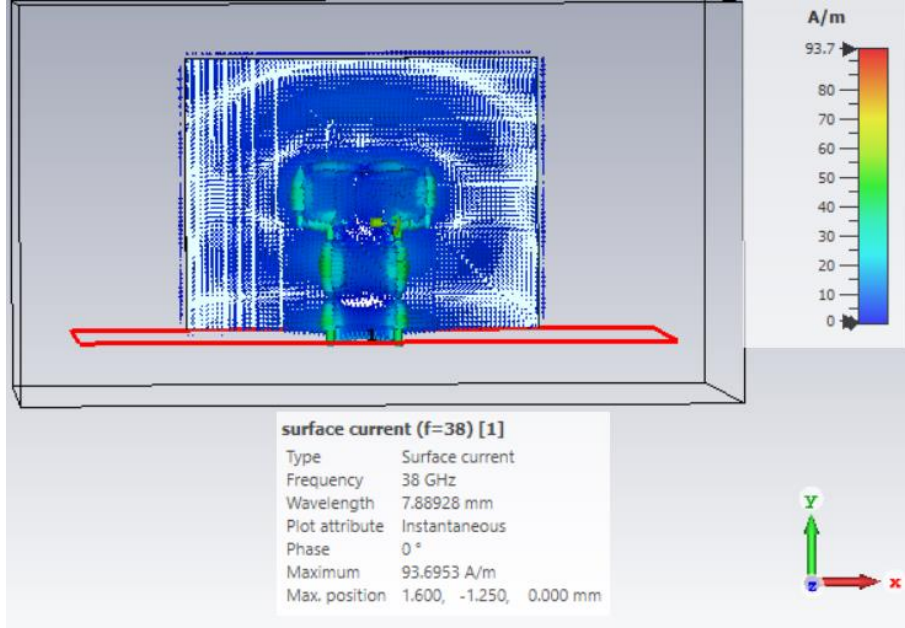
Şekil 7’de anten üzerindeki manyetik alan değişiminin önden görünümü verilmiştir. Şekil 7’de manyetik alan değişimi +Y yönündedir. Anten lineer polarizasyonlu olduğundan elektrik alan değişim yönü +X, manyetik alan değişim yönü +Y ve antenden yayılan elektromanyetik alanın yayılım yönü +Z’dir.



Şekil 7. Anten üzerindeki manyetik alan değişimi

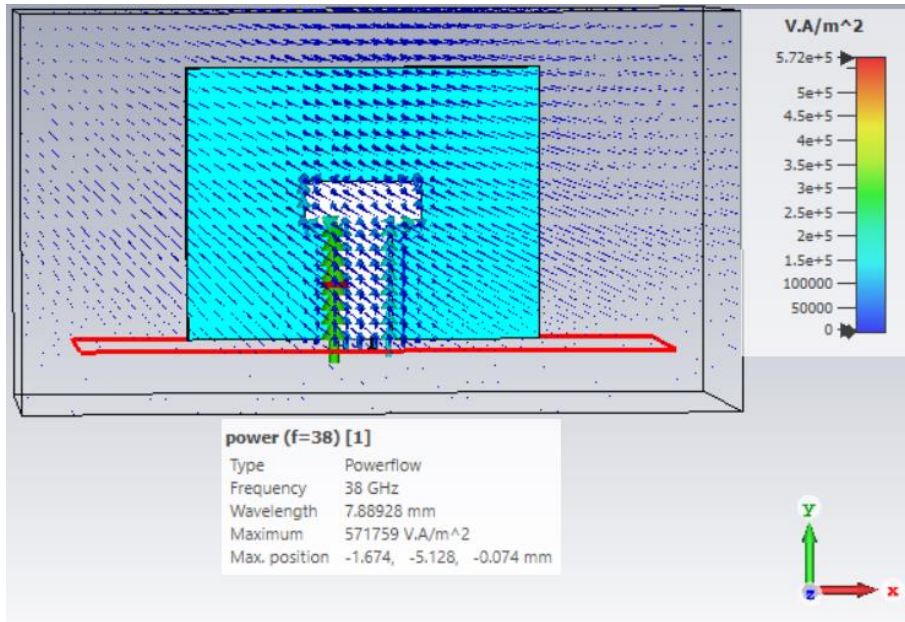


Şekil 8’de anten yüzeyindeki akım değişiminin önden görünümü verilmiştir. CST ortamında yüzey akımının üç boyutlu değişimini görmek mümkündür. Bu değişim anten yüzeyindeki akımın yoğunlaştığı bölgeleri gösterir.



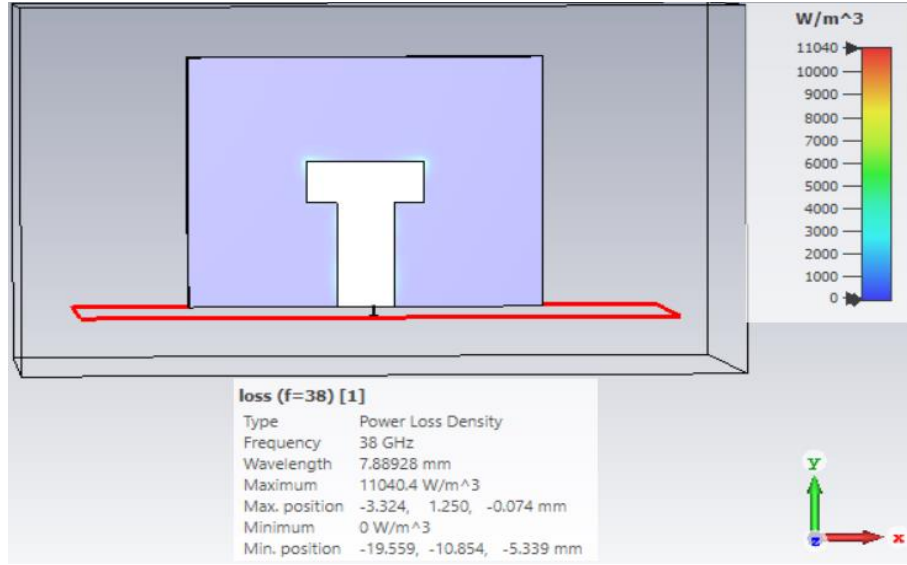
Şekil 8. Anten üzerindeki yüzey akımının değişimi

Şekil 9’da anten yüzeyindeki güç yoğunluğunun değişimi gösterilmiştir. Şekilden çalışma frekansında yama kısmın; gücü, anten yüzeyinde nasıl yönlendirdiği görülmektedir. Verici antenin güç yoğunluğu değişimi, alıcı antenin verici anten karşısında konumunun ne olması gerektiğinin bilgisini vermektedir.



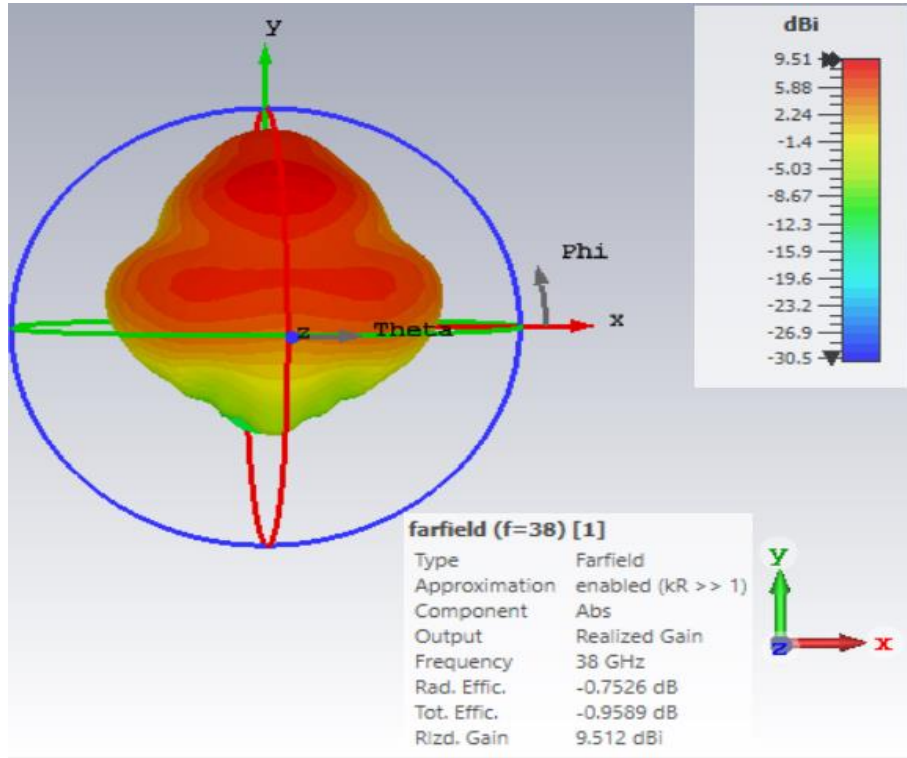
Şekil 9. Anten üzerindeki güç yoğunluğunun değişimi

Şekil 10'da anten üzerindeki hacimsel enerji kaybı değişiminin önden görüntüsü verilmiştir. Çalışma frekansında antenin enerji kaybının hacimsel değişimi, antenin enerji kaybının miktarını ve yoğunlaştığı bölgeleri verir.



Şekil 10. Anten üzerindeki enerjinin hacimsel değişimi

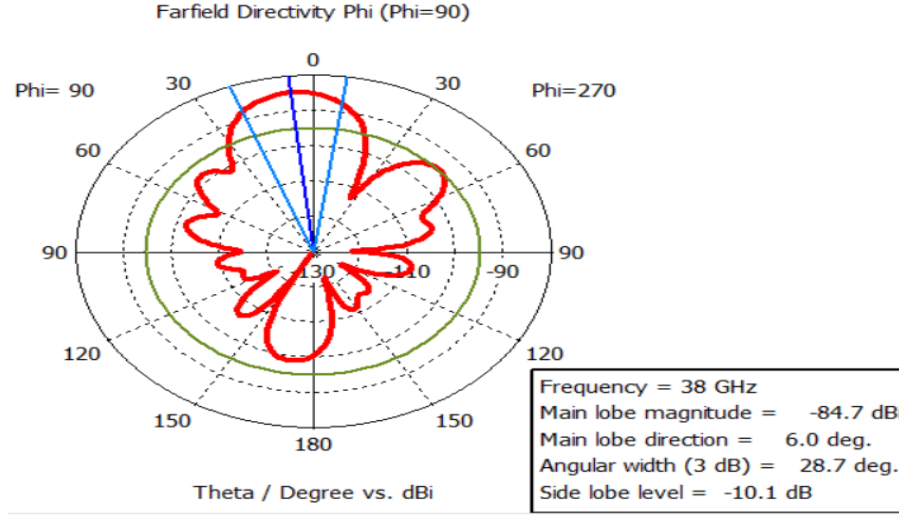
Şekil 11'de kazancın phi ve theta açısına bağlı olarak üç boyutlu değişimi gösterilmiştir. Şeklin sağ tarafındaki renk yelpazesinden görülebileceği gibi kazanç turuncudan kırmızıya doğru artmaktadır. Şekilde yayılımın +Z yönünde maksimum olduğu görülmektedir. Bu şekil anteni verici olarak kullanacak alıcı antenin hangi bölgede konumlanacağıyla ilgili bize önemli bilgiler verir.



Şekil 11. Kazancın phi ve theta'ya göre üç boyutlu değişimi

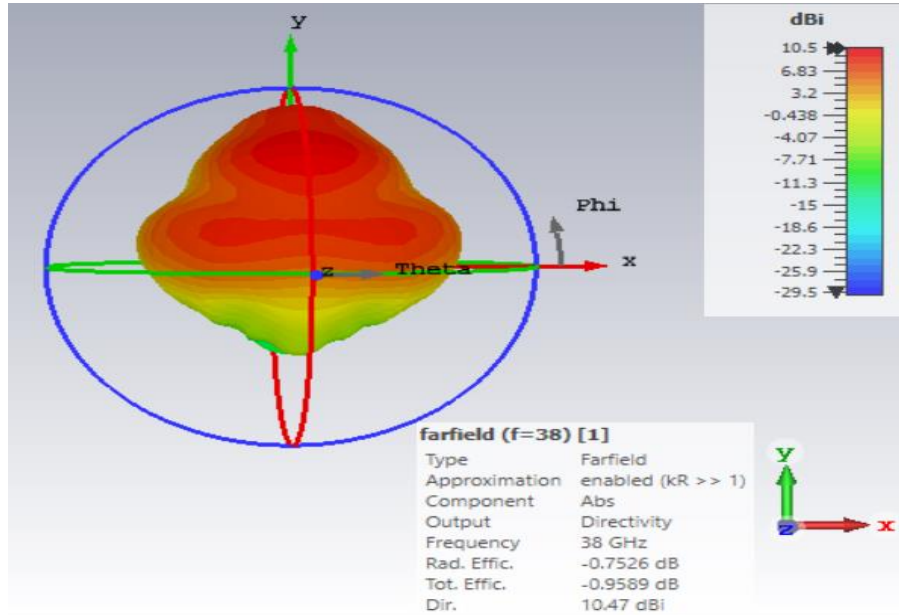


Şekil 12’de yönlülüğün iki boyutlu değişimi gösterilmiştir. Bu şekilden yararlanarak antenin ana lob, yan lob, arka lob’unu ve 3 dB açıklığını bulabiliriz. Ana lob’dan yayılımın yönünü, bu değer en yüksek değerinden 3 dB aşağı düştüğü noktalar arasından antenin kapsam alanını (28,7°) buluruz. Aynı zamanda bu grafikten antenin önemli kalite ölçütlerinden biri olan ana lob en yüksek alan değerinin, arka lob en düşük alan değerine bölümünü veren ön/arka oranını da bulmak mümkündür. Antenlerde bu oranın yüksek olması istenir ve bu oran antenin kalitesini göstermesi açısından önemlidir.



Şekil 12. Yönlülüğün phi ve theta’ya göre değişimi

Şekil 13’te anten değerlendirilmesinde en önemli parametrelerinin başında bulunan yöneltimin phi ve theta açısına bağlı değişimi verilmiştir. Şekilden antenin +Z yönünde gücü yoğunlaştırdığını görmek mümkündür. Antenlerin yöneltimi, antenin kazancı ve verimi ( $\eta=G/D$ ) arasındaki ilişkiyi vermektedir.



Şekil 13. Yönlülüğün phi ve theta’ya göre üç boyutlu değişimi

Tablo 5'te literatürde bahsedilen antenlerle tasarlanmış olduğumuz antenin; alt yapı malzemesi, dielektrik katsayısı, yama tipi, kazanç çalışma frekansı gibi birçok yönden karşılaştırılması verilmiştir.

**Tablo 5.** Literatürdeki bazı antenlerle tasarlanmış olan antenin karşılaştırması

Yazar/ yıl	Çalışma frekansı $f_r$ (GHz)	Bant Genişliği $B_w$ (GHz)	Kazanç $G$ (dB)	Dielektrik katsayısı $\epsilon_r$	Yama tipi/ altyapı
Bashar ve Elrouby, 2022	3,5	0,5	14,9	3,55	Kare tipi yamalı, 4x4 dizi, Rogers RO4003C, h:0,8mm tasarlanmıştır
Razak ve Shah, 2022	28	2	7,639-10,86	2,2	Dikdörtgen yamalı, tek iki ve dört elemanlı dizi, mikroşerit besleme ve içten beslemeli antenin karşılaştırılması yapılmış, Rogers RT5880, h:0,787 mm, $\tan\delta:0,0009$ , anten tasarlanmıştır
Hatte ve ark., 2022	32 38	2,8 2,85	6,27 4,73	2,2	RT Rogers 5880, $\tan\delta:0,0009$ , tasarlanmıştır
Hamzah ve ark., 2022	28	0,459	6,99	2,2	Dikdörtgen yamalı, h:0,1 mm, tasarlanmıştır
Falih ve ark., 2022	3,5	0,15	3,5	4,3	Dairesel yamalı, dairesele polarize 2x2 dizi anten, FR-4 üretilmiştir
Azizi ve Rabaani, 2022	28	2	7,18	2,94	Dikdörtgen yama, Roger RT 6002, $\tan\delta:0,0012$ , h:7,62 mm, tasarlanmıştır
Elechi ve John, 2022	3,5 5,93 7,49 10,07 11,65	0,05 0,09 0,11 0,2 0,28	5,97	2,2	RT/Duroid 5880, h:1mm, 4 farklı dikdörtgen yamalı içten beslemeli, anten tasarlanmıştır
Nahas, 2022	26 28	0,55 1,1	8,63 11,26	2,2	Rogers RT5880,dikdörtgen yamalı, h: 0,508mm, $\tan\delta:0,0009$ içten beslemeli tasarlanmıştır
Gupta ve Gupta, 2022	28	2,64	7,07	2,2	Rogers RT/Duroid 5880, h:0,254 mm, dairesele yamalı 1 ve 4 elemanlı dizi üretilmiştir
Mutlu ve Kara	38	5,98	G: 9,512, $\Gamma$ : 0,106 GDDO:1,239 3 dB açıklığı 28,7°	1,06	Dikdörtgen yamalı, PF-4, $\tan\delta:0,0001$ , h: 2 mm, tasarlanmıştır

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada 5G sistemi üst bandında çalışacak şekilde alt tabanı PF-4'ten iletken kısmı, bir tarafı yapışkan bakır banttandır oluşan ve 38 GHz'de çalışan, yamasının boyutları 6,5 mmx2,5 mmx2 mm olan içten beslemeli dikdörtgen mikroşerit anten CST ortamında tasarlanmıştır. Yalıtkan olarak PF-4'ün seçimi, antenin dielektrik kaybını gösteren kayıp tanjantın çok küçük olmasındandır. Aynı zamanda bu

malzeme kolaylıkla tedarik edilebilmektedir. İletken olarak da bir tarafı yapışkan bakır bandın seçimi, antenin pratik olarak gerçekleştirilmesi halinde alt malzeme olarak PF-4 seçilmesi durumunda, PF-4'ün her iki yüzüne (alt yüzeyi toprak, üst yüzeyi yama) rahatlıkla yapıştırılabilmemesindedir. Antenin en önemli kısmı olan yamanın boyutları çok küçük olmasına rağmen, benzetim sonuçlarına bakıldığında belki de sadece mikroşerit antenlere özgü karakteristik değerler elde edilmiştir. Tasarlanan anten 35,642 GHz ile 41,627 GHz aralığında çalışabilmekte dolayısıyla antenin bant genişliği 5,486 GHz gibi normal mikroşerit antenlerin sahip olamayacağı kadar geniş bir bant elde edilmiştir. Antenin; geri dönüş kaybı -19,452 dB, yansıma katsayısı 0,106 ve çalışma frekansı 37,995 GHz, kazancı 9,512 dB, yöneltimi 10,47 dBi ve verimi % 90,8'dir. Antenin 3 dB açıklığı 28,7° olması, gücün çok dar bir alana yayıldığını, yöneltimin çok iyi olduğunu gösterir. Bu çalışmanın 5G üst bandıyla ilgili yapılacak anten tasarımlarına yol göstereceği kanaatindeyim.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

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

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

### **Kaynakça**

- Azizi MK., Rabaani K. Design of microstrip antenna for 5G applications at 28 GHz. Microwave Mediterranean Symposium (MMS) 2022; 1-3. Italy.
- Balanis AC. Antenna theory analysis and design. Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey. Published Simultaneously in Canada; 2005.
- Bashar IKK., Elrouby A. Broadband dual-polarized aperture-coupled patch antenna for 5G applications. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET) 2022; 10(8): 666-671.
- Choudhary S., Jha G., Kumar A., Kumar A. A broadband microstrip mimo antenna for 5G mm-wave applications. Optical and Wireless Technologies. Part of the Lecture Notes in Electrical Engineering book series (LNEE) 2022; 892: 339-344.
- Djellid A., Benmeddour F., Bahri L., Ghodbane A. Novel high-gain and compact UWB microstrip antenna for WiFi, WIMAX, WLAN, X band and 5G applications. Optical and Quantum Electronics 2022; 54: 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11082-022-03731-7>.
- Elechi P., John POR. Improved multiband rectangular microstrip patch antenna for 5G application. Journal of Telecommunication. Electronic And Computer Engineering (JTEC) 2022; 14(2): 1-14.

- Ezzulddin SK., Hasan SO., Ameen MM. Microstrip patch antenna design, Simulation and Fabrication for 5G Applications. *Simulation Modelling Practice and Theory* April 2022; 116:1-14.
- Falih MA., Yasir IA., Chan Hwang See CH., Raed A. Single-element and MIMO circularly polarized microstrip antennas with negligible back radiation for 5G mid-band handsets. *Sensors* 2022; 22(8): 1-13.
- Gupta P., Gupta V. Linear  $1 \times 4$  microstrip antenna array using slotted circular patch for 5G communication applications. *Wireless Personal Communications* 2022; 127: 2709-2725.
- Hamzah M., Basil N., Abdualnabi HA., Ibrahim RA. Simulation and optimization of rectangular microstrip patch antenna for mobile 5G communications. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI)* 2022; 8(2): 249-255.
- Hatte J., Mudda S., Gayathri KM., Patil RB. Millimeter-wave dual-band (32/38 GHz) microstrip patch antenna for 5G communication. Part of the Lecture Notes in Electrical Engineering book series (LNEE), *Recent Innovations in Computing* 2022; 855: 225-237.
- Mutlu M., Kurnaz Ç. Mikrodalga Görüntüleme sistemleri için mikroşerit anten tasarımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı Kasım* 2020; 129-137.
- Muduli A., Lalitha MS., Gayatri S. A Modified multiband antenna for 5G communication. *International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics (ESCI)* 2022; 1-5. Pune India.
- Nahas M. A super high gain l-slotted microstrip patch antenna for 5G mobile systems operating at 26 and 28 GHz. *Engineering Technology and Applied Science Research* February 2022; 12(1): 8053-8057.
- Praveena R., Ganesh Babu TR., Shenbagadevi K., Punitha S., Priya S., Thiyagarajan N. Design of hybrid coupled microstrip antenna for 5G applications. *8th International Conference on Smart Structures and Systems (ICSSS)* 2022; 1-6. Chennai India. DOI:10.1109/ICSSS54381.2022.9782242.
- Przesmycki R., Bugaj M. Crescent microstrip antenna for LTE-U and 5G systems. *Electronics* 2022; 11(8): 1-15. Basel Switzerland.
- Razak, NS., Shah SM. Antenna for 5G mobile communication at 28 GHz. *Journal of Electronic Voltage and Application* 2022; 3(1): 33-44.
- Vishnoi V., Singh P., Budhiraja I., Malik PK. Multiband dual-layer microstrip patch antenna for 5G wireless applications. *Proceedings of Third International Conference on Computing, Communications and Cyber-Security*. Part of the Lecture Notes in Networks and Systems book series (LNNS) 2022; 421: 85-93. India,

## Tsallis Holographic Dark Energy with Granda-Oliveros Scale in Bianchi-Type V Universe

Murat KORUNUR<sup>1\*</sup>, Sibel KORUNUR<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Munzur University, Engineering Faculty, Electric-Electrical Engineering Department, 62000, Tunceli

<sup>2</sup> Munzur University, Tunceli Vocational School, Electric-Energy Department, 62000, Tunceli

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-8311-9079>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-0687-2400>

\*Corresponding author: mkorunur@munzur.edu.tr

### Research Article

#### Article History:

Received: 06.12.2022

Accepted: 03.04.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Bianchi-type space-time models

Dark energy

Scalar fields

### ABSTRACT

A wide variety of cosmological observations demonstrate that our universe is in an accelerated expansion phase. Dark energy and dark matter are thought to be two of the causes of this accelerated expansion. Therefore, scientists have been doing many studies on dark energy and matter. In particular, many energy density relations have been reported, and research has been done about space-time structure. In this sense, the Tsallis holographic dark energy model is also in a current and exciting position to understand dark energy. The present study establishes a relationship between the Tsallis Holographic Dark Energy (THDE) model and some scalar fields (quintessence, tachyon, dilaton scalar fields, etc.) specific to the Bianchi-Type V space-time model. The relationship between THDE and Bianchi-Type V space-time model is discussed within the Granda-Oliveros (GO) cut-off framework. The state equation parameter is calculated analytically, and the phase of our universe for this model is graphically investigated. It is found that for all values of the non-additive parameter (except value 2), the EoS parameter behaves as the  $\Lambda$  Cold Dark Model ( $\Lambda$ CDM) in the future. In addition, when looking at the kinetic energy term in all scalar models, the same behavior is observed. Also, the results are analyzed numerically with graphs.

## Bianchi Tip-V Evreninde Granda-Oliveros Ölçekli Tsallis Holografik Karanlık Enerji

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihi:

Geliş Tarihi: 06.12.2022

Kabul tarihi: 03.04.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Bianchi tipi uzay zaman modelleri

Karanlık enerji

Skaler alanlar

### ÖZ

Yapılan çok çeşitli kozmolojik gözlemler bize evrenimizin ivmeli genişleme fazında olduğunu göstermektedir. Karanlık enerji ve karanlık madde bu ivmeli genişlemeye sebeplerinden ikisi olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla son zamanlarda bilim insanları karanlık enerji ve karanlık madde üzerine birçok çalışma yapmaktadır. Özellikle çok sayıda enerji yoğunluğu ifadesi yazılarak uzay-zamanın yapısı hakkında araştırmalar yapılmaktadır. Tsallis holografik karanlık enerji (THKE) modeli karanlık enerjiyi anlama noktasında güncel ve heyecan verici bir konumdadır. Çalışmada Bianchi-Tipi V uzay-zaman modeli özelinde Tsallis holografik karanlık enerji modeli ile bazı skaler alanlar (quintessence, takyon, dilaton skaler alanları vb.) arasında bir ilişki kurulmaktadır. THKE ile Bianchi tipi V uzay-zaman modeli arasındaki ilişki, Granda-Oliveros (GO) kesme çerçevesi içinde tartışılmaktadır. Non-additive parametresinin tüm değerleri için (2 değeri hariç), EoS parametresinin gelecekte  $\Lambda$  Soğuk Karanlık Model ( $\Lambda$ SKM) gibi davrandığı bulunmuştur. Bununla birlikte tüm skaler modellerde kinetik enerji terimine bakıldığında aynı davranışın

## 1. Introduction

Recently, the dark matter and dark energy sector, which makes up 95% of our universe, has undoubtedly been the part that has received the most attention from theoretical physicists (Peiris et al., 2003; Abbott et al., 2016; Ade et al., 2018). The other 5% is ordinary matter (Planck Collaboration, 2018). Data from the Planck collaboration, baryon acoustic oscillations, type Ia supernovae, and large-scale galaxy surveys have shown that our universe has accelerated expansion. The most prominent candidate that is thought to cause this expansion is dark energy. One of the primary candidates for dark energy is the generalization of the cosmological constant (Copeland et al., 2006) caused by the negative pressure, where the equation of state (EoS) parameter is equal to  $-1$ . Other factors that cause accelerated expansion are general relativity modifications and scalar fields.

Based on the holographic principle, holographic dark energy may cause accelerated expansion. The holographic principle is proposed to clarify the thermodynamics of black holes and is directly related to the entropy of the physical system ('t Hooft, 1993). Additionally, holographic dark energy is compatible with observational data and allows us to understand dark energy. Tsallis and Cirto introduced a new holographic dark energy model called the THDE model using Tsallis generalized entropy (Tsallis and Cirto, 2013). The Bianchi-I (axially symmetric) anisotropic model with a hybrid expansion law by considering k-essence, THDE, and IR (infra-red) cut-off with the Hubble horizon has been studied (Dubey et al., 2019). Another new holographic dark energy in the Bianchi-type universe with k-essence was investigated (Srivastava et al., 2019). Considering the Friedmann–Robertson–Walker model, the quintessence scalar field for the THDE was investigated using various values of the non-additive parameter (Kumar et al., 2022). The non-interacting THDE model and cosmological parameters were studied using the Bianchi-type V space-time model and taken apparent horizon as IR cut-off study (Das and Mahanta, 2022). To review more studies in this area, one can see the following references (Sarkar, 2014; Barboza et al., 2015; Saridakis et al., 2018; Zadeh et al., 2018; Korunur, 2019; Dheepika and Mathew, 2022; Pandey et al., 2022).

Another candidate for dark energy is scalar field, which naturally arises in particle physics, relating the String/M and super-symmetric field theories (Sheykhi and Bagheri, 2011). Due to being a variable EoS parameter, the dark energy candidate has a dynamic character. Therefore, scalar fields are the simplest candidates for the dynamic approach. Many studies have been found out the reconstruction between scalar field and dark energy models (Jorge et al., 2007; Lorenzo et al., 2017; Erkan et al., 2017; Aktas, 2019; Srivastava et al., 2019; Yerzhanov et al., 2019; Korunur, 2021; Mavoia et al., 2022).

The content of our study is as follows: In the next section, an interaction is made with THDE for the Bianchi-Type V space-time model, and the EoS parameter is calculated. Then in the section 3,

reconstruction between the THDE and the scalar fields is constructed. The analyzes are evaluated with the help of graphs. The last part is devoted to the conclusion. Some constants. Such as  $\hbar, k_B$  and  $c$  as one for convenience throughout the study. Mathematica software (Wolfram Research; 2012) is used for graphical analysis and numerical calculations.

## 2. Interaction THDE and Bianchi -Type V cosmology

Since gravity is a long-range interaction, statistical mechanics is used as an instrument in gravitational systems (Abe, 2001; Mahji, 2017). Tsallis entropy is a generalized and thermodynamical entropy developed using Bekenstein entropy. Considering standard holographic dark energy and Tsallis statistics, a new THDE model is defined (Tsallis and Cirto, 2013). Tsallis generalized entropy is given by:

$$S_T = \gamma A^\delta, \quad (1)$$

where  $\gamma$  is an unknown constant while  $\delta$  is a non-additive parameter and  $A = 4\pi L^2$  is the horizon area of the black hole with radius  $L$ . The THDE is defined by (Tsallis and Cirto, 2013):

$$\rho_D = \mathcal{E} L^{2\delta-4} \quad (2)$$

Here  $\mathcal{E}$  is a constant with dimension  $L^{2-2\delta}$ . In this study, we introduce the apparent horizon as a Granda-Oliveros scale (Granda and Oliveros, 2008) as below:

$$L = [\mu H^2(t) + \nu \dot{H}(t)]^{-2}, \quad (3)$$

where dot means the derivative with respect to time, and  $\mu$  and  $\nu$  are constants. Using equations (2) and (3), the THDE is obtained as:

$$\rho_D = \mathcal{E} [\mu H^2(t) + \nu \dot{H}(t)]^{2-\delta}. \quad (4)$$

Since the Bianchi-Type V universe model is a generalized and open universe form in the FRW universe model, it is important in dark energy studies (Coles and Ellis, 1994). The following metric gives the spatially homogenous and anisotropic Bianchi-Type V space-time model,

$$ds^2 = -dt^2 + A^2(t)dx^2 + e^{2mx} [B^2(t)dy^2 + C^2(t)dz^2] \quad (5)$$

where  $m$  is a constant. In order to obtain field equations, the Einstein field equation in view of the dark energy can be written as:

$$R^i_j - \frac{1}{2}g^i_j R = -T_j^{(M)i} - T_j^{(D)i}. \quad (6)$$

Here  $T_j^{(M)i}$  and  $T_j^{(D)i}$  are energy-momentum tensors of matter and dark energy, which are defined as:

$$T_j^{(M)i} = \text{diag}[-\rho^{(M)}, 0, 0, 0] \quad (7)$$

$$T_j^{(D)i} = \text{diag}[-1, \omega_x, \omega_y, \omega_z]\rho^{(D)}. \quad (8)$$

where  $\rho^{(M)}$  and  $\rho^{(D)}$  represent energy density of matter and dark energy, respectively, and  $p^{(M)}$  is a pressure of matter while  $p^{(D)} = \omega\rho^{(D)}$  ( $\omega$  is represented by the EoS parameter). Using equations (5), (6), and (7)-(8), the following field equations are obtained:

$$\frac{2\dot{A}}{A} - \frac{\dot{B}}{B} - \frac{\dot{C}}{C} = 0, \quad (9)$$

$$\frac{\dot{A}\dot{B}}{AB} + \frac{\dot{C}\dot{B}}{CB} + \frac{\dot{A}\dot{C}}{AC} - \frac{3m^2}{A^2} = \rho^{(M)} + \rho^{(D)}, \quad (10)$$

$$\frac{\ddot{A}}{A} + \frac{\ddot{B}}{B} + \frac{\dot{A}\dot{B}}{AB} - \frac{m^2}{A^2} = -p^{(D)}, \quad (11)$$

$$\frac{\ddot{C}}{C} + \frac{\ddot{B}}{B} + \frac{\dot{C}\dot{B}}{CB} - \frac{m^2}{A^2} = -p^{(D)}, \quad (12)$$

$$\frac{\ddot{A}}{A} + \frac{\ddot{C}}{C} + \frac{\dot{A}\dot{C}}{AC} - \frac{m^2}{A^2} = -p^{(D)}. \quad (13)$$

To obtain the continuity equation, one can combine equations (10)-(13) as:

$$\dot{\rho}^{(M)} + \left(\frac{\dot{A}}{A} + \frac{\dot{B}}{B} + \frac{\dot{C}}{C}\right)\rho^{(M)} + \dot{\rho}^{(D)} + \left(\frac{\dot{A}}{A} + \frac{\dot{B}}{B} + \frac{\dot{C}}{C}\right)(\rho^{(D)} + p^{(D)}) = 0. \quad (14)$$

Considering energy conservation law  $T^{ij}_{;j} = 0$  of matter, the equation (14) can be separated as below:



$$\dot{\rho}^{(M)} + 3H\rho^{(M)} = 0, \quad (15)$$

$$\dot{\rho}^{(D)} + 3H(1 + \omega)\rho^{(D)} = 0, \quad (16)$$

where the definition of the average Hubble parameter is used:

$$H = \frac{1}{3} \left( \frac{\dot{A}}{A} + \frac{\dot{B}}{B} + \frac{\dot{C}}{C} \right) = \frac{\dot{a}}{a} \quad (17)$$

and  $a$  is a time-dependent scale factor ( $a = (ABC)^{1/3}$ ) of the given universe. We consider the special choice of the deceleration parameter ( $q$ ) (Banerjee and Dos, 2005) as:

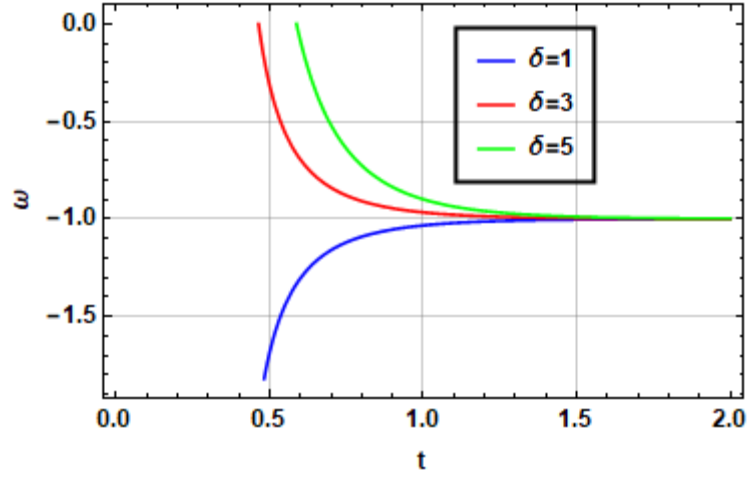
$$q = -\frac{a\ddot{a}}{a^2} = -1 + \frac{\beta}{1 + a^\beta} \quad (18)$$

where  $\beta$  is a positive constant. When integrating equation (18), it is found that (Bishi and Mahanta, 2015) :

$$a = (e^{Q\beta t} - 1)^{1/\beta} \quad (19)$$

while  $Q$  is an integration constant. From equation (9), it is obtained that  $A^2 = BC$ . From equations (9), (17), and (19)  $A$  can be found, and then taking  $B = C^n$  (Collins et al., 1980)  $B$  and  $C$  can be calculated. Finally, from equations (10)-(13) with equations (15)-(16), the EoS parameter can be obtained in the following form:

$$\omega = \frac{1}{3} \left[ \frac{\beta(\delta - 2)(\mu - \nu\beta)}{\nu\beta - \mu e^{Q\beta t}} + \beta(2 - \delta)(e^{-Q\beta t}) - 3 \right]. \quad (20)$$



**Figure 1.** The behavior of EoS parameter with time. The constants are  $\beta = 2, Q = 1, \mu = 1, \nu = 1$

Figure (1) shows the behavior of the EoS parameter in time. According to the graph, the EoS parameter ( $\omega < -1$ ) behaves as phantom dark energy with negative values of  $(2\delta - 4)$ . On the other hand, when  $(2\delta - 4)$  takes positive values, the EoS parameter ( $\omega > -1$ ) tends to quintessence dark energy era. It is concluded that in time the EoS parameter approaches  $\Lambda$ CDM model ( $\omega = -1$ ) (Tavayef et al., 2018; Saridakis et al., 2018; Korunur, 2019).

### 3. Reconstruction with Scalar Fields

In this subsection, a reconstruction will be made between scalar fields and the TDHE model using the equating method. In other words, an equating is made for the scalar field models considered instead of the energy density defined in the model ( $\rho_{SF} \rightarrow \rho$ ;  $\rho_{SF}$ : energy density of scalar field).

#### 3.1 Reconstruction with Tachyon field

The k-essence model is a model inspired from string theory. In order to make a reconstruction between the THDE and the Tachyon scalar field, the energy and pressure density are described below (Jamil et al., 2011):

$$\rho_T = \frac{V(\phi)}{\sqrt{1 - \left(\frac{d\phi}{dt}\right)^2}} \quad (21)$$

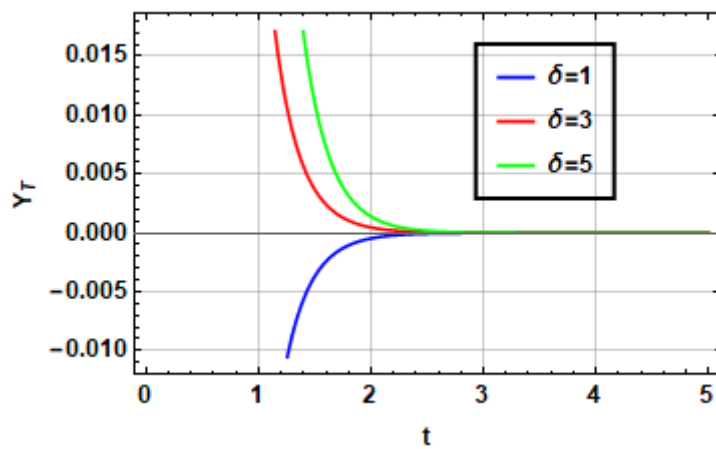
$$p_T = -V(\phi) \sqrt{1 - \left(\frac{d\phi}{dt}\right)^2} \quad (22)$$

Eliminating  $V(\phi)$  from equations (21) and (22) and equating ( $\rho_T \rightarrow \rho$ ),  $Y_T \equiv \left(\frac{d\phi}{dt}\right)^2$  can be obtained:

$$Y_T = \frac{1}{3}\beta(\delta - 2) \left( \frac{\mu - \nu\beta}{\nu\beta - \mu e^{Q\beta t}} - e^{-Q\beta t} \right), \quad (23)$$

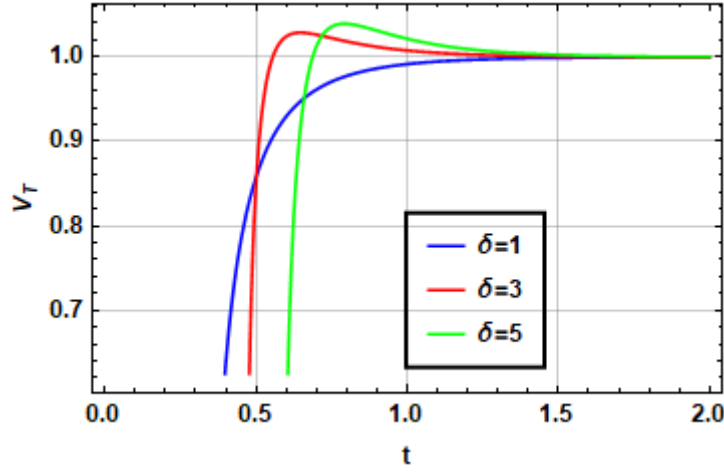
which means the kinetic energy term of a scalar field. Then eliminating  $\left(\frac{d\phi}{dt}\right)^2$  from equations (21) and (22), we obtain the scalar potential of the scalar field as follows:

$$V_T = \Xi \left[ \frac{Q^2 e^{Q\beta t} (\mu e^{Q\beta t} - \nu\beta)}{(e^{Q\beta t} - 1)^2} \right]^{2-\delta} \left[ 1 - \frac{1}{3}\beta(\delta - 2) \left( \frac{\mu - \nu\beta}{\nu\beta - \mu e^{Q\beta t}} - e^{-Q\beta t} \right) \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (24)$$



**Figure 2.** The behavior of tachyonic kinetic energy term with time. Here, the constants are  $\beta = 2, Q = 1, \mu = 1, \nu = 1$

According to Figure 2, the kinetic energy term decreases in time and goes to zero for positive values of  $(2\delta - 4)$ ; on the contrary, for negative values of  $(2\delta - 4)$ , the kinetic energy term increases to zero in time.



**Figure 3.** The behavior of scalar potential term with time. Here, the constants are  $\beta = 2, Q = 1, \mu = 1,$   
 $\nu = 1, \Xi = 1$

With all the values of the  $\delta$  in Figure 3, the scalar potential increases rapidly and approaches a constant value over time.

### 3.2 Reconstruction with Quintessence field

The energy and pressure density of the quintessence field was given by Jamil et al.(2011):

$$\rho_q = \frac{1}{2} \left( \frac{d\phi}{dt} \right)^2 + V(\phi) \quad (25)$$

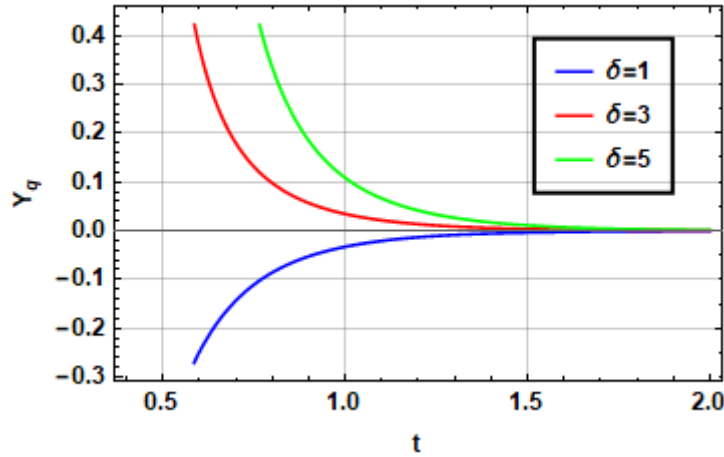
$$p_q = \frac{1}{2} \left( \frac{d\phi}{dt} \right)^2 - V(\phi). \quad (26)$$

Using equations (25) and (26), it can be found that correspondence between the THDE and the kinetic energy term and scalar potential of the quintessence scalar field can be found as, respectively,

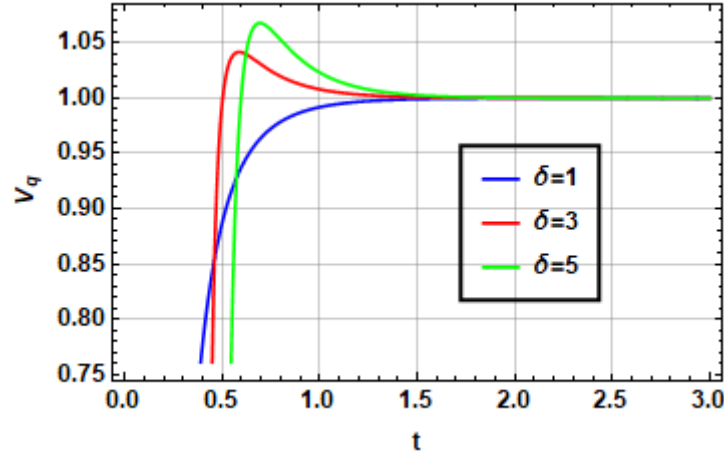
$$\Upsilon_q = \frac{Q^2 \beta (\delta - 2) \Xi [(\nu\beta - 2\mu)e^{Q\beta t} + \nu\beta]}{3(e^{Q\beta t} - 1)^2} \left[ \frac{Q^2 e^{Q\beta t} (\mu e^{Q\beta t} - \nu\beta)}{(e^{Q\beta t} - 1)^2} \right]^{1-\delta} \quad (27)$$

$$V_q = \frac{\Xi}{6} \left[ \frac{Q^2 e^{Q\beta t} (\mu e^{Q\beta t} - \nu\beta)}{(e^{Q\beta t} - 1)^2} \right]^{2-\delta} \left[ \frac{\beta(\delta - 2)(\mu - \nu\beta)}{\mu e^{Q\beta t} - \nu\beta} + \beta(\delta - 2)e^{-Q\beta t} + 6 \right]. \quad (28)$$

Like the tachyon field, the kinetic energy in the quintessence field also approaches zero over time in Figure 4. In Figure 5, again, the scalar potential of the quintessence field the scalar potential increases rapidly and approaches the constant value.



**Figure 4.** The behavior of quintessence scalar field kinetic energy term with time. Here, constants are  $\beta = 2, Q = 1, \mu = 1, \nu = 1$



**Figure 5.** The behavior of quintessence scalar potential term with time. Here, the constants are  $\beta = 2, Q = 1, \mu = 1, \nu = 1, \Xi = 1$

### 3.3 Reconstruction with k-essence field

It is a model in which the kinetic energy term of the scalar field is dominant, and the energy and pressure density were written by Copeland et al. (2006):

$$\rho_k = V(\phi)(3\chi^2 - \chi) \tag{29}$$

$$p_k = V(\phi)(\chi^2 - \chi) \quad (30)$$

where  $\chi$  represents a non-canonical kinetic energy:  $\chi \equiv \frac{1}{2} \left( \frac{d\phi}{dt} \right)^2$ . Again eliminating scalar potential from equations (29)-(30) and equating ( $\rho_k \rightarrow \rho$ ,  $\omega_k \rightarrow \omega$ ) the non-canonical kinetic energy is found as:

$$\chi = \frac{\omega_k - 1}{3\omega_k - 1} \quad (31)$$

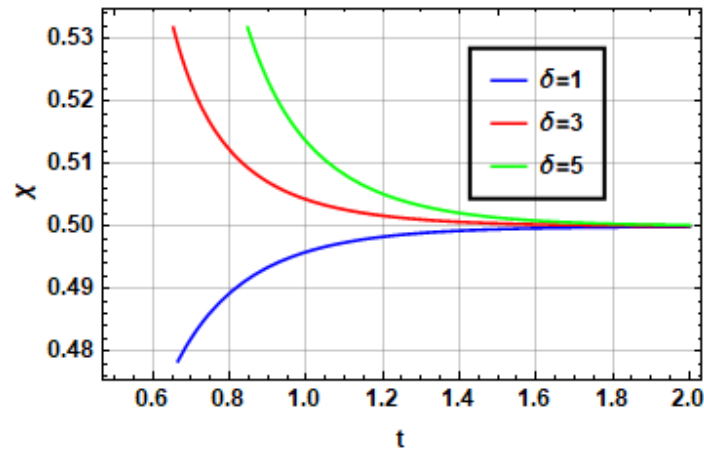
and scalar potential is:

$$V = \frac{1}{2} \rho_k (1 - \omega_k) \left( \frac{3 + \omega_k}{\omega_k + 1} \right). \quad (32)$$

Using equations (4) and (20) in equations (31) and (32), it is found that the non-caconical kinetic energy and the scalar field in explicit form, respectively:

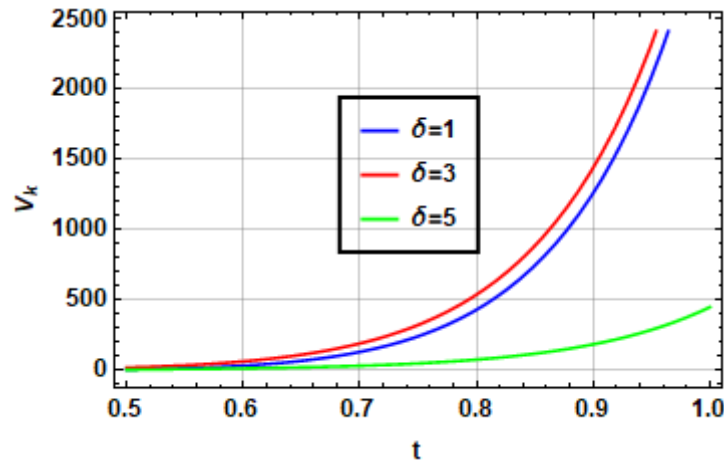
$$\chi = \frac{2\mu e^{Q\beta t} [3e^{Q\beta t} + \beta(\delta - 2)] - \nu\beta\{[\beta(\delta - 2) + 6]e^{Q\beta t} + \beta(\delta - 2)\}}{6\mu e^{Q\beta t} [2e^{Q\beta t} + \beta(\delta - 2)] - 2\nu\beta\{[\beta(\delta - 2) + 4]e^{Q\beta t} + \beta(\delta - 2)\}} \quad (33)$$

$$V_k = \frac{Q^2 \left[ \frac{2\mu Q^2 e^{Q\beta t} (\mu e^{Q\beta t} - \nu\beta)}{(e^{Q\beta t} - 1)^2} \right]^{1-\delta}}{6\beta^2 (\delta - 2)^2 (e^{Q\beta t} - 1)^2 [(\nu\beta - 2\mu)e^{Q\beta t} + \nu\beta]^2} \times \frac{(3e^{Q\beta t} + \beta(\delta - 2)) - \nu\beta\{[\beta(\delta - 2) + 6]e^{Q\beta t} + \beta(\delta - 2)\}}{6\beta^2 (\delta - 2)^2 (e^{Q\beta t} - 1)^2 [(\nu\beta - 2\mu)e^{Q\beta t} + \nu\beta]^2} \quad (34)$$



**Figure 6.** The behavior scalar field of k-essence kinetic energy term with time. Here, the constants are  $\beta = 2, Q = 1, \mu = 1, \nu = 1$

Finally, this model examines the time variation of components of the scalar field. Again, kinetic energy is constant over time (Figure 6), as in previous scalar field models. However, unlike other scalar fields, the scalar potential increases continuously over time for the k-essence scalar field. As the delta value increases, this increased rate becomes slower.



**Figure 7.** The behavior of scalar potential of k-essence term with time. Here, the constants are  $\beta = 2, Q = 1, \mu = 1, \nu = 1, \Xi = 1$

#### 4. Conclusions

Studies to understand dark energy continue in the literature. As new dark energy models are defined, it will be get closer to solving this mystery in the universe. In this context using a new dark energy model called the THDE, reconstruction between the THDE and scalar fields such as Quintessence, k-essence, and Tachyon is proposed. Also, in the THDE model, the time dependence of the EoS parameter is studied within the Granda-Oliveros (GO) cut-off framework. The negative values of  $(2\delta - 4)$ , the EoS parameter acts as phantom dark energy. Besides, with positive values of  $(2\delta - 4)$ , the EoS parameter behaves as quintessence dark energy. For all values of  $\delta$  (except  $\delta = 2$ ), the EoS parameter acts as the  $\Lambda$ CDM model in the future. The same behavior is seen when we look at the kinetic energy term in all scalar models. However, the scalar potential exhibits similar behavior in other tachyon and quintessence fields other than the k-essence scalar field.

#### Acknowledgment

This study was presented as an oral presentation at the “International Conference on Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies-III” in the Girne/Turkish Republic of Northern Cyprus on 15-17 November 2022.

#### Statement of Conflict of Interest

Authors have declared no conflict of interest.

## Author's Contributions

The contribution of the authors is equal.

## References

- Abbott TMC., Abdalla FB., Annis J., Bechtol K., Blazek J., Benson BA., Bernstein RA., Bernstein GM., Bertin E., Brooks D., Burke DL., Rosell AC., Kind MC., Carretero J., Castander FJ., Chang CL., Crawford TM., Cunha CE., D'Andrea CB., da Costa LN., Davis C., DeRose J., Desai S., Diehl HT., Dietrich JP., Doel P., Drlica-Wagner A., Evrard AE., Fernandez E., Flaugher B., Fosalba P., Frieman J., García-Bellido J., Gaztanaga E., Gerdes DW., Giannantonio T., Gruen D., Gruendl RA., Gschwend J., Gutierrez G., Hartley WG., Henning JW., Honscheid K., Hoyle B., Huterer D., Jain B., James DJ., Jarvis M., Jeltema T., Johnson MD., Johnson MWG., Krause E., Kuehn K., Kuhlmann S., Kuropatkin N., Lahav O., Liddle AR., Lima M., Lin H., MacCrann N., Maia MAG., Manzotti A., March M., Marshall JL., Miquel R., Mohr JJ., Natoli T., Nugent P., Ogando RLC., Park Y., Plazas AA., Reichardt CL., Reil K., Roodman A., Ross AJ., Roza E., Rykoff ES., Sanchez E., Scarpine V., Schubnell M., Scolnic D., Sevilla-Noarbe I., Sheldon E., Smith M., Smith RC., Soares-Santos M., Sobreira F., Suchyta E., Tarle G., Thomas D., Troxel MA., Walker AR., Wechsler RH., Weller J., Wester W., Wu WLK., Zuntz J. Dark energy survey year 1 results: a precise  $H_0$  estimate from DES Y1, BAO, and D/H data. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 2018; 480(3): 3879-3888.
- Abe S. General pseudoadditivity of composable entropy prescribed by the existence of equilibrium. *Physical Review E* 2001; 63(6): 061105.
- Ade PAR., Ahmed Z., Aikin RW., Alexander KD., Barkats D., Benton SJ., Bischoff CA., Bock JJ., Bowens-Rubin R., Brevik JA., Buder I., Bullock E., Buza V., Connors J., Cornelison J., Crill BP., Crumrine M., Dierickx M., Duband L., Dvorkin C., Filippini JP., Fliescher S., Grayson J., Hall G., Halpern M., Harrison S., Hildebrandt SR., Hilton GC., Hui H., Irwin KD., Kang J., Karkare KS., Karpel E., Kaufman JP., Keating BG., Kefeli S., Kernasovskiy SA., Kovac JM., Kuo CL., Larsen NA., Lau K., Leitch EM., Lueker M., Megerian KG., Moncelsi L., Namikawa T., Netterfield CB., Nguyen HT., O'Brient R., Ogburn RW., Palladino S., Pryke C., Racine B., Richter S., Schillaci A., Schwarz R., Sheehy CD., Soliman A., St. Germaine T., Staniszewski ZK., Steinbach B., Sudiwala RV., Teply GP., Thompson KL., Tolan JE., Tucker C., Turner AD., Umilt'a C., Vieregg AG., Wandui A., Weber AC., Wiebe DV., Willmert J., Wong CL., Wu WLK., Yang H., Yoon KW., Zhang C. Constraints on primordial gravitational waves using Planck, WMAP, and new BICEP2/Keck observations through the 2015 Season. *Physical Review Letters* 2018; 121(22): 221301.
- Barboza EM., Nunes RC., Abreu EMC., Neto JA. Dark energy models through nonextensive Tsallis' statistics. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 2015; 436: 301-310.



- Banerjee N., Das S. Acceleration of the universe with a simple trigonometric potential. *General Relativity and Gravitation* 2005; 37: 1695-1703.
- Bishi BK., Mahanta KL. Bianchi Type-V Bulk viscous cosmic string in  $f(R,T)$  Gravity with Time Varying Deceleration Parameter 2015; 2015, Article ID 491403.
- Coles P., Ellis P. The case for an open universe. *Nature* 1994; 370(6491): 609-615.
- Collins CB., Glass EN., Wilkinson DA. Exact spatially homogeneous cosmologies. *General Relativity and Gravitation* 1980; 12(10): 805–823.
- Copeland EJ., Sami M., Tsujikawa S. Dynamics of dark energy. *Int. J. Mod. Phys. D* 2006; 15(11): 1753-1935.
- Dheepika M., Mathew TK. Tsallis holographic dark energy reconsidered. *The European Physical Journal C* 2022; 82(5): 1-14.
- Erkan S., Pirincioglu N., Salti M., Aydogdu O. Holographic scalar fields in Kaluza-Klein framework. *The European Physical Journal Plus* 2017; 132(12): 1-15.
- Granda LN., Oliveros A. Infrared cut-off proposal for the holographic density. *Physics Letters B* 2008; 669(5): 275-277.
- Jorge P., Mimoso JP., Wands D. On the dynamics of k-essence models. *Journal of Physics: Conference Series*. 2007; 66(1): 012031.
- Korunur M. Tsallis holographic dark energy in Bianchi type-III space-time with scalar fields. *Modern Physics Letters A* 2019; 34(37): 1950310.
- Korunur M. Ghost scalar field dark energy models from an extended Kaluza–Klein perspective. *Classical and Quantum Gravity* 2021; 38(7): 075004.
- Kumar SP., Pankaj, Sharma, U.K. Quintessence model of Tsallis holographic dark energy. *New Astronomy* 2022; 96: 101829.
- Majhi A. Non-extensive statistical mechanics and black hole entropy from quantum geometry. *Physics Letters B* 2017; 775: 32-36.
- Pandey BD., Kumar PS., Sharma UK. New Tsallis holographic dark energy. *The European Physical Journal C* 2022; 82(3): 1-8.
- Peiris HV., Komatsu E., Verde L., Spergel DN., Bennett CL., Halpern M., Hinshaw G., Jarosik N., Kogut A., Limon M., Meyer SS., Page L., Tucker GS., Wollack E., Wright EL. First-year Wilkinson microwave anisotropy probe (WMAP)\* observations: implications for inflation. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 2003; 148(1): 213.
- Planck Collaboration, Planck 2018 results. *Astronomy and Astrophysics* 2018; 641(A6): 1-67.
- Saridakis EN., Bamba K., Myrzakulov R., Anagnostopoulos FK. Holographic dark energy through Tsallis entropy. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* 2018; 2018(12): 012.
- Sarkar S. Holographic dark energy with linearly varying deceleration parameter and escaping big rip singularity of the Bianchi type-V universe. *Astrophysics and Space Science* 2014; 352(2): 859-866.

- Sebastiani L., Myrzakul S., Myrzakulov R. Reconstruction of k-essence inflation in Horndeski gravity. *The European Physical Journal Plus* 2017; 132(10): 1-11.
- Sheykhi A., Bagheri A. Quintessence ghost dark energy model. *EPL (Europhysics Letters)* 2011; 95(3): 39001.
- Srivastava S., Sharma UK., Pradhan A. New holographic dark energy in Bianchi-III universe with k-essence. *New Astronomy* 2019; 68: 57-64.
- 't Hooft G. *Dimensional Reduction in Quantum Gravity*, 1993; arXiv:gr-qc/9310026.
- Tavayef M., Sheykhi A., Bamba K., Moradpour, H. Tsallis holographic dark energy. *Physics Letters B* 2018; 781: 195-200.
- Tsallis C., Cirto L.J.L. Black hole thermodynamical entropy. *The European Physical Journal C* 2013; 73(7): 1-7.
- Wolfram Research Inc. 2012 *Mathematica 9.0* (Software).
- Yerzhanov K., Meirbekov B., Bauyrzhan G., Myrzakulov R. Cosmological solutions of F (R, T) gravity model with k-essence. *Journal of Physics: Conference Series* 2019; 1391: 012163.
- Zadeh MA., Sheykhi A., Moradpour H. Tsallis agegraphic dark energy model. *Modern Physics Letters A* 2019; 34(11): 1950086.

## Yapı Denetim Mevzuatında Tespit Edilen Problemlerin Osmaniye İli Özelinde Değerlendirilmesi

Veysel Burak BOYSAL<sup>1\*</sup>, Şahin Tolga GÜVEL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 80750, Osmaniye

<sup>2</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 80750, Osmaniye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-6565-4660>,

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-6878-2876>

\*Sorumlu yazar: burak.boysal.01@gmail.com

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 05.09.2022

Kabul tarihi: 06.04.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Yapı

Yapı denetim

İnşaat sektörü

Yapı denetim firmaları

Ruhsat düzenleyen idareler

### ÖZ

Türkiye, deprem kuşağında yer almakta olup, geçmişte yaşanan büyük ölçekli depremler sebebiyle çok acı deneyimler yaşamıştır. 1999 yılı Ağustos ayında yaşanan Marmara depremi sonrasında, yapı denetim sisteminde esaslı bir değişiklik yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Yapıların depreme karşı dayanımını sağlamak amacı ile; 13 Temmuz 2001 tarihli Resmî Gazetede 4708 sayılı Yapı Denetimi Hakkında Kanun yürürlüğe girmiştir. Yapı Denetimi Uygulama ve Esasları Yönetmeliği de bu kanun esas alınarak hazırlanmıştır. Bu tarihten itibaren kanun ve yönetmelik 19 pilot ilde uygulanmaya başlamıştır. 01 Ocak 2011 tarihinden itibaren ise ülke genelinde kanun ve yönetmelik uygulanmaya girmiştir. Bu çalışmada, 4708 Sayılı Yapı Denetimi Hakkında Kanun ve Yapı Denetimi Uygulama Yönetmeliği ile sınırları çizilen yapı denetim mevzuatı ele alınmıştır. Osmaniye İlinde yapı denetim mevzuatının uygulanmasında yaşanan zorlukları tespit edebilmek için il içinde aktif olarak faaliyet gösteren 15 yapı denetim firmasında çalışan teknik personele, ruhsat düzenleyen idarelerin (belediyeler) ilgili birimlerinde çalışan teknik personele, yapı müteahhitlerine, proje müelliflerine ve şantiye şeflerine yönelik bir anket çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde yapı denetim mevzuatında karşılaşılan problemler belirlenmiş ve problemlerin çözümü için yasal mevzuatta ve uygulamada iyileştirilmesi gereken hususlar tespit edilmiştir.

## Evaluation of The Problems Identified in The Building Inspection Legislation in Osmaniye Province

### Research Article

#### Article History:

Received: 05.09.2022

Accepted: 06.04.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Building

Building control

Construction industry

Building inspection companies

Licensing authorities

### ABSTRACT

Turkiye is located in the seismic belt and has experienced very painful experiences due to large-scale earthquakes that happened in the past. After the Marmara earthquake in August 1999, it became clear that a fundamental change should be made in the building inspection system. In order to ensure the resistance of the buildings against earthquakes; Law No. 4708 on Building Inspection entered into force in the Official Gazette dated July 13, 2001. The Regulation on Building Inspection Practices and Principles has also been prepared on the basis of this law. As of this date, the new law and regulation have been implemented in 19 pilot cities. As of 1st January 2011 laws and regulations have been implemented throughout the country. In this study, the building supervision legislation, the boundaries of which are drawn with the Law on Building Inspection and the Building Inspection Implementation Regulation, No. 4708 are discussed. In order to determine the difficulties experienced in the implementation of the building inspection legislation in Osmaniye province, a survey was conducted for the technical personnel working in the 15 construction inspection companies actively operating in the province, the technical personnel working in the relevant units of the administrations (municipalities) issuing licenses, the construction contractors,

the project owners, and the site chiefs. As a result of the study, the problems encountered in the building inspection legislation were determined and the issues that needed to be improved in the legal legislation and practice were specified to solve the problems.

---

**To Cite:** Boysal VB., Güvel ŞT. Yapı Denetim Mevzuatında Tespit Edilen Problemlerin Osmaniye İli Özelinde Değerlendirilmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 2296-2315.

## 1. Giriş

3194 Sayılı İmar Kanunu'na göre yapının tanımı; “karada ve suda, daimî veya muvakkat, resmi ve hususi yer altı ve yer üstü inşaatı ile bunların ilave, değişiklik ve tamirlerini içine alan sabit ve müteharrik tesislerdir” şeklindedir (3194 sayılı İmar Kanunu).

Yapı Denetim sisteminin asıl amacı; yapı denetimini yapan kamu kurum ve kuruluşların, Yapı Denetim Kuruluşları ile sürekli irtibatının sağlanarak; can ve mal güvenliğini sağlamak için, yapıların imar planlarına, fen, sanat ve sağlık kurallarına, standartlara uygun ve kaliteli bir şekilde yapılmasını temin etmektir (Merdin, 2010). Standartlara uygun kalitede bir yapının yapılması ancak yapının projenin ilk aşamasından yapı kullanım izni alınmasına kadar geçen süre içinde gerçekleşecek tüm işlemlerinin proje eklerine ve ilgili yasal mevzuata göre inşa edilmesi ve bu faaliyetlerin tamamının düzgün bir şekilde denetlenmesi ile mümkün olacaktır. Yapıların etkin bir şekilde denetlenmesi ile afetlerdeki kayıpları en aza indirmek, yapıların depreme karşı güvenilir bir şekilde inşasının sağlanması, daha sağlıklı ve güvenli yapılara sahip olunması amaçlanmaktadır. Ancak, yapı denetim faaliyetlerinin bütünü düşünüldüğünde tüm bu getirilen düzenlemelere rağmen, uygulama aşamalarında birçok sorun meydana gelmektedir.

2001 yılında Yapı Denetimi Hakkında Kanun ve ilgili yasal mevzuatın yürürlüğe girmesi sonucu yapı üretim kalitesinde artış sağlanmıştır. Bunun yanında, yapılan çalışmalar sistemde halen sıkıntılar bulunduğunu göstermektedir (Çelik ve Ünal, 2017).

Bu çalışmada; yapı denetimi ile ilgili mevzuatın uygulanmasında yaşanan sorunlar Osmaniye İli özelinde değerlendirilmiştir. Mevzuatın uygulanmasında yaşanan sorunların altında yatan sebepleri belirlemek için geçmiş çalışmalardan farklı olarak yapı denetim sistemi içerisindeki tüm bileşenlerde çalışan teknik personelin görüşleri alınmak üzere bir anket çalışması yapılmıştır. Hazırlanan anket çalışması yapı denetim kuruluşlarında çalışan teknik personele, ruhsat düzenleyen idareler olan belediyelerde çalışan teknik personele, yapı müteahhitlerine, proje müelliflerine ve şantiye şeflerine uygulanmıştır. Yapılan çalışma ile, yapı denetim mevzuatının uygulanmasında Osmaniye İli özelinde yaşanan problemlerin tespit edilmesi, ve problemlerin çözülmesi için yasal mevzuatta ve uygulamada yapılması gerekenler konusunda önerilerde bulunulması hedeflenmiştir.

## 2. Önceki Çalışmalar

Bu çalışmada; yapı denetim firmalarının sorunlarını belirlemeye yönelik ülkemizde yapılan araştırmalar incelenmiş, yapının inşası ve denetimine yönelik tespitler kısaca aşağıdaki Tablo 1’de derlenmiştir.

**Tablo 1.** Yapı denetiminde karşılaşılan sorunlar

<b>Yapı Denetim Uygulamasına Yönelik Genel Sorunlar</b>	<b>Kaynak</b>
Proje ve uygulamalarda görev ve sorumluluk bilinç yetersizliği	(Yağız, 2019) (Özkan, 2005)
Mevzuatın yeniden gözden geçirilmesinin gerekliliği	(Doğan, 2013)
Firma ile yüklenici firma arasındaki ilişkilerin yetersizliği	(Karahana, 2008) (Doğan, 2013)
İstihdam edilen teknik eleman sayısının yetersizliği	(Doğan, 2013)
Yapı denetimine rağmen kaçak yapılaşmanın önlenememesi	(Karaoğlu, 2011)
<b>Sektörle İlgili Genel Sorunlar</b>	
Proje müelliflerinin deneyim eksikliği (Mesleki yetersizlik)	(Güncü, 2020) (Özkan, 2005)
İstihdam edilen teknik personele mesleki yeterliliklerinin artırılmasına yönelik eğitimin verilmemesi	(Güncü, 2020)
Kontrol elemanlarının deneyim eksikliği (Mesleki yetersizlik)	(Sakallı, 2008) (Karahana, 2008) (Karaoğlu, 2011) (Güncü, 2020)
Yapı denetim personelinin ücretlerinin yetersizliği	(Özdemir, 2018) (Ünal, 2017)
Yapı denetim firmalarının yapılanma ve işleyişleri ile ilgili yetersiz gördükleri konular	(Çelik ve Ünal, 2017)
Türkiye'deki yapı inşaatlarında etik problemler	(Bayram, Aydınli, Budak, Oral, 2018)
<b>Mevzuata ve Uygulamaya Yönelik Sorunlar</b>	
Belediyelerde çalışan teknik personele deneyim eksikliği	(Demir, 2017)
Yapı denetim firmalarına verilen yaptırımların yetersiz oluşu	(Sakallı, 2008) (Özkan, 2005)
Belge yönetiminin mevzuata uygun yürütülmemesi	(Güncü, 2020)
Yapı denetim firmalarının büro ve şantiyelerinde yaptıkları denetlemelerde karşılaştıkları sorunlar	(Erdiş ve Gerek, 2012)
Meslek odalarının yapı denetime katkı sunmaması	(Kural, 2015)
<b>Şantiye Yönetimine Yönelik Sorunlar</b>	
Şantiye şefinin şantiyede bulunmaması	(Doğan, 2013)
Yetki belgeli usta/ustaların tercih edilmemesi	(Karaoğlu, 2011) (Kural ve Ünal, 2017)
Yetkili belgeli inşaat kontrolleri ve kalifiye işçi problemleri	(R.O.T. Official Gazette, 2010)
Yapı müteahhitlerinin proje dışı uygulamadaki talepleri	(Kural ve Ünal, 2017)
İSG önlemlerinin yetersiz oluşu	(Ünal, 2017) (Açıkel, 1998)
Yetersiz denetim	(Yılmaz, 2006)

Tablo 1'de görüldüğü üzere; yapının hem proje safhasında hem de denetimi ve inşası sırasında birçok problemle karşılaşıldığı anlaşılmakta ve yapının denetiminden tüm paydaşların müteselsilen sorumlu oldukları görülmüştür. Yapının üretim süreci; proje ve eklerinin tam olarak hazırlanması, yapıların sözleşme ve eklerine uygun inşası, denetimlerin ilgili taraflarca zamanında ve eksiksiz yapılması, belgelerin yasal mevzuata uygun şekilde ve eksiksiz yönetilmesi gibi birçok dinamiği de bünyesinde barındırmaktadır.

### **3. Materyal ve Metod**

Yapı denetim sisteminin sorunlarını tespit etmek ve yürürlükte bulunan mevzuat ile ilgili görüşleri almak için anket formları hazırlanmıştır. Düzenlenen anket formları Osmaniye il ve ilçelerinde faaliyet

gösteren yapı denetim firmaları, belediyeler (Ruhsat düzenleyen idareler), proje müellifleri ve şantiye şefleri ile yapı müteahhitleri olmak üzere 4 farklı gruptaki sektör çalışanlarına uygulanmıştır. Anket sorularında; demografik özellikler, yapı denetim mevzuatına yönelik uygulamalar, şantiye yönetimine yönelik görüşler, şantiye yönetimine yönelik uygulamalar, mevzuatın getirdiği uygulamaya yönelik görüşler, uygulamaya yönelik genel görüşler, sektörle ilgili genel görüş ve düşünceler belirlenmiştir. Anket soruları literatürden elde edilen bilgiler ve yasal mevzuat göz önünde tutularak hazırlanmıştır. Uygulanan anket çalışmalarından elde edilen verilerin yüzde değerleri ile SPSS istatistiksel analiz programı kullanılarak yapılan normallik testi ve Kruskal Wallis analiz sonuçları birlikte yorumlanmış ve paydaşlara önerilerde bulunulmuştur.

#### 4. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmaya Osmaniye ilinde aktif olarak faaliyet gösteren 15 yapı denetim firması çalışanı 135 adet teknik personel, ruhsat düzenleyen idarelerde çalışan 16 adet teknik personel, yapı müteahhitliği yapan 51 kişi, şantiye şefliği ve proje müellifliği yapan 65 adet teknik personel olmak üzere toplamda 267 kişi katılmıştır. Anket gruplarının dağılımları Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Anket gruplarının dağılımı

Sıra No	Anket Grupları	Katılımcı Sayısı	Oranı
1	Yapı Denetim Personeli	135	%50,56
2	Ruhsat Düzenleyen İdare (Belediye)	16	%6
3	Yapı Müteahhitleri	51	%19,10
4	Şantiye Şefi ve Proje Müellifleri	65	%24,34
	TOPLAM	267	%100

Tablo 3’te katılımcıların öğrenim durumları verilmiştir. Ankete katılan grupların eğitim durumları incelendiğinde; yapı müteahhitlerinin eğitim seviyesinin çok düşük olduğu, yapı denetim kuruluşlarında çalışan teknik personellerin, şantiye şefleri ve proje müelliflerinin mevzuat gereği en az lisans mezunu olması gerektiği için lisans mezunlarının bu gruplarda yüksek olduğu, ön lisans mezunlarının çoğunluğunun ise belediye personeli olduğu görülmüştür.

**Tablo 3.** Öğrenim durumu

Sıra No	Öğrenim Durumu	Yapı Denetim Personeli	Belediye Personeli	Yapı Müteahhidi	Şantiye Şefi ve Proje Müellifi	Genel Ortalama
1	İlkokul/Ortaokul	%0	%0	%15,68	%0	%3,92
2	Lise	%0	%0	%25,50	%0	%6,38
3	Ön Lisans	%6	%37,5	%3,92	%0	%11,85
4	Lisans	%85	%56,25	%54,90	%95,24	%72,85
5	Yüksek Lisans	%9	%6,25	%0	%4,76	%5

Tablo 4'te katılımcıların mesleki durumları verilmiştir. Ankete katılan grupların mesleki dağılımları incelendiğinde; ankete katılanların %50,5'i inşaat mühendisi, %31,1'i mimar, yapı müteahhitlerinin ise %45,10 oranında kalıp, demir, alçı, elektrik vb. ustası oldukları görülmüştür.

**Tablo 4.** Katılımcıların meslekleri

Sıra No	Meslek Durumu	Yapı Denetim Personeli	Belediye Personeli	Yapı Müteahhidi	Şantiye Şefi ve Proje Müellifi	Genel Ortalama
1	İnşaat Mühendisi	%50,5	%37,5	%41,17	%46,15	%43,83
2	Mimar	%31,1	%12,5	%9,81	%27,70	%20,28
3	Makine Mühendisi	%9,6	%6,25	%0	%4,61	%5,12
4	Elektrik-Elektronik Mühendisi	%5,9	%6,25	%0	%9,23	%5,35
5	Tekniker	%2,9	%37,5	%3,92	%0	%11,07
6	Harita Mühendisi	%0	%0	%0	%12,31	%3,07
7	Diğer (Kalıp, Demir, Alçı, Elektrik Ustası vb.)	%0	%0	%45,10	%0	%11,28

Tablo 5'te katılımcıların mesleki deneyim süreleri verilmiştir. Ankete katılan grupların mesleki hizmet süreleri incelendiğinde; en yüksek deneyim süresinin 0-5 yıl aralığında olduğu görülmüştür.

**Tablo 5.** Meslek ve hizmet süresi

Sıra No	Mesleki Hizmet Süresi	Yapı Denetim Personeli	Belediye Personeli	Yapı Müteahhidi	Şantiye Şefi ve Proje Müellifi	Genel Ortalama
1	0 – 5 yıl	%33,3	%12,5	%29,42	%29,23	%26,11
2	6 – 10 yıl	%22,2	%12,5	%35,30	%24,61	%23,65
3	11 - 15 yıl	%7,42	%50	%11,77	%18,46	%21,91
4	16 – 20 yıl	%8,92	%12,5	%15,70	%10,77	%11,97
5	20 – 24 yıl	%9,61	%12,5	%7,81	%12,31	%10,56
6	25 yıl ve üzeri	%18,52	%0	%0	%4,62	%5,80

Katılımcılara yapı denetim kuruluşunda ne kadar maaş aldıkları sorulmuş ve Tablo 6'daki sonuçlar elde edilmiştir. Yapı denetim kuruluşlarında çalışan teknik personellerin %54,3'ünün asgari ücret aldıkları ve kuruluşlarda çalışan teknik personellerin çoğunluğunun TMMOB'un her yıl açıkladığı asgari mimar/mühendis maaşının çok altında maaş aldıkları görülmüştür.

**Tablo 6.** Yapı denetim kuruluşu çalışanlarının maaş durumu

Sıra No	Maaş Aralığı	Yapı Denetim Personeli	Belediye Personeli	Yapı Mütcaahhidi	Şantiye Şefi ve Proje Müellifi	Genel Ortalama
1	Maaş Almıyorum	%6,1	-	-	-	%6,1
2	Asgari Ücret	%54,3	-	-	-	%54,3
3	Asgari Ücret ile TMMOB'un Açıklamış Olduğu Asgari Mimar/Mühendis Ücreti Arası					
		%25,7	-	-	-	%25,7
4	TMMOB'un Açıklamış Olduğu Asgari Mimar/Mühendis Ücretinden Fazlası					
		%13,90	-	-	-	%13,90

Katılımcılara proje müelliflerinin verdikleri hizmetin karşılığında ücretlendirmeleri nasıl yaptıkları ile alakalı olarak soru sorulmuş ve Tablo 7'deki sonuçlar elde edilmiştir. Proje müelliflerinin genelde, TMMOB'un açıklanmış olduğu birim fiyat üzerinden ücretlendirme yapmadıkları görülmüştür.

**Tablo 7.** Müelliflerin proje ücretlerini TMMOB'un açıklanmış olduğu fiyat üzerinden ücretlendirme durumu

Sıra No	Proje ücretlendirmelerini, TMMOB'un açıklanmış olduğu fiyattan mı yapıyorsunuz?	Cevaplar	Yapı Denetim Personeli	Belediye Personeli	Yapı Mütcaahhidi	Şantiye Şefi ve Proje Müellifi	Genel Ortalama
1	Evet	-	-	-	-	%7,69	%7,69
2	Hayır	-	-	-	-	%92,31	%92,31

Katılımcılara yapı denetim kuruluşunda çalışan teknik personellerin ve ruhsat düzenleyen idarelerde (belediyeler) çalışan teknik personellerin teknik eğitime ne sıklıkta tabi tutuldukları ile alakalı olarak soru sorulmuş ve Tablo 8'deki sonuçlar elde edilmiştir. Yapı denetimlerde çalışan teknik personellerin %68,6'sının, belediye personellerinin ise %75'nin hiçbir şekilde teknik bir eğitime tabi tutulmadıkları görülmüştür.

**Tablo 8.** Teknik eğitime tabii tutulma sıklığı durumu

Sıra No	Teknik Eğitim Hangi Sıklıkta Veriliyor?	Yapı Denetim Personeli	Belediye Personeli	Yapı Mütcaahhidi	Şantiye Şefi ve Proje Müellifi	Genel Ortalama
1	Verilmiyor	%68,6	%75	-	-	%71,8
2	6 Ay - 1 Yıl Arası	%22,9	%12,5	-	-	%17,7
3	1 Yıl - 2 Yıl Arası	%8,5	%12,5	-	-	%10,5



Katılımcılara statik analiz programlarının (STA4CAD, ideCAD vb.) kurum ve kuruluşlarda bulunması ile alakalı olarak soru yöneltilmiş ve Tablo 9'daki sonuçlar elde edilmiştir. Statik analiz programlarının (STA4CAD, ideCAD vb.) yapı denetim kuruluşlarında ve belediyelerde %84,6 oranında bulunduğu görülmüştür.

**Tablo 9.** Statik analiz programlarının kurum ve kuruluşlarda bulunma durumu

Soru	Statik analiz programları (STA4CAD, ideCAD vb.) bulunuyor mu?					
Sıra No	Cevaplar	Yapı Denetim Personeli	Belediye Personeli	Yapı Müteahhidi	Şantiye Şefi ve Proje Müellifi	Genel Ortalama
1	Evet	%94,2	%75	-	-	%84,6
2	Hayır	%5,8	%25	-	-	%15,4

Katılımcılara ruhsat düzenleyen idarenin ruhsat ve eklerine aykırı durum tespitinde sorumlular hakkında bildirimde bulunma durumu ile alakalı olarak soru yöneltilmiş ve Tablo 10'daki sonuçlar elde edilmiştir. Ruhsat düzenleyen idarenin ruhsat ve eklerinde bir aykırılık tespitinde, sorumlular hakkında Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü'ne %81,25 oranında bildirimde bulunmadıkları görülmüştür.

**Tablo 10.** Ruhsat ve eklerinde aykırı durum tespitinde ilgili kuruma bildirimde bulunma durumu

Soru	Ruhsat ve eklerine aykırı durum tespitinde sorumlular hakkında bildirimde bulunuyor musunuz?					
Sıra No	Cevaplar	Yapı Denetim Personeli	Belediye Personeli	Yapı Müteahhidi	Şantiye Şefi ve Proje Müellifi	Genel Ortalama
1	Evet	-	%18,75	-	-	%18,75
2	Hayır	-	%81,25	-	-	%81,25

Katılımcılara yapıların şantiye şefleri tarafından denetlenmeme durumunun hangi sebeplerden kaynaklandığı ile alakalı olarak soru yöneltilmiş ve Tablo 11'deki sonuçlar elde edilmiştir. Yapı denetim kuruluşunda çalışan teknik personeller yapıların şantiye şefleri tarafından denetlenmeme nedenini büyük oranda, şantiye şefi görevlendirmelerinin; gerekli dokümanlarda (yapı ruhsatı ve yapı kullanma izin belgesi gibi) imza bulunması zorunluluğu sebebiyle yapıldığı ve şantiye şeflerinin şantiyede aktif olarak görev almadıkları yönünde görüş bildirdikleri görülmüştür.

**Tablo 11.** Yapıların şantiye şefleri tarafından denetlenmeme durumu

Soru	Yapılar şantiye şefleri tarafından neden denetlenmemektedir?					
Sıra No	Cevaplar	Yapı Denetim Personeli	Belediye Personeli	Yapı Mütcahhidi	Şantiye Şefi ve Proje Müellifi	Genel Ortalama
1	Kendileri ile ilgili yürürlükte bulunan, kanun ve ikincil mevzuattan haberdar olmamaları.	%17,6	-	-	-	%17,6
2	Şantiye şefi görevlendirilmelerinin, yapı ruhsatı veya yapı kullanma izin belgesi gibi evraklarda sadece imza atılması yönüyle yapılması.	%32,4	-	-	-	%32,4
3	Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı taşra teşkilatı tarafından, 'İl Yapı Denetim Komisyon Kararlarında' şantiye şefi için sadece 3194 sayılı İmar Kanununun değerlendirilmesi yönü ile ilgili idarelere bildirimde bulunmaktan başka yaptırımın bulunmaması.	%16,2	-	-	-	%16,2
4	Ruhsat düzenleyen idareler tarafından, şantiye şefi hakkında İmar Kanunu'nun gereklerinin yerine getirilmemesi (idari para cezası veya TMMOB'ne bildirim).	%14,8	-	-	-	%14,8
5	Bina inşaatlarının yaklaşık % 75'nin inşaat işlerinden oluşmasına rağmen, o işte, elektrik veya makina teknikerinin/mühendisinin/teknik öğretmenin görevlendirilmesi, bu yüzden, ilgili şantiye şefinin görevini tam olarak yapamaması/bilmemesi	%19	-	-	-	%19

Katılımcılara Bakanlığın belirlemiş olduğu yapı denetim hizmet bedeli oranının yeterli olup olmadığı ile alakalı olarak soru yöneltmiş ve Tablo 12'deki sonuçlar elde edilmiştir. Ankete katılan tüm paydaşların çok büyük oranda yapı denetim hizmet bedeli oranını yeterli buldukları görülmüştür.

**Tablo 12.** Yapı denetim hizmet bedeli oranının yeterlilik durumu

Soru	Yapı denetim hizmet bedeli oranının yeterli olduğunu düşünüyor musunuz?					
Sıra No	Cevaplar	Yapı Denetim Personeli	Belediye Personeli	Yapı Mütcahhidi	Şantiye Şefi ve Proje Müellifi	Genel Ortalama
1	Evet	%60	%93,75	%80,39	%78,46	%78,15
2	Hayır	%40	%6,25	%19,61	%21,54	%21,85

Katılımcılara 3000 m<sup>2</sup> altındaki inşaatlarda yapı denetim bedelinin tek seferde yatırılmasında güçlük çekilmesine yönelik soru sorulmuş ve Tablo 13'teki sonuçlar elde edilmiştir. Yapı mütcahhitlerinin 3000 m<sup>2</sup> altındaki inşaatlarda yapı denetim bedelini tek seferde yatırmaları hususunda büyük oranda zorluk çektiklerini görülmüştür.

**Tablo 13.** 3000 m<sup>2</sup> altındaki inşaatlarda yapı denetim bedelinin yatırılmasında güçlük çekme durumu

Sıra No	Cevaplar	Yapı Denetim Personeli	Belediye Personeli	Yapı Mütcaahhidi	Şantiye Şefi ve Proje Müellifi	Genel Ortalama
1	Evet	-	-	%80,40	-	%80,40
2	Hayır	-	-	%19,60	-	%19,60

Katılımcılara 3000 m<sup>2</sup>'yi geçmeyen yapıların ücretlerinin defaten yatırılması ile denetim faaliyetlerine olumlu etkisi olduğuna yönelik soru sorulmuş ve Tablo 14'teki sonuçlar elde edilmiştir. 3000 m<sup>2</sup>'ye kadar olan yapıların denetim ücretlerini defaten yatırılmasının denetim faaliyetlerine olumlu etkisi olduğuna yönelik görüşe, yapı denetim kuruluşlarında çalışan teknik personellerin çok büyük oranda katıldıkları görülmüştür.

**Tablo 14.** İnşaat alanı 3000 m<sup>2</sup>'yi geçmeyen yapıların yapı denetim ücretlerinin defaten yatırılmasının denetime olumlu etkisi

Sıra No	Cevaplar	Yapı Denetim Personeli	Belediye Personeli	Yapı Mütcaahhidi	Şantiye Şefi ve Proje Müellifi	Genel Ortalama
1	Kesinlikle Katılıyorum	%45,7	-	-	-	%45,7
2	Katılıyorum	%42,8	-	-	-	%42,8
3	Kararsızım	%11,5	-	-	-	%11,5
4	Katılmıyorum	%0	-	-	-	%0
5	Kesinlikle Katılmıyorum	%0	-	-	-	%0

Katılımcılara yapı alanı 3000 m<sup>2</sup>'yi geçen yapıların %10'luk kısmı dışındaki yapı denetim hizmet bedeli taksitlerinin genelde zamanında ödenmemesi görüşüne katılıyor musunuz? sorusu yöneltmiş ve Tablo 15'teki sonuçlar elde edilmiştir.

**Tablo 15.** Yapı alanı 3000 m<sup>2</sup>'yi geçen yapıların %10'luk kısmı dışındaki tutarların zamanında ödenmemesi durumu

Soru	Yapı alanı 3000 m <sup>2</sup> 'yi geçen yapıların %10'luk kısmı dışındaki yapı denetim hizmet bedeli taksitlerinin genelde zamanında ödenmemesi görüşüne katılıyor musunuz?					
Sıra No	Cevaplar	Yapı Denetim Personeli	Belediye Personeli	Yapı Mütcahhide	Şantiye Şefi ve Proje Müellifi	Genel Ortalama
1	Kesinlikle Katılıyorum	%37,1	%31,25	-	-	%34,18
2	Katılıyorum	%34,3	%18,75	-	-	%26,53
3	Kararsızım	%17,1	%18,75	-	-	%17,93
4	Katılmıyorum	%5,8	%18,75	-	-	%12,28
5	Kesinlikle Katılmıyorum	%5,7	%12,5	-	-	%8,98

Tablo 15 sorusuna verilen cevaplar SPSS programı kullanılarak normallik testi yapılmış ve test sonuçları Tablo 15-a'da verilmiştir. Kolmogrov Smirnov ve Shapiro-Wilk analiz sonuçlarına göre  $p < 0,05$  olduğundan elde edilen veriler normal dağılıma uymamaktadır.

**Tablo 15-a.** Normallik testi

Sıra No	Statistic	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>		Shapiro-Wilk		
		df	Sig.	Statistic	df	Sig.
1	0,239	152	0,000	,834	152	0,000

a. Lilliefors Significance Correction

Bu nedenle, Tablo 15 sorusuna ait veriler ait gruplararası görüş farklılıklarını belirlemek için Kruskal Wallis analizi yapılmıştır. Analiz sonucu Tablo 15-b ve Tablo15-c'de verilmiştir. Analiz sonucuna göre  $p > 0,05$  olduğundan Tablo 15 sorusu için gruplar arası bir görüş farklılığı bulunmamaktadır. Yani yapı denetim personelleri ile belediye teknik personellerinin, Tablo 15 sorusu için, %95 güven aralığında aynı görüşte olduğu anlaşılmaktadır.

**Tablo 15-b.** Kruskal Wallis/Ranks

Sıra No	Group	N	Mean Rank
1	YDP	136	74,93
2	BTP	16	89,81
	TOTAL	152	

**Tablo 15-c. Kruskal Wallis/ Test İstatistiği<sup>a,b</sup>**

Sıra No	Chi-Square	df	Mean Rank
1	1,790	1	0,181

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Group

Sonuç olarak, yapı denetim bedelinin ruhsat alma aşamasından sonra ödenen tutarlarının (Ödenen %10'luk tardan sonraki kısmı) genelde zamanında ödenmemesi görüşüne her iki paydaşın da katıldıkları görülmüştür.

Katılımcılara yürürlükte bulunan mevzuatın tamamı düşünüldüğünde yapı denetime ait sorunlara cevap bulunduğu düşüncesine katılıyor musunuz? sorusu yöneltilmiş ve Tablo 16'daki sonuçlar elde edilmiştir.

**Tablo 16. Yürürlükte Bulunan mevzuatın yapı denetimine ait sorunların bütününe cevap bulması durumu**

Sıra No	Cevaplar	Yapı Denetim Personeli	Belediye Personeli	Yapı Müteahhidi	Şantiye Şefi ve Proje Müellifi	Genel Ortalama
1	Kesinlikle Katılıyorum	% 11,4	% 12,5	% 3,92	% 12,31	% 10,03
2	Katılıyorum	% 31,4	% 18,75	% 45,10	% 40	% 33,81
3	Kararsızım	% 25,7	% 12,5	% 21,57	% 26,15	% 21,48
4	Katılmıyorum	% 14,3	% 37,5	% 21,57	% 18,46	% 22,95
5	Kesinlikle Katılmıyorum	% 17,2	% 18,75	% 7,84	% 3,08	% 11,73

Tablo 16 sorusuna verilen cevaplar SPSS programı kullanılarak normallik testi yapılmış ve test sonuçları tablo 16-a'da verilmiştir. Kolmogrov Smirnov ve Shapiro-Wilk analiz sonuçlarına göre  $p < 0,05$  olduğundan elde edilen veriler normal dağılıma uymamaktadır.

**Tablo 16-a. Normallik testi**

Sıra No	Statistic	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> Df	Sig.	Statistic	Shapiro-Wilk df	Sig.
1	,220	268	0,000	0,899	268	0,000

a. Lilliefors Significance Correction

Bu nedenle, Tablo 16 sorusuna ait veriler için gruplararası görüş farklılıklarını belirlemek için Kruskal Wallis analizi yapılmıştır. Analiz sonucu Tablo 16-b, Tablo 16-c, Tablo 16-d ve Tablo 16-e'de verilmiştir. Analiz sonucuna göre  $p > 0,05$  olduğundan Tablo 16 sorusu için tüm gruplar birlikte analiz edildiğinde gruplar arası bir görüş farklılığı bulunmamaktadır (Tablo 16-b ve Tablo 16-c). Ancak tüm grupların ortalama rank değerleri incelendiğinde, YTP ile PM/ŞŞ grupları arasında diğer gruplara göre daha fazla fark görülmektedir.

**Tablo 16-b.** Tüm gruplar için Kruskal Wallis/Ranks

Sıra No	Group	N	Mean Rank
1	YDP	136	74,93
2	BTP	16	89,81
3	YP	51	133,00
4	PM/ŞŞ	65	118,84
	TOTAL	268	

**Tablo 16-c.** Tüm gruplar için Kruskal Wallis/Test istatistiği<sup>a,b</sup>

Sıra No	Chi-Square	Df	Mean Rank
1	5,569	3	0,135

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Group

Bu nedenle 4 gruptan farklı ikili gruplar arasında Kruskal Wallis testleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, tüm ikili gruplar arasında yalnızca BTP ile PM/ŞŞ grupları arasında %95 güven aralığında anlamlı bir görüş ayrılığı olduğu belirlenmiştir (Tablo 16-d ve Tablo 16-e). Sonuç olarak, Kruskal Wallis ve yüzdesel analiz sonuçları birlikte düşünüldüğünde, BTP grubu hariç diğer tüm grupların, Tablo 16 sorusu için aynı görüşte olduğu anlaşılmaktadır.

**Tablo 16-d.** BTP ile PM/ŞŞ için Kruskal Wallis/Ranks

Sıra No	Group	N	Mean Rank
1	BTP	16	51,63
2	PM/ŞŞ	65	38,38
	TOTAL	81	

**Tablo 16-e.** BTP ile PM/ŞŞ için Kruskal Wallis/ Test İstatistiği<sup>a,b</sup>

Sıra No	Chi-Square	df	Mean Rank
1	4,381	1	0,036

a. Kruskal Wallis Test  
b. Grouping Variable: Group

Katılımcılara Osmaniye ilinde, 1/1/2011 tarihi itibariyle yapı denetim sistemi uygulamasına geçilerek, inşaatların kalitesinde artış olmasına yönelik görüşe katılıyor musunuz? sorusu yöneltilmiş ve Tablo 17'deki sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 17'ye göre, paydaşların büyük bir oranda inşaatların kalitesinde artış olması düşüncesine katıldıkları görülmüştür.

**Tablo 17.** 1/1/2011 tarihinde yapı denetim sistemi uygulamasına geçilme ile inşaat kalitesinden artış olması durumu

Soru	Osmaniye ilinde, 1/1/2011 tarihi itibariyle yapı denetim sistemi uygulamasına geçilerek, inşaatların kalitesinde artış olmasına yönelik görüşe katılıyor musunuz?					
Sıra No	Cevaplar	Yapı Denetim Personeli	Belediye Personeli	Yapı Mütcahidi	Şantiye Şefi ve Proje Müellifi	Genel Ortalama
1	Kesinlikle Katılıyorum	%31,5	%37,5	%35,30	%30,77	%33,77
2	Katılıyorum	%45,7	%43,75	%47,05	%55,39	%47,97
3	Kararsızım	%22,8	%12,5	%13,73	%7,70	%14,18
4	Katılmıyorum	%0	%6,25	%0	%3,07	%2,33
5	Kesinlikle Katılmıyorum	%0	%0	%3,92	%3,07	%1,75

Tablo 17 sorusuna verilen cevaplar SPSS programı kullanılarak normallik testi yapılmış ve test sonuçları tablo 17-a'da verilmiştir. Kolmogrov Smirnov ve Shapiro-Wilk analiz sonuçlarına göre  $p < 0,05$  olduğundan elde edilen veriler normal dağılıma uymamaktadır.

**Tablo 17-a.** Normallik testi

Sıra No	Statistic	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup> df	Sig.	Statistic	Shapiro-Wilk df	Sig.
1	0,260	268	0,000	0,803	268	0,000

a. Lilliefors Significance Correction

Bu nedenle, Tablo 17 sorusuna ait veriler ait gruplararası görüş farklılıklarını belirlemek için Kruskal Wallis analizi yapılmıştır. Analiz sonucu Tablo 17-b ve Tablo 17-c'de verilmiştir. Analiz sonucuna

göre  $p > 0,05$  olduğundan Tablo 17 sorusu için gruplar arası %95 güven aralığında bir görüş farklılığı bulunmamaktadır.

**Tablo 17-b.** Kruskal Wallis/Ranks

Sıra No	Group	N	Mean Rank
1	YDP	136	135,67
2	BTP	16	131,47
3	YP	51	132,53
4	PM/ŞŞ	65	134,35
	TOTAL	268	

**Tablo 17-c.** Kruskal Wallis/Test istatistiği<sup>a,b</sup>

Sıra No	Chi-Square	Df	Mean Rank
1	0,105	3	0,991

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Group

Sonuç olarak, tablo 17 sorusu için, yüzdesel ve kruskal Wallis analizi birlikte düşünüldüğünde, tüm grupların, yapı denetim sistemi uygulamasının inşaatların kalitesinde artış olması düşüncesine katıldıkları anlaşılmaktadır.

Katılımcılara Sadece Kat irtifakı tapu senedi düzenlenmiş, ancak, yapı kullanma izin belgesi, iş bitirme tutanağı ve UYDS üzerinden %100 seviyesinde olmayan yapıların, altyapı tesislerinden faydalanmasını doğru buluyor musunuz? Sorusu yöneltilmiş ve tablo 18'deki sonuçlar elde edilmiştir. Ankete yapı müteahhitleri dışında kalan paydaşların; yapı kullanma izin belgesi, iş bitirme tutanağı ve UYDS üzerinde %100 seviyesinde olmayan yapıların, altyapı tesislerinden faydalanması sorusuna büyük oranda katılmadıkları görülmüştür. Ankete katılan yapı müteahhitlerinin ise yaklaşık %40 oranında yapı kullanma izin belgesi, iş bitirme tutanağı ve UYDS üzerinden %100 seviyesinde olmayan yapıların, altyapı tesislerinden faydalanması sorusuna katılmadıkları görülmüştür.

**Tablo 18.** Yapı Kullanma İzin Belgesi, İş Bitirme Tutanağı ve UYDS Üzerinden %100 Seviyesinde Olmayan Yapıların, Altyapı Tesislerinden Faydalanması Durumu

Sıra No	Cevaplar	Yapı Denetim Personeli	Belediye Personeli	Yapı Müteahhidi	Şantiye Şefi ve Proje Müellifi	Genel Ortalama
1	Evet	%28,6	%12,5	%58,82	%38,46	%34,60



2	Hayır	%71,4	%87,5	%41,18	%61,54	%65,40
---	-------	-------	-------	--------	--------	--------

Katılımcılara kaçak yapı ile mücadele kapsamında, yapı denetim sisteminin varlığını, mücadele yapılması hususunda yeterli buluyor musunuz? sorusu yöneltilmiş ve Tablo 19'daki sonuçlar elde edilmiştir. Katılımcıların büyük çoğunluğunun, yapı denetimin varlığını kaçak yapı ile mücadele kapsamında yeterli görmediklerine yönelik görüş belirttikleri görülmüştür.

**Tablo 19.** Kaçak Yapı ile Mücadele

Soru	Kaçak yapı ile mücadele kapsamında, yapı denetim sisteminin varlığını, mücadele yapılması hususunda yeterli buluyor musunuz?					
Sıra No	Cevaplar	Yapı Denetim Personeli	Belediye Personeli	Yapı Mütcahhidi	Şantiye Şefi ve Proje Müellifi	Genel Ortalama
1	Evet	%37,1	%18,75	%35,30	%29,23	%30,09
2	Hayır	%62,9	%81,25	%64,70	%70,77	%69,91

Katılımcılara Afet risklerine hazırlık kapsamında ruhsatsız veya ruhsat ve eklerine aykırı yapıların kayıt altına alınması ve imar barışının sağlanması amacıyla, 31/12/2017 tarihinden önce yapılmış yapılar için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından İmar Kanunu'nun geçici maddesi olarak eklenip yayımlanarak yürürlüğe giren İmar Affının faydalı olduğunu düşünüyor musunuz? sorusu yöneltilmiş ve Tablo 20'deki sonuçlar elde edilmiştir. Ankete katılan tüm paydaşların büyük oranda imar affını faydalı bulmadıkları görülmüştür.

**Tablo 20.** 2017 Tarihinden Önce Yapılmış Yapılar İçin Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Tarafından Yayımlanarak Yürürlüğe Giren İmar Affının Durumu

Soru	Afet risklerine hazırlık kapsamında ruhsatsız veya ruhsat ve eklerine aykırı yapıların kayıt altına alınması ve imar barışının sağlanması amacıyla, 31/12/2017 tarihinden önce yapılmış yapılar için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından İmar Kanunu'nun geçici maddesi olarak eklenip yayımlanarak yürürlüğe giren İmar Affının faydalı olduğunu düşünüyor musunuz?					
Sıra No	Cevaplar	Yapı Denetim Personeli	Belediye Personeli	Yapı Mütcahhidi	Şantiye Şefi ve Proje Müellifi	Genel Ortalama
1	Evet	%25,7	%25	%31,37	%29,23	%27,82
2	Hayır	%74,3	%75	%68,63	%70,77	%72,18

Katılımcılara Yapı denetim kuruluşlarının yapmış olduğu, hakedişlerden ilgili idare payı altında (belediyeler ve bakanlık payları) %3'lük kesinti yapılmaktadır. Bu kesintinin yeterli olduğunu düşünüyor musunuz? sorusu yöneltilmiş ve Tablo 21'deki sonuçlar elde edilmiştir. Ankete katılan yapı denetim kuruluşundan çalışan teknik personellerin ve belediye personellerinin, Yapı denetim

kuruluşlarının yapmış olduğu, hak edişlerden ilgili idare payı altında (belediyeler ve bakanlık payları) %3'lük kesinti oranını yeterli buldukları görülmüştür.

**Tablo 21.** Yapı Denetim Kuruluşlarının Yapmış Olduğu, Hakedişlerden İlgili İdare Payı Altında (Belediyeler ve Bakanlık Payları) %3'lük Kesintinin Yeterliliği

Soru	Yapı denetim kuruluşlarının yapmış olduğu, hakedişlerden ilgili idare payı altında (belediyeler ve bakanlık payları) %3'lük kesinti yapılmaktadır. Bu kesintinin yeterli olduğunu düşünüyor musunuz?					
Sıra No	Cevaplar	Yapı Denetim Personeli	Belediye Personeli	Yapı Mütcaahhidi	Şantiye Şefi ve Proje Müellifi	Genel Ortalama
1	Evet	%85,7	%62,5	-	-	%74,10
2	Hayır	%14,3	%37,5	-	-	%25,90

## 5. Sonuç

Bu çalışmada; Osmaniye ilinde faaliyet gösteren yapı denetim kuruluşlarında görev yapan denetçiler ve yardımcı kontrol elemanları ile yapı denetim sisteminin uygulanmasında önemli görevleri olan proje müellifleri, şantiye şefleri, yapı müteahhitleri, ruhsat düzenleyen idarelerdeki yapı denetim ve yapı ruhsat servisindeki teknik personelin, görev ve sorumlulukları çerçevesinde mevcut sistemin işleyişi ve olası çözümlerle ilgili görüşleri anket çalışması ile derlenmiştir. Yapılan anket çalışmasında ulaşılan sonuçlar aşağıda başlıklar halinde listelenmiştir.

### 5.1. Demografik Özelliklere Yönelik Sonuçlar;

- Eğitim seviyesi en düşük olan grubun yapı müteahhitleri olduğu, şantiye şefleri ve proje müelliflerinin lisans mezuniyet oranının çok yüksek olduğu görülmektedir.
- Tüm gruplarda inşaat mühendisi oranı diğer mesleklere göre fazla olup, inşaat mühendisi oranının en yüksek olduğu grubun yapı denetim grubu olduğu görülmektedir.
- Ankete katılanların mesleki hizmet süreleri incelendiğinde; deneyim sürelerinin 0-5 yıl aralığında olduğu görülmektedir.
- Yapı denetim kuruluşlarında çalışan teknik personelin büyük çoğunluğunun maaşlarını, asgari ücret seviyesinde aldıkları görülmektedir.
- Proje müelliflerinin üstlendikleri projelerin ücretlendirmesini TMMOB'un açıklamış olduğu fiyat üzerinden yapmadıkları görülmektedir.

### 5.2. Mevzuata Yönelik Uygulamalarla İlgili Sonuçlar;

- Yapı denetim kuruluşlarında çalışan ve belediyelerde çalışan teknik personellere büyük bir oranda teknik bir eğitim verilmediği görülmektedir. Yasal mevzuata göre yapı denetim kuruluşlarında ve belediyelerde çalışan teknik personellere teknik eğitim verilmesi bakımından bir düzenleme de bulunmamaktadır.

- Yapı yaklaşık maliyetlerinin çok artması, yapı denetim ücretlerinde oluşan artış nedeni ile yapı sahiplerinin, yapı denetim hizmet bedelini ödemekte güçlük yaşadıkları ve bu duruma itiraz ettikleri görülmektedir.
- Yapı denetim kuruluşlarının ve belediyelerin tamamında statik analiz programlarının bulunmadığı görülmektedir.

### 5.3. Şantiye Yönetimine Yönelik Uygulamalarla İlgili Sonuçlar;

- Yapıların şantiye şefleri tarafından denetlenmeme sebebinin büyük ölçüde ‘şantiye şefi görevlendirmelerinin, yapı ruhsatı ve yapı kullanma izin belgesi gibi evraklara yalnızca imza atılması amacıyla yapılması’ yönünde olduğu görülmektedir.

### 5.4. Uygulamaya Yönelik Genel Görüşler İle İlgili Sonuçlar;

- Yapı denetim hizmet bedel oranı, yapı denetim kuruluşları tarafından %40 oranında yetersiz bulunmakla birlikte, diğer tüm kişi ve kuruluşlar tarafından yeterli bulunduğu görülmektedir.
- Yapı müteahhitlerinin, 3000 m<sup>2</sup> altındaki inşaatlarda yapı denetim bedelinin yatırılmasında, büyük oranda güçlük çektikleri görülmektedir.
- Yapı denetim kuruluşlarının, yapı alanı 3000 m<sup>2</sup>’yi geçmeyen yapıların ücretlerinin defaten yatırılması hükmünün getirilmesi ile faaliyetlerinin yürütülmesine büyük oranda olumlu katkısı olduğunu düşündükleri görülmektedir.
- Yapı alanı 3000 m<sup>2</sup>’yi geçen yapıların %10’luk kısmı dışındaki yapı denetim tutarı taksitlerinin zamanında ödenmediği görülmektedir.
- 1/1/2011 tarihi itibarıyla yapı denetim uygulamasına geçilmesi, 1/1/2019 tarihi itibarıyla yapıları denetleyecek kuruluşların elektronik ortamda belirlenmesi ve bununla beraber yapı denetim kuruluşlarının yapmış oldukları denetim standartlarında da artış olduğu görülmektedir.
- 4708 sayılı Yapı Denetimi Hakkında Kanun ve yapı denetimi hakkındaki tüm mevzuat düşünüldüğünde, standartlara uygun şekilde kaliteli yapı yapılmasına yönelik amaca ulaşamadığı görülmektedir.

### 5.5. Sektörle İlgili Genel Görüşler ile İlgili Sonuçlar;

- Yapı kullanma izin belgesi, iş bitirme belgesi, iş bitirme tutanağı ve UYDS üzerinden %100 seviyesinde tamamlanmayan yapıların altyapı tesislerinden faydalanması durumunun doğru bulunmadığı görülmektedir. Ankete katılan grupta bulunan yapı müteahhitlerinin çoğunluğunun ise bu uygulamayı doğru buldukları görülmektedir.

### 5.6. Mevzuat ve Uygulamaya Yönelik Önerilerle İlgili Sonuçlar:

- Kaçak yapılaşmanın önlenmesi kapsamında, yapı denetim sistemin yeterli görülmediği, 31/12/2017 tarihi öncesinde yapılan yapılar için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yayımlanarak yürürlüğe giren İmar Affı'nın da faydalı bulunmadığı görülmektedir.
- Yapı denetim kuruluşlarının hazırladığı hakedişlerden ilgili idare payı (belediyeler ve bakanlık payları) adı altında kesilen %3'lük tutarın, yeterli olduğu görülmektedir.

### 5.7. Öneriler

Yapı denetimi: pek çok kişi, kurum ve kuruluşun bir araya geldiği topluluktur. Paydaşların tümünün yapının denetimi sırasında görev ve sorumluluklarını eksiksiz ve kusursuz olarak yerine getirebilmelerinin sağlanması amacıyla aşağıda yazılı bulunan öneriler sıralanmıştır.

- Yapı denetim sisteminde görevli teknik personel ve şantiye şeflerinin taban aylıkları, Bakanlık ve TMMOB tarafından belirlenecek olan taban aylık sistemine göre belirlenmeli ve bu ücretin altında personel çalıştırılmasına izin verilmemesi,
- Projelerin meslek odaları tarafından onaylanması yasal bir zorunluluk haline getirilmesi,
- Projeyi hazırlayan, müteahhitliğini üstlenen ve şantiye şefliğini yapan teknik personelin birbirinden farklı kişilerden oluşturulması ile mesleki bağımsızlık ve ilave istihdam sağlanması,
- Teknik personele güncel mevzuatı takip etmeleri ve bilgilerini taze tutmak için belirli aralıklarla eğitim verilmesi,
- Yapı denetim firmaları ve belediyelerde çalışan teknik personele belirli aralıklarla eğitim verilmesi zorunlu tutulması,
- Teknik personele, belirli bir eğitim saati, deneyim yılı ve sınav başarısına bağlı olarak, proje müellifliği, şantiye şefliği ve denetçi mühendislik görevlerini üstlenmek için yetki verilmesi sağlanması,
- Yapı denetim hizmet bedeli ödemesinin, her büyüklükteki yapı alanı için kademeli ödemeye uygun hale getirilmesi,
- Bakanlık tarafından akredite olmuş statik analiz programlarının yapı denetim kuruluşlarında ve belediyelerde bulunmasının yasal mevzuatta yapılacak düzenleme ile zorunlu tutulması,
- Yapı denetim kuruluşlarının iş süresince her türlü denetim ve yazışmayı, elektronik ortamda yapmaları ve UYDS sistemine kaydetmeleri zorunlu tutulması,
- Ruhsat düzenleyen idarelerin (belediyeler) yapı denetiminde yaptıkları her türlü tespiti ve denetimi elektronik ortamda yapmaları ve UYDS sistemine kaydetmeleri zorunlu tutulması,
- Yapı kullanma izni alınmayan yapıların, altyapı hizmetlerinden faydalanması önlenmesi,

- İmar Barışı kapsamında verilen yapı kayıt belgelerinin, yapı kullanım izin belgesine dönüştürülmesi için, bir süre kısıtı getirilmesi ve belirlenen süre içinde dönüştürülmeyen belgelerin iptal edilerek, ilgili yapının kaçak yapı sınıfına dönüştürülmesi ve bu konuda Bakanlık tarafından eğitim ve teknik danışmanlık hizmeti verilmesi,
- Yapı denetim hizmeti hakediş bedelinden ruhsatı veren ilgili idare ve Bakanlık için yapılan kesintilerin bir kısmının, mesleki ve teknik eğitimler için kullanılmak üzere TMMOB'a aktarılması,
- Yapı denetim sisteminin, MAKS ve UYDS sistemlerinin birbirlerine entegrasyonu yapılarak takip edilmesi.

Yapı denetiminde önemli yer tuttuğu düşünülen 4 farklı grubu kapsayan bu çalışmanın, elde edilen genel sonuçların yanı sıra ileride yapılacak çalışmalar için de yön gösterici olması hedeflenmiştir. Çalışmada yer alan meslek gruplarının ayrı ayrı ele alınmasıyla araştırma kapsamı geliştirilebilir, genişletilebilir veya özelleştirilebilir. Ayrıca 2011 yılından beri Türkiye genelinde tüm illerde uygulanmaya başlanan yapı denetimi ile ilgili kanun ve yönetmeliklerin, inşaat sektörü üzerine etkilerini belirlemek amacıyla yapılacak araştırmalarda, bu çalışmadan elde edilen sonuçlardan yararlanılabilir.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

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

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

### **Kaynakça**

- Açikel A. Yapı denetiminin kalite üzerine etkisi ve Konya örneği. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Yüksek Lisans Tezi, 1998.
- Bayram S., Aydın S., Budak A., Oral E. Ethical problems in the production and inspection of construction in Turkey. Pamukkale Univ. J. Eng. Science 2018; 24: 461–467.
- Çelik G., Ünal C. Yapı denetim firmalarının sorunlarının belirlenmesi ve Adana örneği. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 2017; 32(4): 71-78.
- Demir MŞ. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yapı denetimi uygulaması ve yeni bir yapı denetimi modeli önerisi. Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, Yüksek Lisans Tezi, 2017.
- Doğan A. Ankara'da yapı denetim sorunlarının belirlenmesiyle ilgili bir saha çalışması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Yüksek Lisans Tezi 2013.
- Erdiş, E., Gerek İH. e-Journal of New World Sciences Academy NWSA-Engineering Sciences, 2012;

7(1): 291-298.

İmar Kanunu. Web sitesi <http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr/>.

Güncü D. Yapı denetim kuruluşlarının sorunları ve yapı denetimi sistemindeki sorunlar-Van Örneği.

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Yüksek Lisans Tezi 2020.

Karahan AY. İstanbul'da faaliyet gösteren yapı denetim şirketlerinin uygulamaya yönelik karşılaştıkları sorunlar ve çözüm önerilerine yönelik bir araştırma. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Yüksek Lisans Tezi 2008.

Karaoğlu E. 4708 sayılı yapı denetim kanununun denetimdeki verimliliği. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011, İstanbul

Kural R., Ünal O. İnşaat sektöründe yapı denetimi ve Afyonkarahisar ilindeki uygulamaların araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 2015; 15(3): 1-10.

Kural R. İnşaat sektöründe yapı denetimi ve Afyonkarahisar ilindeki uygulamaların araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, Yüksek Lisans Tezi 2015.

Merdin S. Yapı denetimi. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Yapı İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 2010.

Özdemir H. Yapı denetim kuruluşlarının sorunları ve yapı denetimi sistemindeki sorunlar: Muğla örneği. Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, Yüksek Lisans Tezi, 2018.

Özkan G. Türkiye'de yapı denetim sistemi ile ilgili yaklaşımlar. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Yüksek Lisans Tezi 2005.

Sakallı F. Yapı denetim sisteminde yaşanan sorunlar, 4708 sayılı Yapı Denetim Hakkında Kanun'daki eksiklikler ve çözüm önerileri. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Yüksek Lisans Tezi 2008.

Ünal C. Yapı denetim firmalarının sorunlarının belirlenmesi ve Adana örneği. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Yüksek Lisans Tezi 2017.

Yağız S. Türkiye'de yapı denetimi uygulaması ve konut niteliğine etkisi: Bursa alan araştırması, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Yüksek Lisans Tezi, 2019.

Yapı Denetimi Hakkında Kanun, Web Sitesi. <http://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.4708.pdf>.

Yapı Denetimi Uygulama Yönetmeliği. Web Sitesi, <http://www.csb.gov.tr>.

Yılmaz H. Türkiye'de 1980'den sonra kent planlaması hizmetlerinin özel kesime gördürülmesi eğilimleri: Yapı denetim kuruluşları örneği. Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, Doktora Tezi, 2006.

R.O.T Ministry of Development. 10th Development Report 2014-2018, Ankara, 219p.

National CAD and GIS Solutions Inc. Building Inspection System Users' Manual, 2007; 79p.

R.O.T. Official Gazette. Regulation on the records of building contractors. Construction Supervisors and Skilled Workers with Authorisation Certificates, 27787, 16.12.2010.

## Su Numunelerinde Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH) Katı Faz Ekstraksiyonu İçin Adsorben Üretimi

Mahmut ÇAYLAR<sup>1</sup>, Beyhan TAHTA<sup>2</sup>, Erkan AYGÖRDÜ<sup>3</sup>, Ali Burak SÜN BÜL<sup>4</sup>, Serhan URUŞ<sup>5\*</sup>

<sup>1,2,4,5</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Kahramanmaraş

<sup>3,5</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş

<sup>3</sup>Kahramanmaraş Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Kahramanmaraş

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-7676-263X>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-9767-5394>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-0846-4278>

<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0001-6900-2424>

<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0002-4204-9860>

\*Sorumlu yazar: serhanurus@yahoo.co.uk

### Araştırma Makalesi

### ÖZ

#### Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 09.06.2022

Kabul tarihi: 15.02.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Poliaromatik hidrokarbon

PAH

Adsorpsiyon

Zenginleştirme

SPE

Polisiklik aromatik hidrokarbonlar, iki ya da daha fazla aromatik halkaya sahip hidrofobik karakterli organik bileşiklerdir. Ülkemizde bulunan havzaların kirliliğinin tespiti çalışmalarının yanı sıra tüm içme-kullanma sularının kirliliğinin tespitinde de Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH) analizleri yoğun bir şekilde yaptırılmaktadır. Su numunelerinden PAH ekstraksiyonunda C18 diskler kullanılmaktadır. Bu çalışmada C18 disklere alternatif olarak silika destekli malzemeler sentezlendi ve sentezlenen adsorbanlar FT-IR, SEM-EDX ve XRD ile yapıları aydınlatıldı. Ayrıca elde edilen malzemeler, HPLC analizi öncesinde su numunelerinden PAH'ların ekstraksiyon ve saflaştırma denemelerinde kullanıldı. Elde edilen bulgular muadil C18 disklerle karşılaştırıldı. Üretilen adsorbenler PAH ekstraksiyon ve saflaştırma denemelerinde muadil C18 kartuşlar kadar hatta n-oktadesiltrimetoksisilan ile sentezlenen malzemenin (C18@SiO<sub>2</sub>) daha da etkili olduğu gözlemlendi.

## Adsorbent Production for Solid Phase Extraction of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) in Water Samples

### Research Article

### ABSTRACT

#### Article History:

Received: 09.06.2022

Accepted: 15.02.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Polyaromatic hydrocarbon

PAH

Adsorption

Enrichment

SPE

Polycyclic aromatic hydrocarbons are organic compounds with two or more aromatic rings of hydrophobic character. In addition to the studies to determine the pollution of the basins in our country, the analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) is carried out intensively in the determination of the pollution of all drinking and domestic waters. C18 discs are used for PAH extraction from water samples. In this study, silica supported materials were synthesized as an alternative to C18 discs and their structures were elucidated with the synthesized adsorbent FT-IR, SEM-EDX and XRD. In addition, the obtained materials were used in the extraction and purification experiments of PAHs from water samples before HPLC analysis, and the results were compared with equivalent C18 discs. In the PAH extraction and purification experiments of the produced adsorbent, it was observed that the material synthesized with n-octadecyltrimethoxysilane (C18@SiO<sub>2</sub>) was even more effective than the equivalent C18 cartridges.

**To Cite:** Çaylar M., Tahta B., Aygördü E., Sünbül AB., Uruş S. Su Numunelerinde Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH) Katı Faz Ekstraksiyonu İçin Adsorben Üretimi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(3): 2316-2331.

## **1.Giriş**

Günümüzde çevre sorunları, dünyada önem verilen ve üzerinde çalışmalar yapılan güncel konuların başında gelmektedir. Ormanların kötü kullanımı, erozyon, düzensiz gelişen nüfus, şehirleşme ve yeşil alanların gitgide tahrip edilmesi, kıyıların kullanılmaz hale gelmesi, sanayi sektöründe birçok alanda kullanılan kimyasal maddelerin canlılar üzerindeki olumsuz sonuçları, nükleer enerjili termik santraller ve Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH)'ların ekolojik dengede yapmış oldukları tahribat sadece Türkiye'de değil dünyada da çözümleri aranan sorunlar haline gelmiştir (Makale, 1999; Alver ve ark., 2012). Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH) organik bileşiklerin eksik yanması sonucu ortaya çıkan toksik ve kanserojen etkiye sahip yine organik yapıda bileşiklerdir. PAH'ların, sudaki çözünürlüğü hidrofobik yapılarından dolayı minimum seviyededir. PAH bileşikleri genellikle apolar çözücüde çözünür.

PAH'lar yapısındaki benzen halkası sayısına göre ağır veya hafif PAH diye isimlendirilir (Makale, 1999; Alver ve ark., 2012). Yapısında en fazla dört tane benzen halkası içerenler hafif PAH, yapısında dörtten fazla benzen halkası içerenler ise ağır PAH olarak isimlendirilir. PAH'ların molekül ağırlıkları yükseldikçe su içindeki çözümleri azalmasına rağmen kanserojen özelliği ve toksin miktarı artmaktadır (Demir ve Demirbağ, 1999; Alver ve ark., 2012). Literatürde doğada yüzün üstünde PAH bileşiği olduğu bilinmektedir. Ancak Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Birimi (United States Environmental Protection Agency, US-EPA) tarafından verilen bilgilere göre on altı adet PAH bileşiği ileri derecede kirletici olarak kabul edilmektedir. Bu nedenlerle sularda bulunan Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH) varlığı bir kirlilik kriteri olarak kabul edilmektedir (Makale, 1999). PAH'lar su, hava, gıdalar ve sigara dumanı gibi birçok yolla insan vücuduna etkileşime girer ve canlıların DNA'sında mutasyona sebebiyet vermektedirler. Ülkemizde bulunan havzaların kirliliğinin tespiti çalışmalarının yanı sıra tüm içme-kullanma sularının kirliliğinin tespitinde de Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH) analizleri yoğun bir şekilde yaptırılmaktadır. Sularda Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH) tespiti için yapılan analizlerde daha doğru ve kesin sonuca ulaşılabilmesi amacıyla ön-ekstraksiyon ve zenginleştirme işlemleri gerçekleştirilmektedir. PAH'ların sulu ortamdan ekstrakte edilip, deriştirilmesi için çoğu çalışmada katı faz ekstraksiyonu (SPE) tekniği kullanılmaktadır. Katı faz ekstraksiyonu işlemlerinde ise genellikle silika destekli C18 diskler kullanılmaktadır (Demir ve Yalçın, 1999). Bu çalışmada PAH ekstraksiyon ve zenginleştirme işlemlerinde kullanılan C18 diskler yerine yeni adsorbanların üretilmesi üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH) ekstraksiyonu işleminde kullanılan silika-destekli muadil C18 disklerin tamamen ithal olması sebebiyle maliyet hesabı düşünüldüğünde yapılan çalışma daha da önemli hale gelmektedir. Ayrıca yapılan maliyet çalışmalarında muadil olarak kullanılan C18 kartuşlarla sentezlediğimiz malzemeler kıyaslandığında sentezlenen malzemeler en az % 50 daha da ucuza mal olmaktadır. Bu amaçla silika destekli C18 adsorbanlar üretildi, sonra bu



malzemelerin PAH ekstraksiyonlarındaki etkinlikleri, DSİ laboratuvarlarındaki cihazlar ve ekipmanlar ile ön-ekstraksiyon ve zenginleştirme işlemlerinde kullanıldı.

## **2. Materyal ve Metot**

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi ÜSKİM laboratuvarında bulunan; Perkin Elmer Spectrum 400 Fourier Transform Infrared (FT-IR) cihazında ATR aparatı ile 4000-450 cm<sup>-1</sup>. ZEISS EVO LS10 marka SEM cihazında, EHT:20 keV enerjisinde backscatter elektron detektörü (BSD) ve elektron tabancası olarak Lab6 filament kullanıldı ve ZEISS EVO LS10 marka SEM cihazında takılı Bruker Quantax 200 marka enerji dağılım spektroskopisi (EDS – energy dispersive spectrometer) ünitesi kullanıldı.

XRD analizleri, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik bölümünde bulunan X ışını laboratuvarında Philips X'Pert PRO marka cihazı kullanıldı. Analiz parametreleri, 30mA ve 40kV ayarlı, monokromotik CuK $\alpha$  radyasyonu ( $\lambda = 0,154056$  nm) altında kullanıldı. XRD analizleri için; 293 K' de 10°' den 90° 'ye kadar 0,01° adım aralığında ölçümler alındı.

### **2.1. Adsorban Filtrelerin Sentezi**

#### **2.1.1. Silikanın Aktifleştirilmesi**

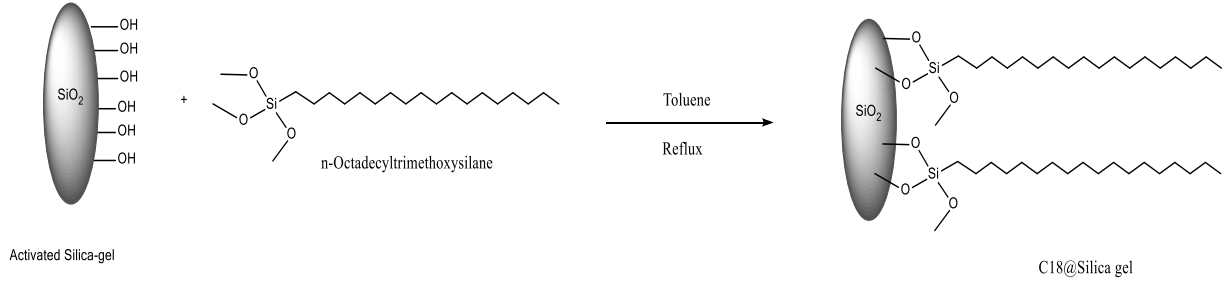
50 g silika jel balona konuldu ve 100 mL 1:1 HCl:H<sub>2</sub>O eklenip 12 saat kaynama sıcaklığında reaksiyon ortamında bırakıldı. Oda şartlarına soğutulup, filtre edilip, bolca saf su ile yıkandı ve 150 °C de 12 saat boyunca kurutuldu.

#### **2.1.2. N-oktadesilsilanın Silikaya İmmobilizasyonu (C18@SiO<sub>2</sub>)**

Balon içerisine, 10 g aktifleştirilmiş silika ve 30 mL toluen eklenerek 5 dakika boyunca ultrasonik banyo içinde çözüldü ve üzerine 10 mL n-oktadesilsilanın ilave edilerek 24 saat kaynama sıcaklığında reaksiyona sokularak C18@SiO<sub>2</sub> sentezlendi.

#### **2.1.3. N-Oktadesiltrimetoksisilanın Silikaya İmmobilizasyonu (C18@SiO<sub>2</sub>)**

Balon içerisine, 10 g aktif silika jel ve 30 mL toluen eklenerek 5 dakika boyunca ultrasonik banyo içinde çözüldü ve üzerine 10 mL n-oktadesiltrimetoksisilan ilave edilerek 24 saat kaynama sıcaklığında reaksiyona sokularak C18@SiO<sub>2</sub> sentezlendi.



**Şekil 1.** Sentez şeması

#### 2.1.4. N-Oktadesiltrioksisisilanın Silikaya İmmobilizasyonu (C18@SiO<sub>2</sub>)

Balon içerisine, 10 g aktif silika jel ve 30 mL toluen eklenerek 5 dakika boyunca ultrasonik banyo içinde çözüldü ve üzerine 10 mL n-oktadesiltrioksisisilan ilave edilerek 24 saat kaynama sıcaklığında reaksiyona sokularak C18@SiO<sub>2</sub> sentezlendi. Sentezlenen malzemeler oda sıcaklığına kadar soğumaya bırakıldı. Daha sonra whatman kağıdıyla filtre edildi ve 1:1 etanol su karışımı ile 3 defa yıkanarak etüv içinde 80 °C 24 saat kurutuldu. Oluşan malzemeler DSİ de PAH ekstraksiyonu için denemeleri yapıldı.

### 2.2. PAH Analizleri

Sentezlenen malzemeler DSİ 20. Bölge Müdürlüğü Kahramanmaraş/Gaziantep Karayolu Erkenez mevki sularında PAH çalışması denemelerinde EPA metodu referans alınarak çalışılmıştır.

#### 2.2.1. Referans Diskler ile PAH Ekstraksiyonu

Referans diskin düz olamayan yüzeyi üste kalacak biçimde süzme yapılacak düzeneğin içine yerleştirildi. Diskin ıslatılması için 2x2,5 mL diklorometan (CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>) kullanıldı ve vakum altında disk üzerinden 2x2,5 mL MeOH ile geçirildi. Ekstraksiyon işlemi sonuna kadar disk yüzeyinde metanollü tabakasının oluşması sağlandı ve son olarak disk, 5 mL saf su ile yıkanarak ekstraksiyon işlemi tamamlanmıştır (Hodgeson ve Bashe, 1990).

#### 2.2.2. Sentezlenen Silika Destekli Kartuşlar ile PAH Ekstraksiyonu

Sentezlenen malzemelerin denenmesi için, 1L su numunesine 5 mL metanol ilave edilerek yaklaşık 10 dakika karıştırıldı ve kartuştan geçirildi. Bu aşamada adsorpsiyon işlemi sonrası geçirilen su döküldükten hemen sonra su haznesinin içine yeniden konuldu ve işleme devam edildi. 5 mL asetonitril numune kabını temizlemek için kullanıldı. İlk olarak 2,5 mL vakumla diskin üzerine konuldu, ikinci adım olarak geri kalan 2,5 mL diskten geçirildi. Bir önceki adımda yapılan işlemler iki defa diklorometan ile tekrardan yapıldı. Yapılan işlemler ile toplanan elüsyon miktarı 3 g olunca filitre kağıdının üzerine sodyum sülfattan(susuz) konup filitre işlemi yapıldı. Filtre kağıdında kullanılan sodyum sülfat (susuz) 5 mL\*2 diklorometan ile yıkama işlemi yapıldı ve 28 °C' de azot gazı kullanılarak 0,5 mL kalana kadar konsantre edildi (Hodgeson ve Bashe, 1990).

### 2.3. HPLC Çalışma Koşulları

Yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) ile belirli Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH) “EPA 550.1 Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Drinking Water by Liquid-Solid Extraction and HPLC with Coupled Ultraviolet and Fluorescence Detection ” standardına uygun olarak tespiti yapılmıştır. Bu standart uygulamaya göre laboratuvara gönderilmiş su numunelerinde belirli Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH), HPLC cihazı ile EPA 550.1 standardına uygun olarak tespiti yapılmıştır.

**Tablo 1.** HPLC çalışma şartları

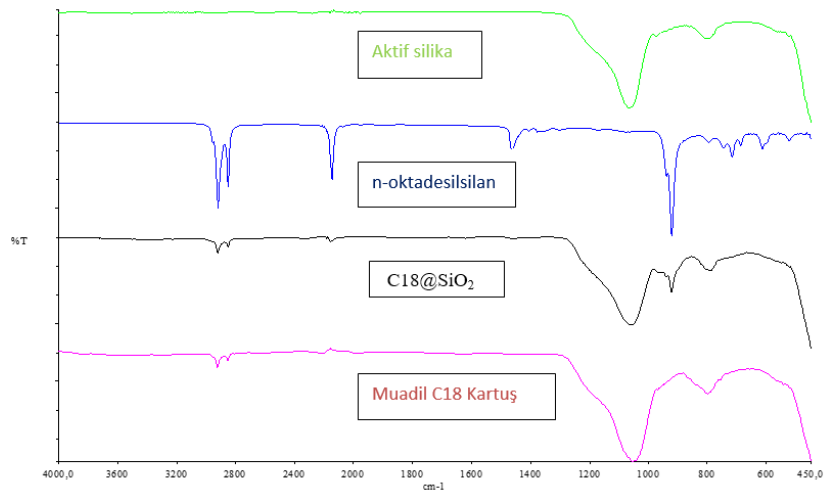
HPLC Marka / Hewlett Packard 1200 model:		Dedektör: Floresans: 254-360nm		Kolon sıcaklığı: 30°C	Kolon türü: Restek Pinnacle II PAH	
Akış Hızı: 2.000ml/min		Mobil Faz: Saf Su ve Asetonitril				
Retention time(RT)	1. Naphthalene:	2,901	6.Fluoranthene:	7,418	11.Benzo[k]fluoranthene	14,600
	2.Acenaphthylene:	4,550	7. Pyrene:	8,065	12.Benzo[a]Pyrene	15,358
	3. Fluorene:	4,844	8.Benzo[a] Anthracene:	10,725	13.Dibenz[ah]anthracene	17,231
	4. Phenantrene:	5,612	9. Chrysene	11,290	14.Benzo[ghi]perylene	17,635
	5.Anthracene:	6,465	10.Benzo[b]fluoranthene	13,533	15.Indeno[1,2,3cd]pyrene	18,405

### 3. Bulgular ve Tartışma

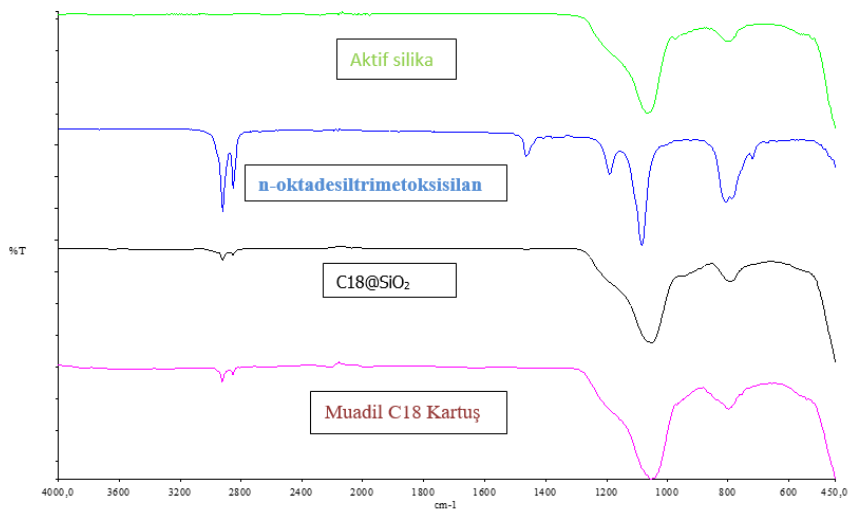
#### 3.1. Karakterizasyon

##### 3.1.1 FT-IR

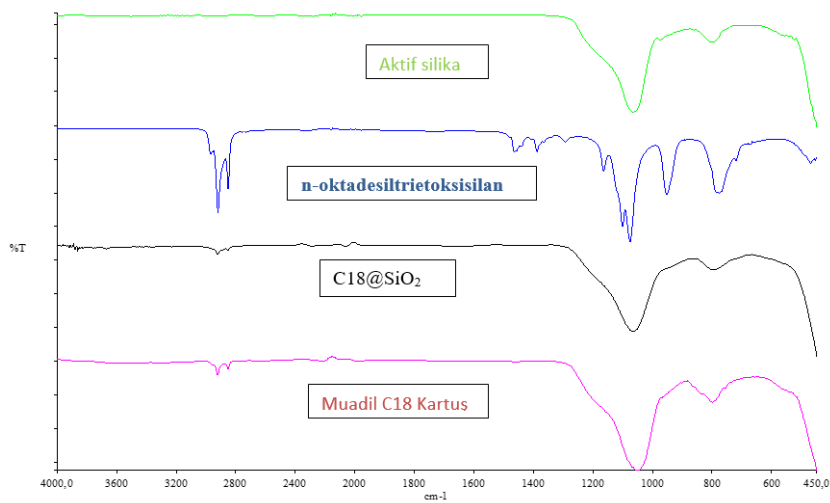
Sentezlenen silika destekli yapıların karakterizasyonu ve bağlı alkil zincirlerinin yapısal özelliklerini araştırmak için FT-IR spektroskopisi kullanıldı. Ortaya çıkan spektrumlar, moleküler absorpsiyonu gösterir ve moleküler bağların ve bu bağların bulunduğu kimyasal ortamların titreşim frekanslarına karşılık gelen numunenin moleküler parmak izini oluşturur. Bu teknikte, moleküller sadece kızılötesi ışığın molekülün dipolar momentini etkilediği frekanslarda kızılötesi ışığı emmektedir. Belirli oranlarda sentezlenen silika destekli malzemelerin (FT-IR) spektroskopisi ile analizleri yapıldı. Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4, sentezlenen malzemelerin FT-IR analiz spektrumlarını göstermektedir. FT-IR spektrumları incelendiğinde, 2853-2846 cm<sup>-1</sup> simetrik -CH<sub>2</sub> gerilmeleri, 2926-2915 cm<sup>-1</sup> asimetrik CH<sub>2</sub> gerilmeleri olduğunu gösterir. Asimetrik ve simetrik Si-O-Si gerilmeleri 1060 cm<sup>-1</sup>, Si-O gerilmesi 800 cm<sup>-1</sup> belirgin şekilde gözlemlenmiştir (Mccool ve ark., 2003; Uruş ve ark., 2016; Zhang ve ark., 2016; Kocyigit ve ark., 2018).



Şekil 2. n-oktadesilsilandan sentezlenen C18@SiO<sub>2</sub> in FT-IR Spektrumu



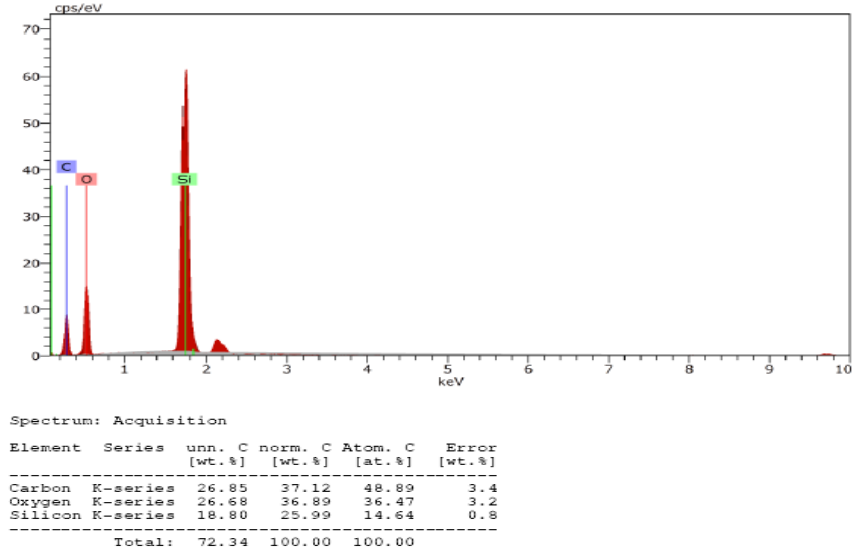
Şekil 3. n-oktadesiltrimetoksisilandan sentezlenen C18@SiO<sub>2</sub> in FT-IR Spektrumu



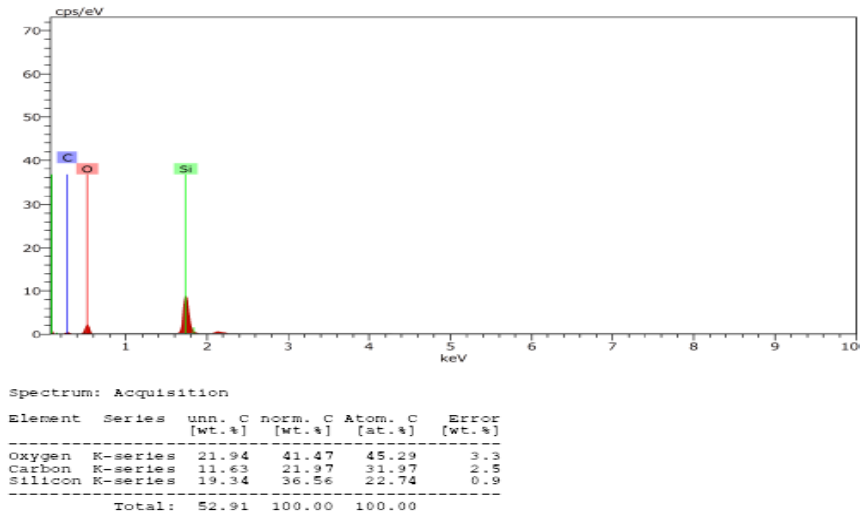
Şekil 4. n-oktadesiltriethoksisilandan sentezlenen C18@SiO<sub>2</sub> in FT-IR Spektrumu

### 3.1.2. SEM-EDX

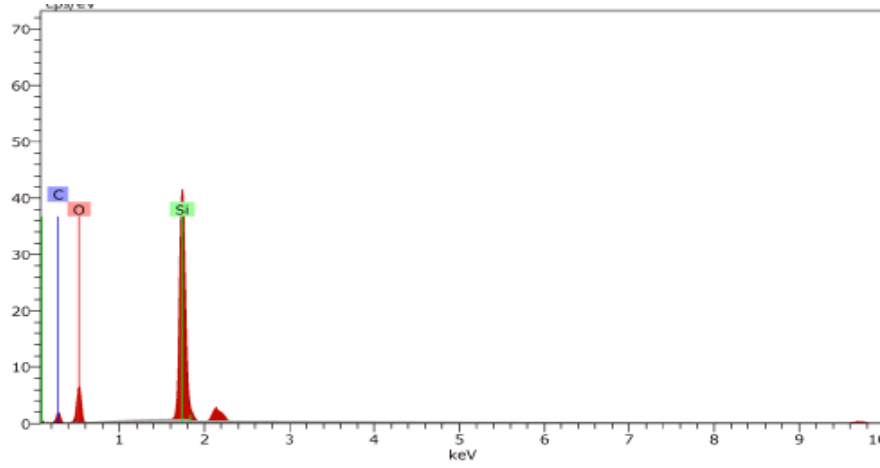
Sentezlenen malzemelere yapılan analizler sonucunda Şekil 5’de ticari olarak satılan C18 kartuş içeriği, karbon, oksijen ve silisyumdan oluştuğu görülmektedir. Şekil 6’da n-oktadesilsilanın, Şekil 7’de n-oktadesiltrimetoksisilan ve Şekil 8’de n-oktadesiltrioksisilan ait içerik analizleri incelendiğinde, sentezlenen ürünlerinde ticari C18 içeriği ile benzer olduğu gözlemlenmiştir (Urus, 2016; Uruş ve ark., 2016).



Şekil 5. Muadil C18 kartuşun EDX spektrumu



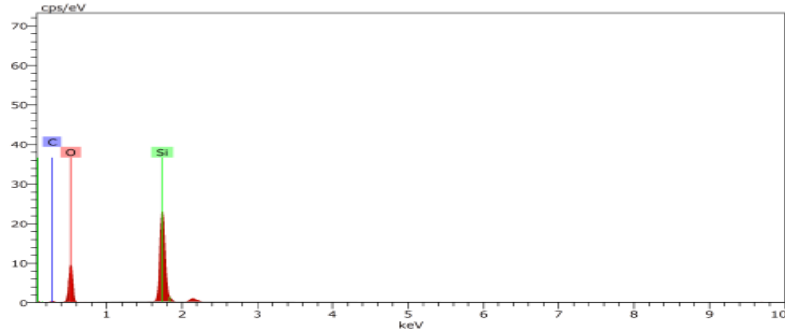
Şekil 6. n-oktadesilsilandan sentezlenen C18@SiO<sub>2</sub> in EDX Spektrumu



Spectrum: Acquisition

Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [wt.%]
Oxygen	K-series	16.87	34.52	37.86	2.2
Carbon	K-series	12.40	25.37	37.07	1.9
Silicon	K-series	19.61	40.11	25.07	0.9
Total:		48.88	100.00	100.00	

Şekil 7. n-oktadesiltrimetoksisilandan sentezlenen C18@SiO<sub>2</sub> in EDX Spektrumu

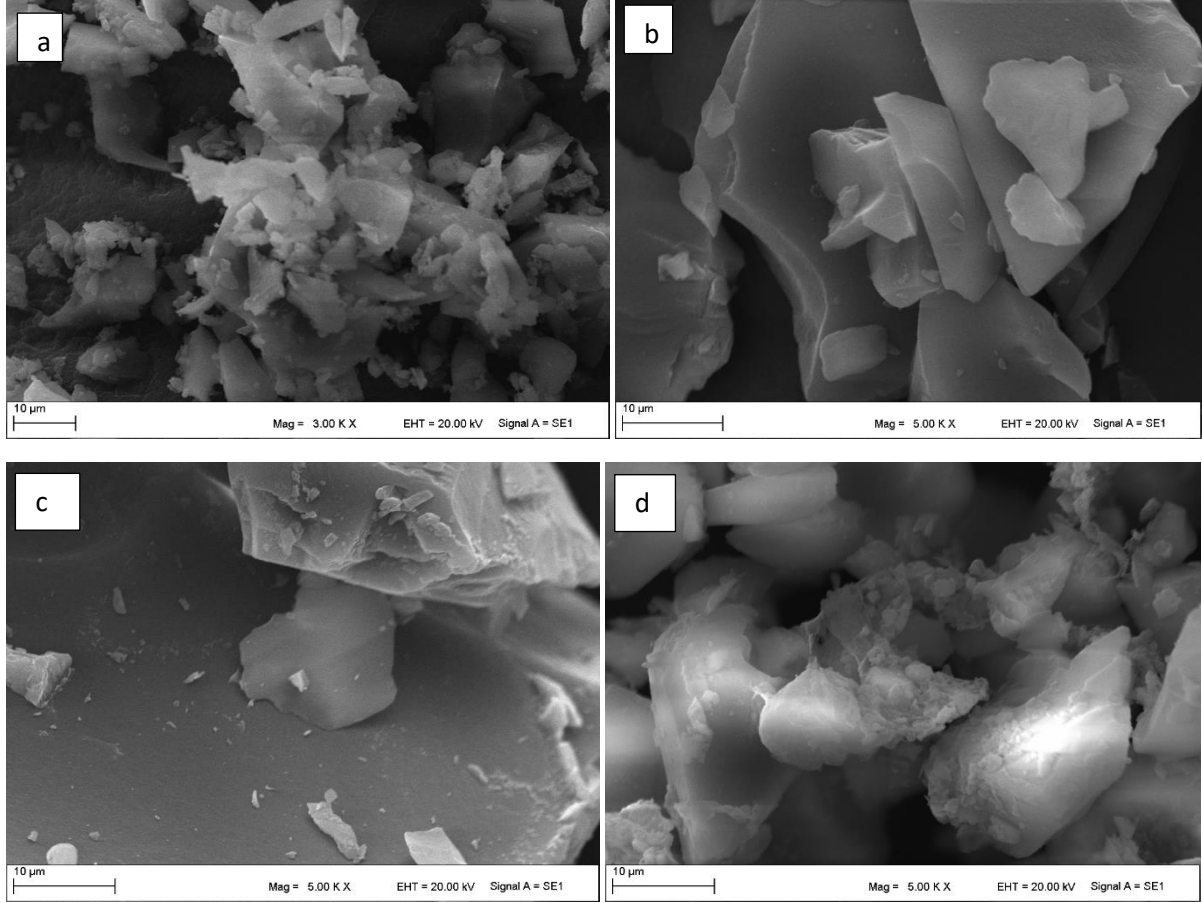


Spectrum: Acquisition

Element	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [wt.%]
Oxygen	K-series	33.81	53.86	61.65	4.6
Silicon	K-series	23.02	36.67	23.91	1.0
Carbon	K-series	5.94	9.07	14.44	1.6
Total:		62.77	100.00	100.00	

Şekil 8. n-oktadesiltriethoksisilandan sentezlenen C18@SiO<sub>2</sub> in EDX Spektrumu

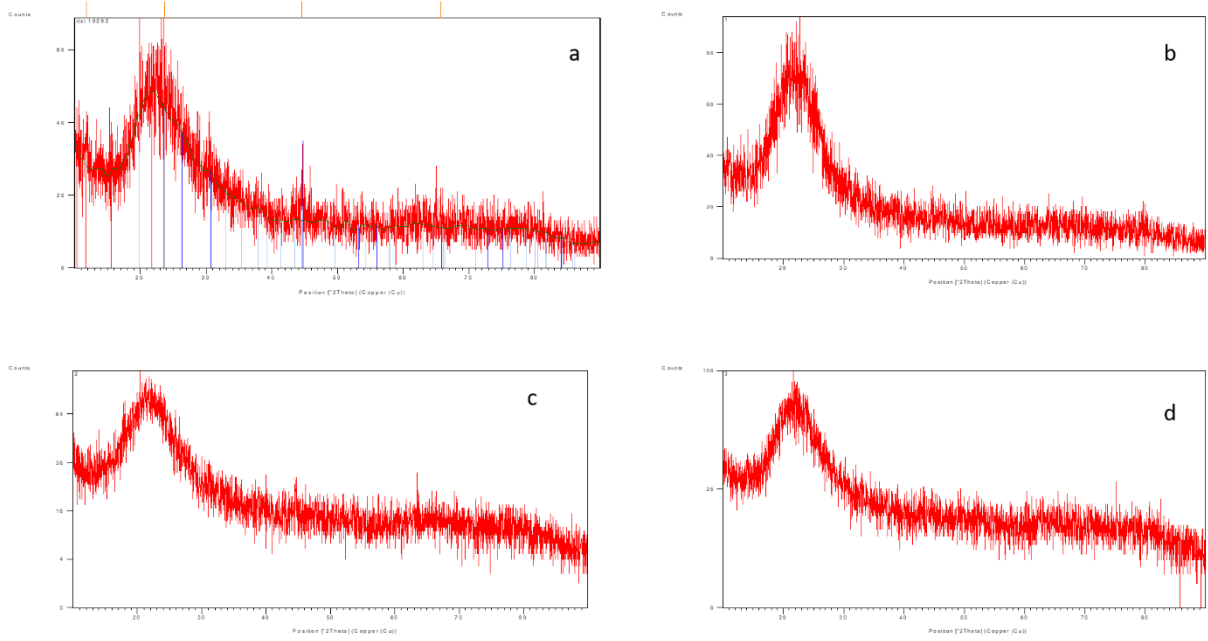
Sentezlenen malzemelerin morfolojisini incelemek için SEM cihazında 10 µm altında sentezlenen ürünün ve orijinal C18 kartuşunun görüntüsü alındı. Sentezlenen malzemelerin parçacık morfolojisini, çaplarını ve ayrıca parçacık boyutunun dağılımı hakkında bilgi vermektedir. Numuneler, çift taraflı karbon üzerine silika küreler yerleştirilerek hazırlandı ve katodik püskürtme ile altın kaplanmıştır (yaklaşık 20 nm kalınlık). Şekil 9-a alınan küresel yapılar ticari C18 kartuşun silisyum destekli olduğunu göstermektedir ve sentezlenen ürünlerde de oluşan gözenekli yapılar silisyum destekli oluşumları göstermektedir (Mccool ve ark., 2003; Uruş ve ark., 2016; Zhang ve ark., 2016; Zubair ve ark., 2020).



**Şekil 9.** a: Muadil C18 Kartuşun SEM Görüntüsü b: n-oktadesilsilandan sentezlenen C18@SiO<sub>2</sub> SEM Görüntüsü  
c: n-oktadesiltrimetoksisilandan sentezlenen C18@SiO<sub>2</sub> SEM Görüntüsü d: n-oktadesiltriethoksisilandan sentezlenen destekli C18@SiO<sub>2</sub> SEM Görüntüsü

### 3.1.3. XRD

XRD analizi; X-ışını kırınım desenleri, Şekil 9'da gösterildiği gibi hazırlanan SiO<sub>2</sub> numunelerinin amorf yapısını doğrulamaktadır. Geniş band, tam bir amorf yapıyı gösterir. Şekil 10 incelendiğinde, ticari olarak üretilen silika jel malzemelerinin XRD analizleri bunların opal-A/amorf (SiO<sub>2</sub>.nH<sub>2</sub>O) benzeri bir desene sahip olduklarını göstermiştir. Bant biçimindeki pik yaklaşık 2θ=25° de en yüksek şiddete ulaşmakta olup sola doğru yayvanlaşan asimetric bir görünüme sahiptir (Şekil 10a ). Silika minerallerinin düzenlilik derecesi arttıkça, pik genişliği daralmakta, buna karşın pik şiddeti ise artmaktadır. Amorf SiO<sub>2</sub> için karakteristik pik olan 2θ=25° merkezli geniş bir bant dışında gözlenen herhangi bir kırınım piki yoktur. Şekil 10' da verilen sentezlenen malzemelerin XRD spektrumları incelendiğinde muadil olarak satılan C18 kartuşu ile sentezlenen ürünlerin benzer özellik gösterdiği görülmektedir (Eskalen ve ark., 2019; Özgan ve Kerli, 2019).



**Şekil 10.** a: Muadil C18 Kartuşun XRD Spektrumu b: n-oktadesilsilandan sentezlenen C18@SiO<sub>2</sub> in XRD Spektrumu c: n-oktadesiltrimetoksisilandan sentezlenen C18@SiO<sub>2</sub> in XRD Spektrumu d: n-oktadesiltrietoksisilandan sentezlenen C18@SiO<sub>2</sub> in XRD Spektrumu

### 3.2. Su Numunelerinden PAH Ekstraksiyonu ve HPLC Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Tablo 2’de HPLC analiz sonuçları incelendiğinde, sentezlenen ürünler ve muadil olarak kullanılan C18 kartuşunun; Acenaphthylene, Fluorene, Phenantren, Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo [a]Anthracene, Chrysene, Benzo[b]fluoranthene, Benzo[k]fluoranthene, Benzo[a]Pyrene, Dibeenz[ah]anthracene, Benzo[ghi]perylene ve Indeno[1,2,3-cd]pyrene PAH bileşiklerine karşı adsorpsiyon sonuçları LOQ’dan (<0,0005) küçük çıkmasına rağmen muadil C18 kartuş ve sentezlenen C18@SiO<sub>2</sub> malzemlerinde naphthalene karşı adsorpsiyon gösterdiği görüldü. Sentezlenen malzemeler incelendiğinde de n-oktadesiltrietoksisilandan sentezlenen malzeme (C18@SiO<sub>2</sub>) ile gerçekleştirilen ön-safılaştırma ve ekstraksiyon işlemi sonucu yapılan PAH analizinde elde edilen geri kazanım, muadil C18 kartuşundan bile daha yüksek olduğu görülmüştür.

**Tablo 2.** HPLC PAH Analiz Sonuçları

n-oktadesilsilani n C18@Silikajel	CAS NO	Analiz Metodu	Analiz Sonucu (µg/L)	Parametre	CAS NO	Analiz Metodu	Analiz Sonucu (µg/L)
<b>PAH</b>							
Acenaphthene	208-96-8	EPA 550.1	<0,0005	Dibenzo(a,h)Anthracene	53-70-3	EPA 550.1	<0,0005
Anthracene	120-12-7	EPA 550.1	<0,0005	Fluoranthrene	206-44-0	EPA 550.1	<0,0005
Benzo(a)anthracene	56-55-3	EPA 550.1	<0,0005	Fluorene	86-73-7	EPA 550.1	<0,0005
Benzo(a)pyren	50-32-8	EPA	<0,0005	İndeno(1.2.3-cd)	193-39-5	EPA	<0,0005

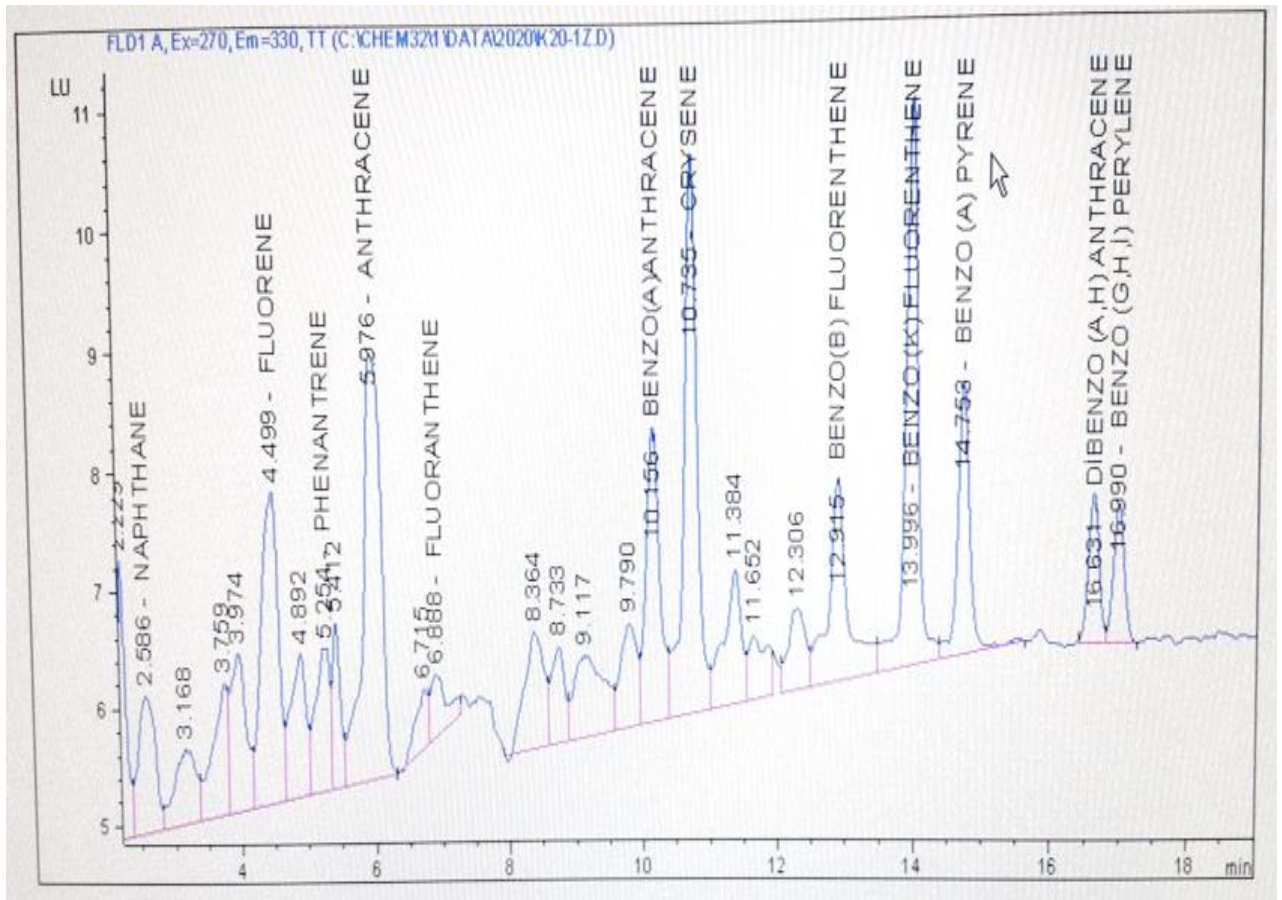


e		550.1		pyrene		550.1	
<b>Benzo(b)fluorantene</b>	205-99-2	EPA 550.1	<0,0005	Naphthalene	91-20-3	EPA 550.1	0,0048
<b>Benzo(ghi)perylene</b>	191-24-2	EPA 550.1	<0,0005	Phenanthrene	85-01-8	EPA 550.1	<0,0005
<b>Benzo(k)fluorantene</b>	207-08-9	EPA 550.1	<0,0005	Pyrene	129-00-0	EPA 550.1	<0,0005
<b>Crisen</b>	218-01-9	EPA 550.14	<0,0005				

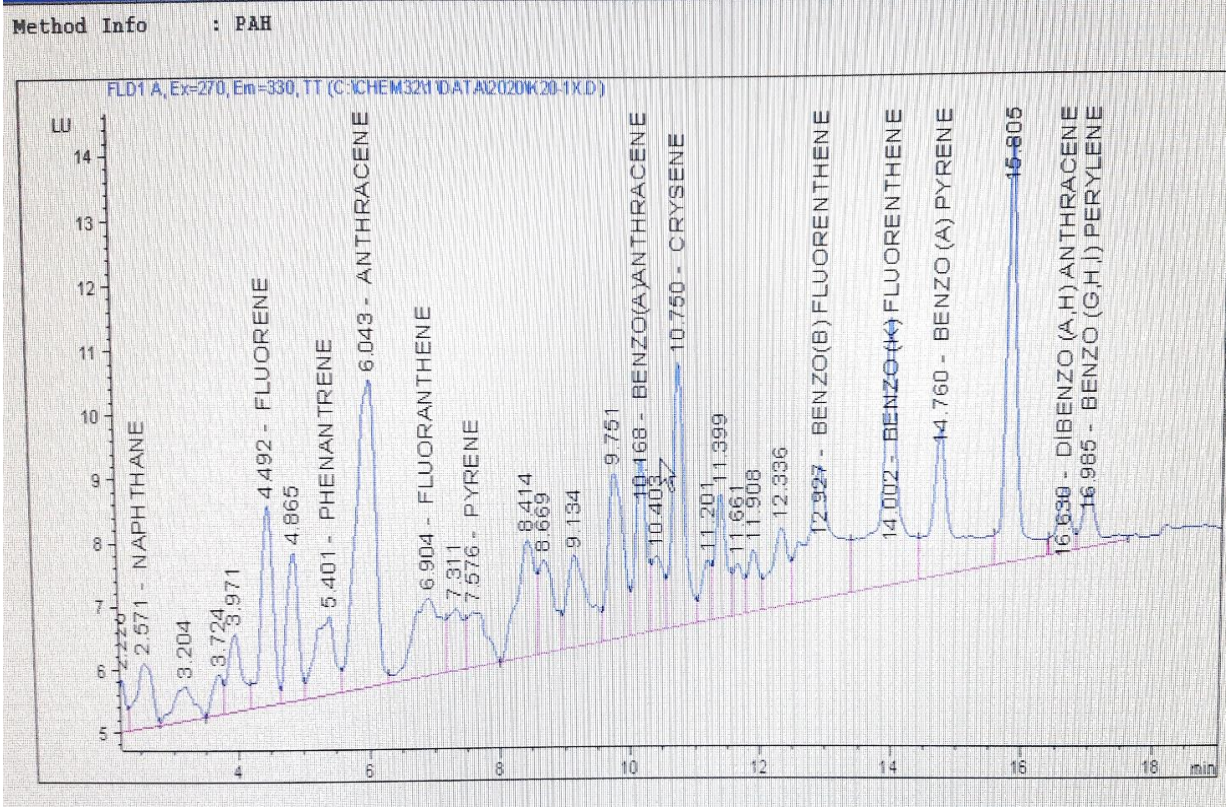
n- oktadesiltrimet oksisilan C18@Silikajel	CAS NO	Analiz Metodu	Analiz Sonucu (µg/L)	Parametre	CAS NO	Analiz Metodu	Analiz Sonucu (µg/L)
<b>PAH</b>							
<b>Acenaphthene</b>	208-96-8	EPA 550.1	<0,0005	Dibenzo(a,h)Anthracene	53-70-3	EPA 550.1	<0,0005
<b>Antheracene</b>	120-12-7	EPA 550.1	<0,0005	Fluoranthrene	206-44-0	EPA 550.1	<0,0005
<b>Benzo(a)anthracene</b>	56-55-3	EPA 550.1	<0,0005	Fluorene	86-73-7	EPA 550.1	<0,0005
<b>Benzo(a)pyrene</b>	50-32-8	EPA 550.1	<0,0005	İndeno(1.2.3-cd) pyrene	193-39-5	EPA 550.1	<0,0005
<b>Benzo(b)fluorantene</b>	205-99-2	EPA 550.1	<0,0005	Naphthalene	91-20-3	EPA 550.1	<0,0120
<b>Benzo(ghi)perylene</b>	191-24-2	EPA 550.1	<0,0005	Phenanthrene	85-01-8	EPA 550.1	<0,0005
<b>Benzo(k)fluorantene</b>	207-08-9	EPA 550.1	<0,0005	Pyrene	129-00-0	EPA 550.1	<0,0005
<b>Crisen</b>	218-01-9	EPA 550.14	<0,0005				

n- oktadesiltrioksisilan (C18@Silikajel)	CAS NO	Analiz Metodu	Analiz Sonucu (µg/L)	Parametre	CAS NO	Analiz Metodu	Analiz Sonucu (µg/L)
<b>PAH</b>							
<b>Acenaphthene</b>	208-96-8	EPA 550.1	<0,0005	Dibenzo(a,h)Anthracene	53-70-3	EPA 550.1	<0,0005
<b>Antheracene</b>	120-12-7	EPA 550.1	<0,0005	Fluoranthrene	206-44-0	EPA 550.1	<0,0005
<b>Benzo(a)anthracene</b>	56-55-3	EPA 550.1	<0,0005	Fluorene	86-73-7	EPA 550.1	<0,0005
<b>Benzo(a)pyrene</b>	50-32-8	EPA 550.1	<0,0005	İndeno(1.2.3-cd) pyrene	193-39-5	EPA 550.1	<0,0005
<b>Benzo(b)fluorantene</b>	205-99-2	EPA 550.1	<0,0005	Naphthalene	91-20-3	EPA 550.1	0,0370
<b>Benzo(ghi)perylene</b>	191-24-2	EPA 550.1	<0,0005	Phenanthrene	85-01-8	EPA 550.1	<0,0005
<b>Benzo(k)fluorantene</b>	207-08-9	EPA 550.1	<0,0005	Pyrene	129-00-0	EPA 550.1	<0,0005
<b>Crisen</b>	218-01-9	EPA 550.14	<0,0005				
Muadil C18 Kartuş	CAS NO	Analiz Metodu	Analiz Sonucu (µg/L)	Parametre	CAS NO	Analiz Metodu	Analiz Sonucu (µg/L)
<b>PAH</b>							

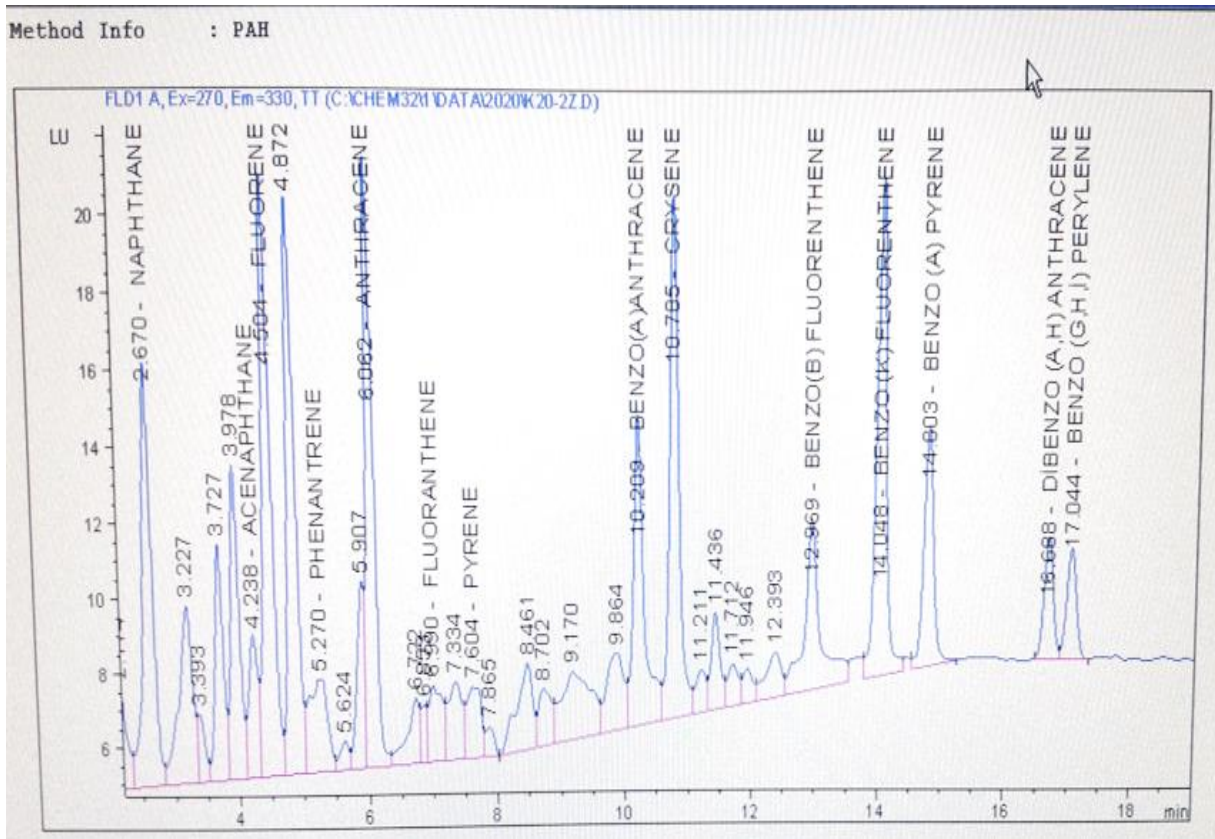
<b>Acenaphthene</b>	208-96-8	EPA 550.1	<0,0005	Dibenzo(a,h)Anthracene	53-70-3	EPA 550.1	<0,0005
<b>Anthracene</b>	120-12-7	EPA 550.1	<0,0005	Fluoranthrene	206-44-0	EPA 550.1	<0,0005
<b>Benzo(a) anthracene</b>	56-55-3	EPA 550.1	<0,0005	Fluorene	86-73-7	EPA 550.1	<0,0005
<b>Benzo(a)pyrene</b>	50-32-8	EPA 550.1	<0,0005	İndeno(1.2.3-cd) pyrene	193-39-5	EPA 550.1	<0,0005
<b>Benzo(b)fluorantene</b>	205-99-2	EPA 550.1	<0,0005	Naphthalene	91-20-3	EPA 550.1	0,0215
<b>Benzo(ghi)perylene</b>	191-24-2	EPA 550.1	<0,0005	Phenanthrene	85-01-8	EPA 550.1	<0,0005
<b>Benzo(k)fluorantene</b>	207-08-9	EPA 550.1	<0,0005	Pyrene	129-00-0	EPA 550.1	<0,0005
<b>Crisen</b>	218-01-9	EPA 550.14	<0,0005				



Şekil 11. Muadil C18 Kartuş ile yapılan ön işleme sonucu alınan HPLC PAH Kromatogramı

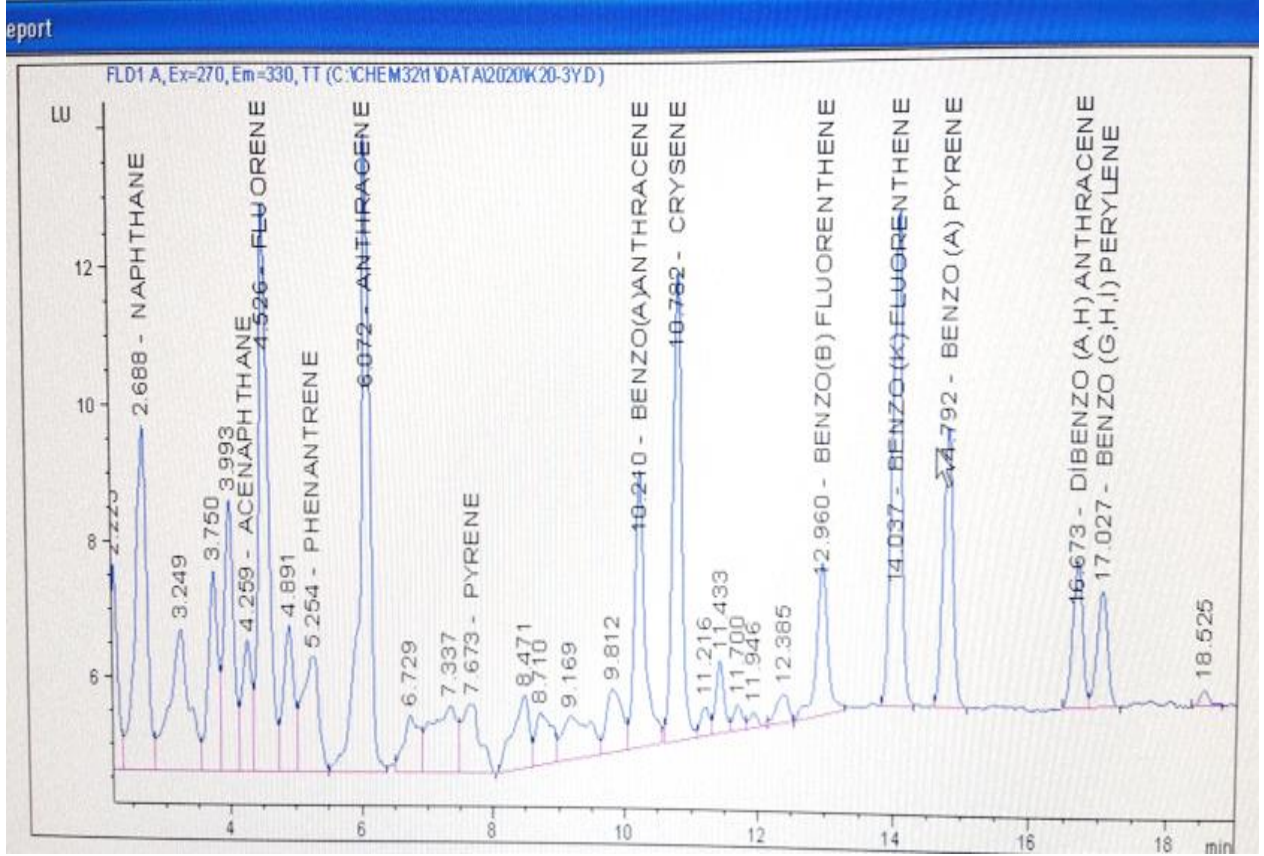


Şekil 12. n-oktadesilsilandan sentezlenen C18@SiO<sub>2</sub> ile yapılan ön işlem sonucu alınan HPLC PAH Kromatogramı



Şekil 13. n-oktadesiltrimetoksisilandan sentezlenen C18@SiO<sub>2</sub> ile yapılan ön işlem sonucu alınan HPLC PAH Kromatogramı





**Şekil 14.** n-oktadesiltrietoksisilandan sentezlenen C18@SiO<sub>2</sub> ile yapılan ön işlem sonucu alınan HPLC PAH Kromatogramı

#### 4. Sonuç

PAH giderimi için ticari olarak kullanılan ve ithal olarak ülkemize giren C18 kartuşlar yerine yeni absorbanlar tasarlandı ve sentezlendi. İlk olarak ticari olarak kullanılan C18 kartuşunun içeriği tespit edilmeye çalışıldı, daha sonra benzer özellikte yeni absorbanlar sentezlenmiştir. Sentezlenen ürünlerin, FT-IR, EDX, SEM, XRD ve HPLC cihazları ile karakterizasyonu yapıldı ve sentezlenen malzemelerin uygulaması DSİ 20. Bölge Müdürlüğü (Kahramanmaraş)/Gaziantep Karayolu Erkenez Mevki sularında PAH çalışmasında EPA 550-1 Metoduna göre kartuş olarak kullanıldı. Uygulama analizleri Ankara'da DSİ Laboratuvarları Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı Kimya Laboratuvarı Şube Müdürlüğünde yapıldı. Yapılan çalışmalar sonucunda sentezlenen ürünlerin ticari olarak satılan C18 kartuş ile benzer özellikler gösterdiği ve uygulama olarak yapılan PAH analizlerinde de etkili olduğu HPLC analiz sonuçlarında ortaya çıkmıştır.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları arasında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Tüm yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

## Teşekkür

Desteklerinden dolayı Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi BAP Birimine (Proje No: 2019/1-6 YLS ve ÜSKİM'e ve HPLC analizlerinden dolayı DSİ ye teşekkürlerimizi sunarız.

## Kaynaklar

- Alver E., Demirci A., Özcimder M. Polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve sağlığa etkileri. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2012; 3(1): 45-52.
- Demir E., Yalçın H. Adsorbentler: Sınıflandırma, özellikler, kullanım ve öngörüler. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi 2014; 7(2): 70-79.
- Demir İ., Demirbağ Z. Polisiklik aromatik hidrokarbonların biyolojik olarak parçalanması. Tr. J. of Biology 1999; 23, 293–302
- Eskalen H., Özgan Ş., Kerli S. Synthesis characterization of V2O5 nanoparticle and dispersion of them into nematic liquid crystal. Applied Physics A: Materials Science and Processing 2019; 125(12): 1–9
- Eskalen H., Özgan Ş., Okumuş M., Kerli S. Thermal and electro-optical properties of graphene oxide/dye-doped nematic liquid crystal. Brazilian Journal of Physics 2019; 49(3): 341–347.
- Hodgeson JW., Bashe WJ. Method 550.1 Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in drinking water by liquid-solid extraction and HPLC with coupled ultraviolet and fluorescence detection environmental monitoring systems laboratory office of research and development U.S. environmental protection agency cincinnati 1990; Ohio 45268.
- Kocuyigit A., Karteri İ., Orak I., Uruş S., Çaylar M. The structural and electrical characterization of Al/GO-SiO<sub>2</sub>/p-Si photodiode. Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures 2018; 103, 452–458.
- Mccool BA., Hill N., Dicarolo J., Desisto WJ. Synthesis and characterization of mesoporous silica membranes via dip-coating and hydrothermal deposition techniques. Journal of Membrane Science 2003; 218(1–2): 55-67.
- Urus S. Synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@SiO<sub>2</sub>@OSi(CH<sub>2</sub>)<sub>3</sub>NHRN(CH<sub>2</sub>PPH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>PdCl<sub>2</sub> type nanocomposite complexes: Highly efficient and magnetically- recoverable catalysts in vitamin K 3 synthesis. Food Chemistry 2016; 213, 336–343.
- Uruş S., Çaylar M., Karteri İ. Synthesis of graphene supported bis(diphenylphosphinomethyl)amino ligands and their Pd(II) and Pt(II) complexes: Highly efficient and recoverable nano-catalysts on vitamin K3 production. Chemical Engineering Journal 2016; 306, 961–972.
- Zhang D., Hegab HE., Lvov Y., Dale Snow L., Palmer J. Immobilization of cellulase on a silica gel substrate modified using a 3-APTES self-assembled monolayer. Springerplus. 2016; 5: 48.

Zubair RM., Karabörk M., Uruş S., Tümer M. Synthesis and characterization of graphene based hybrid ligands and their metal complexes: Investigation of chemosensor and catalytic properties. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials* 2018; 32: e4393.

## Bazı Atık Materyallerin Bina ve Tesis İçinde Gürültü Önlemede Kullanımının Araştırılması

Abdurrahman ACAR<sup>1</sup>, Olcayto KESKİNKAN<sup>2\*</sup>, Hasan Kıvanç YEŞİLTAŞ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Adana, Yüksek Lisans Öğrencisi

<sup>2</sup>Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-3747-267X>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-8995-756X>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0003-3331-3209>

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

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 17.06.2022

Kabul tarihi: 05.11.2022

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Gürültü

Gürültü kirliliği ve kontrolü

Çevre ve halk sağlığı

İş sağlığı ve güvenliği

Geri dönüşüm

### ÖZ

Bu çalışma; bina ve tesis içinde gürültü seviyelerinin düşürülmesi amacıyla kullanılan polistiren köpük, yumurta viyolu, poliüretan köpüğün gürültü engelleme kapasitelerini ortaya koymak üzere gerçekleştirilmiştir. Çalışmada; yapay olarak gürültülü bir ortam sağlanmış, gürültü kaynağı ile ölçüm cihazı arasında atık izolasyon malzemeleri kullanılmış, ortamda ölçümler yapılarak sonuçlar kaydedilmiş ve malzemelerin gürültü engellemedeki etki düzeyleri ortaya koyulmuştur. Araştırma sonuçlarına göre; 1 - 4 metre aralığındaki mesafelerde yapılan ses ölçümleri neticesinde polistiren köpük, yumurta viyolu ve poliüretan köpük kullanılarak ulaşılan en yüksek gürültü sönümlenme değerleri sırası ile 2,7 dB (A), 7,5 dB (A) ve 8,2 dB (A) olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla bu tür atık malzemelerin bina ve tesis içinde çalışanların gürültüden daha az etkilenmeleri, daha rahat ve sağlıklı bir ortamda çalışabilmeleri için izolasyon amacıyla kullanılabilmesi ve bu taktirde izolasyon için maliyet açısından da katkı sağlayabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

## Investigation of the Use of Some Waste Materials for Noise Prevention in the Building and Facility

### Research Article

#### Article History:

Received: 17.06.2022

Accepted: 05.11.2022

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Noise

Noise pollution and control

Environmental and public health

Occupational health and safety

Recycling

### ABSTRACT

This study was carried out to reveal the noise preventing capacities of polystyrene foam, egg tray and polyurethane foam used to reduce noise levels in the building and facility. In the study, an artificially noisy environment was provided, waste isolation materials were used between the noise source and the measuring device, the results were recorded by making measurements in the environment, and the effect levels of the materials on noise reduction were revealed. According to the research results; As a result of sound measurements made at distances between 1 - 4 meters, the highest noise reducing values achieved by using polystyrene foam, egg storage carton and polyurethane foam are 2.7 dB (A), 7.5 dB (A) and 8.2 dB (A), respectively. Therefore, it has been concluded that such waste materials can be used for isolation so that the employees in the building and facility are less affected by noise, and can work in a more comfortable and healthy environment, and in this case, it can also contribute to the cost of isolation.

**To Cite:** Acar A., Keskinan O., Yeşiltaş HK. Bazı Atık Materyallerin Bina ve Tesis İçinde Gürültü Önlemede Kullanımının Araştırılması. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 2332-2343.

## 1. Giriş

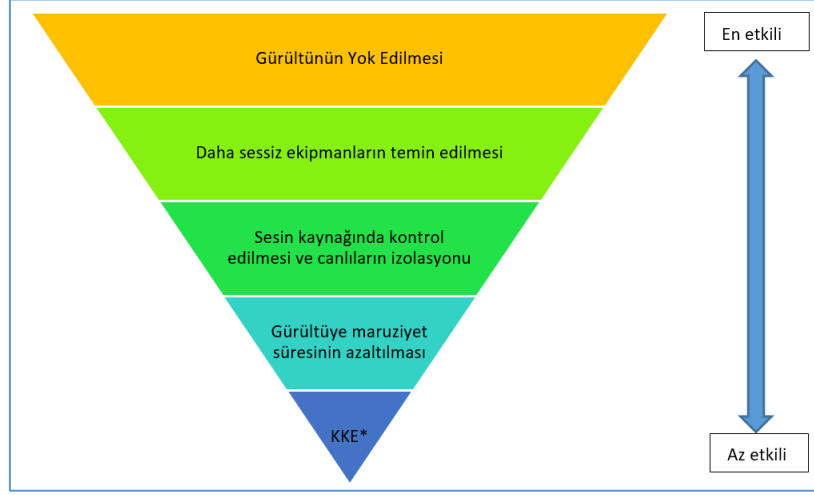
Gürültü; bir ortamda meydana gelen sesin, çevresinde yer alan canlıları rahatsız etmesi durumunda oluşan çevre kirliliği çeşididir. Dolayısıyla kaynağında oluşacak olan sesin bir canlıyı olumsuz olarak etkilemesi durumunda oluşan rahatsızlık durumu da gürültü kirliliği olarak adlandırılmaktadır (Vesilind ve ark., 2011). Arzu edilmeyen ses olarak nitelendirilen gürültü; yerleşim yerlerinden endüstriyel faaliyetlerin gerçekleştiği ortamlara veya ulaşım hizmetlerinden inşaat işlerine kadar birçok alanda günlük yaşam içerisinde karşımıza çıkmaktadır (Karpuzcu, 2009; Kılıç ve ark., 2020). Bir kaynaktan meydana gelen sesin ise gürültü sayılıp sayılmayacağı aynı ortamda bulunan kişiden kişiye göre değişebilmekte olup bu hususta ülkemizde, yasal mevzuatlarca ilgili sınır değerler belirlenmiştir (ÇGDYY, 2010; Sezgin ve ark., 2017).

Araştırmalar neticesinde insanların bulunduğu ortamlarda 60 dB (A) seviyesinin üzerindeki ses düzeyinde, canlıda fiziksel ve psikolojik rahatsızlıklar (uykusuzluk, baş ağrısı, yorgunluk, stres, hafıza kaybı vb.) meydana gelebilmektedir. Ayrıca 90 dB (A) seviyesinin üzerindeki sesin bulunduğu ortamlarda uzun süre kalınması durumunda ise sağrlık meydana gelebileceği bildirilmiştir. Gürültüye uzun süre maruz kalan insanlarda kalp hastalıkları meydana gelebilirken çocuklarda ise gürültüden kaynaklı olarak zekâ geriliği meydana gelebilmektedir (Kılıç ve ark., 2020; Xu ve ark., 2020; Kılıç ve ark., 2021; Baffoe ve ark., 2022). İş Sağlığı ve güvenliği hususunda ise özellikle endüstriyel faaliyetlerde çalışan personelin sağrlığının korunması amacıyla gerekli önlemlerin alınması gürültüden kaynaklı oluşacak olumsuzlukların önlenmesi açısından önem taşımaktadır (Soylu ve ark., 2016; Sevgi ve ark., 2021). Gürültü sadece insanlara zarar vermemekte olup karasal ve sucul diğer canlıları da olumsuz olarak etkilemektedir (Cansaran, 2019; Chahouri ve ark., 2021).

Bir kaynaktan oluşan gürültüyü azaltmak ya da maruz kalan canlıyı korumak için çeşitli gürültü kontrol yöntemlerinin uygulanması mümkündür. Bu metotlar arasında en etkin olanı kaynağında gürültüyü azaltacak yöntemlerdir. Eski teknolojinin yenisi ile değiştirilmesi, ekipmanın periyodik bakımlarının zamanında gerçekleştirilmesi gibi güncellemeler ile kaynağında gürültü azaltılabilmektedir. Gürültü kaynağının bulunduğu ortamda ses yayılımının azaltılması ise yaygın gürültü önleme yöntemlerinden birisidir. Bu kontrol sisteminin en yaygın tercihi gürültünün yayılımının engellenmesi ya da azaltılması amacıyla teşkil edilen gürültü önleyici bariyerler ya da duvarlar olmaktadır. Araçların düzenli olarak geçtiği otopanların etrafında teşkil edilen ağaçlar bu metoda örnek verilebilecek önleyici faaliyetler arasındadır. Gürültü kontrolünün sağlanması amacıyla kaynağında ya da gürültü kaynağının bulunduğu ortamda gürültünün önlenememesi ya da istenilen konfor koşullarına düşürülememesi durumunda ise bir diğer yöntem olan maruz kalan canlıların korunmasının sağlanması önemli bir husustur. Son gürültü önleme yöntemi olarak kabul edilebilen gürültüden etkilenenin korunması hususu ise özellikle endüstriyel faaliyet gerçekleştirilen işletmelerde ön plana çıkmaktadır. Kulak tıkaçları veya çeşitli kulak koruyucuları ile gerçekleştirilen bu önleme faaliyetleri ise her zaman mümkün olabilecek bir metot olmakla birlikte personelin tercih etmemesi gibi olumsuz bir durumu da bünyesinde barındırmaktadır. Bu tip durumlarda ise en uygun seçim gürültü kaynağının



yakınında bulunacak personelin temas süresinin azaltılması olmaktadır. Kaynağında gürültü kontrolünün sağlanması amacıyla teşkil edilmiş olan hiyerarşi şeması Şekil 1’de yer almaktadır (Karpuzcu, 2009; Vesilind ve ark., 2011; Dalkılıç ve ark., 2019; Anonim, 2022).



**Şekil 1.** Gürültü kontrolüne ait hiyerarşi şeması (\*: Kişisel Koruyucu Ekipmanlar)

Şekil 1’de yer alan hiyerarşi şemasında gürültünün önlenmesi amacıyla gerçekleştirilebilecek en etkili çözüm; gürültünün kaynağında yok edilmesi olup gerçekleştirilememesi durumunda ise kişisel koruyucu ekipman kullanımına kadar gürültü önleyici tedbirlerin uygulanması gerekmektedir. İlgili düzenlemelerin kontrol edilmesi ve uygulanması hususunda endüstriyel faaliyetlerde ilgili faaliyetin yönetimine görev düşmektedir. Ülkemizde ise gürültü kontrolü ve önlenmesi aşamasında gerekli yasal mevzuatlar yürürlükte bulunmaktadır (ÇGDYY, 2010; ÇGY, 2013; Sezgin ve ark., 2017).

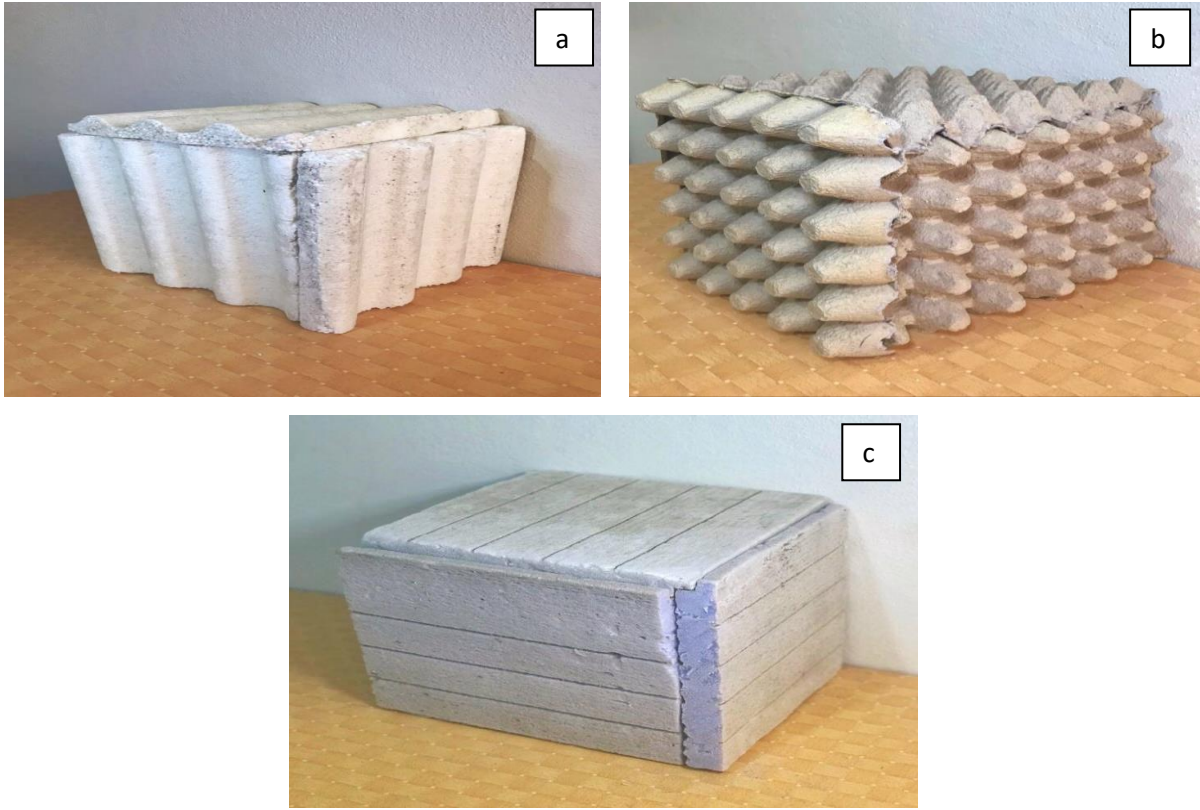
Ses yalıtımı söz konusu olduğunda; doğal liflerle yapılan çalışmalar neticesinde gözenekli malzemeler, ses yalıtımında gösterdiği performans ile iyi bir ses yalıtımı özelliğine sahiptir. Doğal liflerin akustiği özellikle homojen dağılım oranı, gözenek yapısı, hava akışı önemli bir faktördür. Mineral ve sentetik ses yalıtım malzemelerinin sağlık, çevre ve ekonomik açıdan zararlı olmaları doğal liflerle olan yönelişi arttıracığı bildirilmektedir. Teknolojik gelişmelerle birlikte artan çevre bilinci, insan sağlığı faktörü ve sürdürülebilirlik geleneksel ve doğal liflerin kullanımını yaygınlaştıracaktır. Böylelikle doğal ve geleneksel liflerin hem ısı yalıtımında hem de ses yalıtımında değerlendirilmesi mümkün olabilecektir (Kaya ve ark., 2017).

Bu çalışmada, poliüretan köpük, polistiren köpük ve yumurta viyölü olmak üzere üç adet atık materyal kullanılarak bu materyallerin iş yerleri ve fabrikalarda gürültü engelleme hususundaki potansiyel etkinlikleri araştırılmıştır. Bu amaç ile çalışmada söz konusu atık materyallerin yeniden kullanılabilirliği vurgulanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Çalışmada gürültü önleyici materyal olarak atık poliüretan köpük, atık polistiren köpük ve atık yumurta viyolü kullanılmıştır (Şekil 2). Ses seviyelerinin ölçümünde UNI-T marka BS06 model ses seviyesi ölçüm cihazı (desibelmetre) kullanılmıştır (Şekil 3). Desibelmetre ile çeşitli gürültü kaynaklarından meydana gelen ses seviyesi 40-130 dB (A) aralığında güvenilir bir şekilde tespit edilmektedir. Bu çalışmadaki gürültü kaynağı ise 90 dB (A) ses yayabilme kapasitesine sahip kablosuz bir hoparlördür. Tüm çalışmalar betonarme bir yapı içerisinde bulunan 5x5 m<sup>2</sup> alanında bir odada gerçekleştirilmiştir.



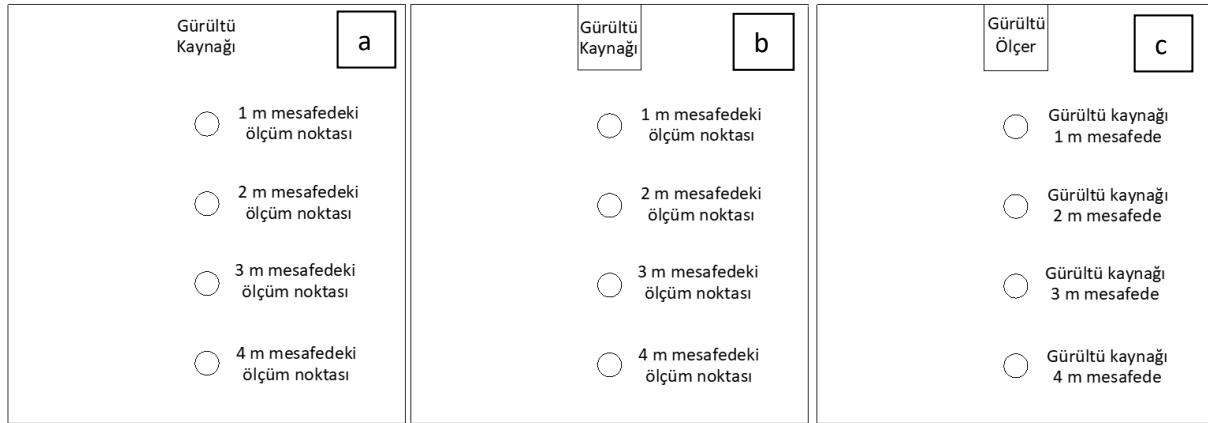
Şekil 2. Bu çalışmada kullanılan atık materyallerin deney ortamındaki görüntüleri (a: poliüretan köpük, b: yumurta saklama viyolü, c: polistiren köpük)



Şekil 3. Çalışmada kullanılan ses seviyesi ölçüm cihazı

## 2.2. Metot

Çalışmada oluşturulan gürültünün kaynağı; akıllı telefonda açılan müzik sesi olup müzik sesinin kaynağında ölçülen gürültü yoğunluğu, desibel dB (A) cinsinden en düşük 75,2 ve en yüksek 82,3'dür. Ölçümler, bu çalışmada kullanılmış olan her bir materyal için üç farklı metotla ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Bu metotlardan ilki (kontrol grubu, malzeme kullanılmadan gerçekleştirilen ortam ses ölçümleri), kablosuz hoparlör ile gürültünün oluşturulmasını takiben gürültü önleyici herhangi bir materyal kullanılmadan oluşan sesin ölçümüdür (Şekil 4-a). Bir sonraki ölçüm ise gürültü kaynağının ayrı ayrı üç farklı materyal ile kapatılması neticesinde yapılmıştır (Şekil 4-b). Son olarak ses ölçer bu çalışmada kullanılmış olan materyallerin içine alınarak gürültü ölçümleri tamamlanmıştır (Şekil 4-c). Her bir çalışma setinde gerçekleştirilmiş olan gürültü ölçümleri, gürültü kaynağından 1,2,3 ve 4 m uzaklaşarak iki tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada uygulanan yöntemin şematik gösterimi Şekil 4'de yer almaktadır.



**Şekil 4.** Çalışmada uygulanan yöntemin şematik gösterimi (a: kontrol, b: gürültü kaynağı malzeme ile kapatıldığında, c: gürültü ölçer malzeme ile kapatıldığında)

## 3. Bulgular ve Tartışma

Poliüretan köpük, polistiren köpük ve yumurta viyolünün kullanılması neticesinde üç farklı şekilde gerçekleştirilmiş olan ses ölçümlerine ait gürültü değerleri Tablo 1'de yer almaktadır. Tablo 1'de ayrıca mesafelere göre ölçüm sonuçları ile birlikte her bir ölçüm için tespit edilen en az ve en fazla ölçüm değerleri de verilmiştir.

Tablo 1 incelendiği zaman polistiren köpük malzeme kullanıldığında ses kaynağına 1 m mesafede gerçekleştirilmiş olan gürültü ölçümlerinin en yüksek değerleri arasında 4,3 dB (A)'lik fark olduğu görülmektedir. Poliüretan köpük malzeme ve yumurta viyölü kullanıldığında ise bu farkın sırasıyla 1,0 dB (A) ve 1,8 dB (A) olduğu görülmektedir. Bu farklılıkların, çalışma ortamına dış ortamdan (cadde, sokak gürültüsü vs.) gelen gürültülerden izole bir ortamda çalışılmaması sebebiyle meydana geldiği

düşünülmektedir. Aynı mesafede gerçekleştirilmiş olan diğer ortam gürültüsü (kontrol grubu) ölçümleri ise birbirlerine yakın bulunmuştur.

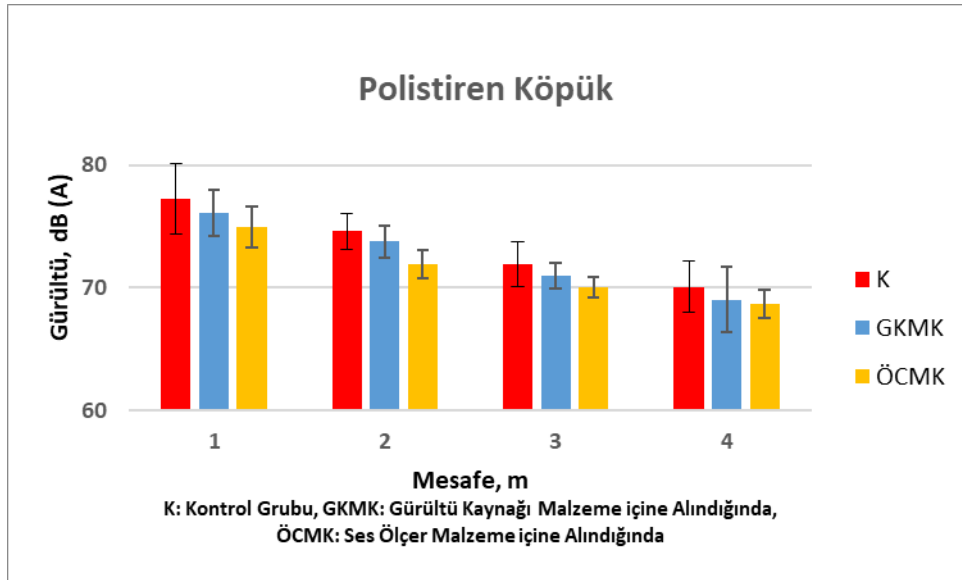
**Tablo 1.** Üç farklı materyal kullanılarak tespit edilen ses ölçüm sonuçları

Materyal ve Ölçüm Şekli	Ölçüm Mesafesi, m	Gürültü Ölçüm Değerleri, dB (A)			
		1. ölçüm		2. ölçüm	
		En yüksek	En düşük	En yüksek	En düşük
<b>Polistiren Köpük</b>					
Kontrol Grubu	1	81,4	75,4	77,1	75,2
	2	75,4	72,6	76,0	74,4
	3	72,8	69,4	73,6	71,9
	4	70,6	68,5	72,8	68,4
Gürültü kaynağı polistiren köpük içine alındığında	1	77,3	74,6	78,2	74,5
	2	74,1	72,7	75,5	72,8
	3	71,8	69,5	70,9	71,8
	4	71,1	66,4	71,5	67,1
Desibelmetre polistiren köpük içine alındığında	1	75,2	73,6	77,2	73,8
	2	72,6	70,5	73,0	71,5
	3	71,2	69,4	70,3	69,5
	4	70,4	68,0	68,1	68,3
<b>Poliüretan Köpük</b>					
Kontrol Grubu	1	81,3	78,9	82,3	81,3
	2	80,4	78,0	80,2	79,2
	3	79,9	77,1	78,9	76,5
	4	76,9	74,9	76,9	74,4
Gürültü kaynağı poliüretan köpük içine alındığında	1	75,4	73,3	75,1	74,8
	2	74,7	71,1	73,7	73,6
	3	72,5	69,8	71,5	68,4
	4	70,7	68,5	69,2	66,2
Desibelmetre poliüretan köpük içine alındığında	1	75,5	72,8	75,6	74,5
	2	73,5	71,1	74,5	72,2
	3	72,3	69,8	72,2	69,9
	4	70,3	68,4	71,8	67,5
<b>Yumurta Viyölü</b>					
Kontrol Grubu	1	79,6	75,9	77,8	76,9
	2	74,5	72,6	74,1	72,4
	3	73,3	71,9	71,5	69,9
	4	70,8	68,1	70,7	68,9
Gürültü kaynağı poliüretan köpük içine alındığında	1	74,8	72,2	76,0	71,7
	2	70,1	65,1	72,8	68,9
	3	68,5	64,7	70,1	68,7
	4	67,5	60,7	66,4	62,7
Desibelmetre poliüretan köpük içine alındığında	1	76,2	71,8	73,9	71,1
	2	72,8	71,2	71,4	71,0
	3	72,1	68,1	69,5	66,4
	4	71,3	66,1	67,7	64,4

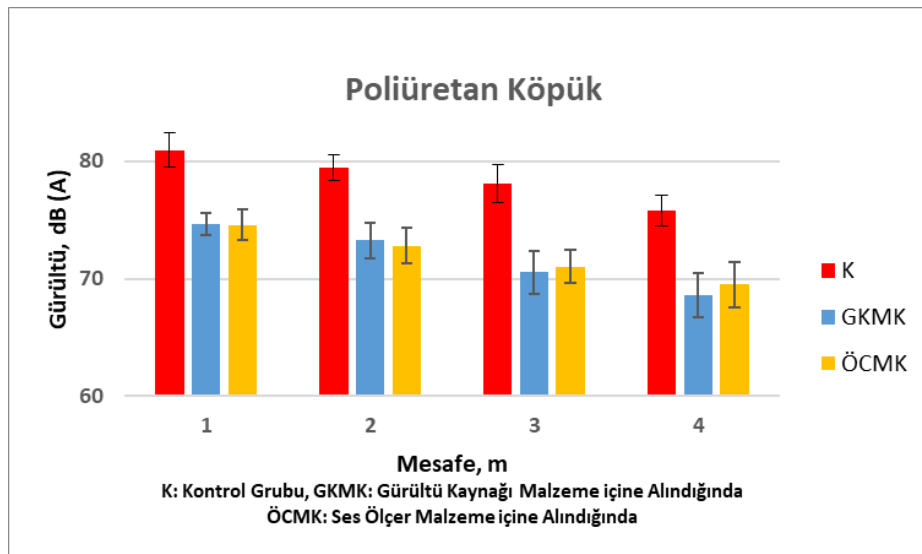
Bu çalışmada kullanılan üç adet materyale ait bulguların gösterildiği Tablo 1 incelendiği zaman, ses kaynağından uzaklaştıkça beklendiği gibi ölçülen gürültü değerinin azaldığı görülmektedir. Bu çalışmada kullanılmış olan üç materyalin birbirleri ile karşılaştırılması neticesinde hem gürültü kaynağının ilgili materyal içine alınması aşamasında hem de desibelmetrenin malzeme içine alınması aşamasında poliüretan köpük malzemesinin diğer iki malzemeye göre daha verimli olduğu anlaşılmıştır. Yumurta viyölünün ise polistiren köpüğe göre daha fazla ses engellediği tespit edilmiştir.

Gürültü kaynağının polistiren köpük, poliüretan köpük ve yumurta viyolü içine alınması neticesinde 1 m uzaklıkta yapılmış ses ölçümlerinde sırası ile 0,8 dB (A), 7,2 dB (A) ve 4,8 dB (A)'lik sönümleme gerçekleştirilmiştir. Ölçüm mesafesinin 4 m mesafeye arttırılması neticesinde ise sırası ile 2,1 dB (A), 8,2 dB (A) ve 7,4 dB (A)'lik sönümleme değerlerine ulaşılmıştır.

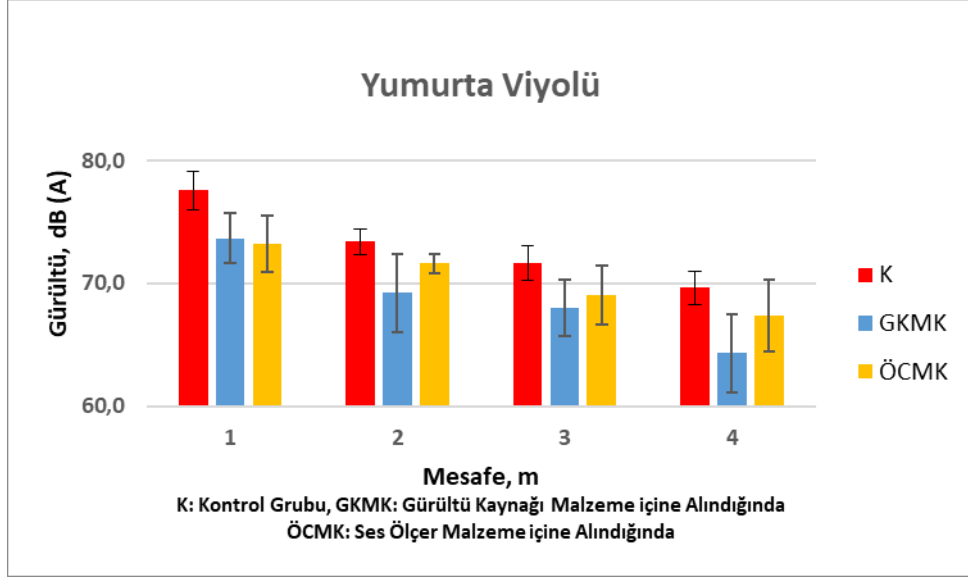
Ses ölçerin polistiren köpük, poliüretan köpük ve yumurta viyolü içerisine konulması neticesinde 1 m mesafede gerçekleştirilen gürültü ölçümlerinde ise sırası ile 1,8 dB (A), 6,8 dB (A) ve 5,8 dB (A)'lik sönümleme değerlerine ulaşılmıştır. Ayrıca 4 m uzaklıkta gerçekleştirilen ses ölçümlerinde sırası ile 0,5 dB (A), 6,9 dB (A) ve 4,5 dB (A)'lik sönümleme değerlerine ulaşan dB (A) değerinde azalma tespit edilmiştir. Tablo 1'de yer alan gürültü ölçümü değerleri ve standart sapma hesaplamaları sonuçlarına göre oluşturulmuş olan hata çubuklarının yer aldığı histogramlar Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'da yer almaktadır.



Şekil 5. Polistiren köpük kullanılarak tespit edilen ölçüm değerleri



Şekil 6. Poliüretan köpük kullanılarak tespit edilen ölçüm değerleri



**Şekil 7.** Yumurta viyölü kullanılarak tespit edilen ölçüm değerleri

Çınar (2006), yaptığı çalışmada polimer dış plastik ve hijyenik kulak pedi arasında konumlandığı yumurta viyölü ve geri dönüştürülmüş elyaf malzeme kullanarak ürettikleri kulaklık ile en yüksek ses sönümlenme değerinin 21,0 dB olduğunu en az ise 19,0 dB değerinde ses azalımı gerçekleştiğini belirtmiştir. Ayrıca araştırmacı balon patlatma sesi (beyaz gürültü) kullanarak bir oda içerisinde yer alan 15 farklı noktadan ses ölçümü yaparak ilgili çalışmayı gerçekleştirmiştir (Çınar, 2016). Setiyowati ve ark. (2015), ise yumurta tepsisi kağıdı kullanarak 1x1x0,6 m<sup>2</sup> hacminde inşa ettikleri bir oda da pembe gürültü sesi kullanarak gerçekleştirmiş oldukları çalışmada 22,0-26,0 dB arasında gürültü değerinde azalma tespit etmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar bina içerisinden ölçüm yaparak gürültü kaynağını bina dışına 5 m mesafeye yerleştirerek çalışmışlardır (Setiyowati ve ark., 2015). Vilniškis ve ark. (2020), yarı yankısız çift duvarla ayrılmış olan iki odadan oluşan bir ortamda üçte bir oktav frekans bant filtresi ile en az 60 s olacak şekilde ses ölçümleri gerçekleştirmiştir. Araştırmacılar akustik malzeme ile kaplı boşluklu, kanatlı panjur malzeme ile materyalin 15 mm kalınlığında cam yünü ile kaplanması durumunda 10,8-12,5 dB değerleri arasında gürültü sönümlenmesi tespit etmişlerdir (Vilniškis ve ark., 2020). Tablo 2’de ise araştırmacıların gerçekleştirmiş oldukları çalışmalar ile bu çalışmaya ait çalışma koşulları ve en yüksek ses sönümlenme değerleri yer almaktadır. Dünya’nın her bölgesinde atık materyal olarak karşılaşılan yumurta viyölünün, boşluklu yapısından ve atık kağıt ve atık kartonların kimyasal işlemler görmesi neticesinde kurutulmuş elde edilmesinden kaynaklı olarak çeşitli çalışmalarda tercih edildiği görülmektedir. Ayrıca basit ses yalıtım sistemlerinde de yumurta viyölü kullanılmaktadır. Gürültünün sönümlenmesinde ise malzemenin boşluklu yapısının artması neticesinde ile gürültü malzeme içerisinde yer alan boşluklar vasıtasıyla azaltılmaktadır (Setiyowati ve ark., 2015; Çınar, 2016).

**Tablo 2.** Diğer araştırmacılar ve bu çalışmada tespit edilen en yüksek ses sönümleme değerleri

Çalışma	alışma Koşulları	Kullanılan Materyal	ENSD*
ınar, 2006	Polimer dış plastik ve hijyenik kulak pedi arasında konumlandırılarak çalışılmıştır.		
	lmler, 3 Dio marka Free Space Pro model binaural mikrofon kullanılarak dBmeter programı ile lmlmştr. Balon patlatma sesi (beyaz gürültü sesi) kullanarak gürültü oluşturulmuştur.	Yumurta viyolü ve geri dönüştürülmüş elyaf	21,0 dB
Setiyowati ve ark., 2015	Bir oda içerisinde 15 farklı noktada gürültü ölümü gerçekleştirilmiştir. 1x1x0,6 m <sup>3</sup> hacminde tuğla duvardan inşaat ettikleri bina modeli ile çalışmışlardır. Araştırmacılar tuğla duvarı sıvayarak seramik fayans dşemişlerdir. Ayrıca asbes tavan ve ahşap çatılı bir yapı oluşturmuşlardır.		
	SLM Rion NL-31 model gürültü ölçer ile çalışmışlardır. Pembe gürültü sesi kullanarak gürültü oluşturulmuştur. Araştırmacılar gürültü limlerini gürültü kaynağı binadan 5 m uzakta iken yapının içinden gerçekleştirmişlerdir.	Yumurta viyolü	26,0 dB
Vilnişkis ve ark., 2020	Yarı yankısız çift duvarla ayrılmış olan iki odadan oluşan bir ortamda çalışılmıştır.		
	Bruel&Kjaer lm cihazı kullanılmıştır. te bir oktav frekans bant filtresi ile en az 60 s olacak şekilde limleri gerçekleştirilmiştir. Gürültü kaynağı bir odada teşkil edilirken ses ölçer diğer oda da bulunmaktadır.	15 mm kalınlığında cam yn ile kaplanmış kanatlı panjur	12,5 dB
Bu alışma	Betonarme bir bina içerisinde yer alan 5x5 m <sup>2</sup> alanında bir odada gerçekleştirilmiştir. UNI-T BS06 model ses ölçer kullanılmıştır. 75,2 ila 82,3 dB (A) aralığında müzik sesi kullanılmıştır. Gürültü kaynağı ve ses ölçer arasında 1,2,3 ve 4 m mesafe olacak şekilde limler gerçekleştirilmiştir.	Gürültü kaynağı polistiren köpük içine alındığında	2,7 dB (A)
		Gürültü kaynağı poliüretan köpük içine alındığında	8,2 dB (A)
		Gürültü kaynağı yumurta viyolü köpük içine alındığında	7,5 dB (A)
		Desibelmetre polistiren köpük içine alındığında	2,9 dB (A)
		Desibelmetre poliüretan köpük içine alındığında	7,6 dB (A)
		Desibelmetre yumurta viyolü köpük içine alındığında	5,8 dB (A)

\*ENSD: En yüksek sönüm değeri

Tablo 2 incelendiği zaman, ınar (2006), yumurta viyoln yalnız başına gürültü önlemede kullanmamış olup geri dönüştürülmüş elyaf, polimer materyal ve kulak pedi ile birlikte değerlendirerek kulaklık elde etmiştir. Bu yüzden araştırmacının elde ettiği sönümleme değerlerinin bu çalışmada elde edilmiş olan değerlerden daha fazla sönümleme gerçekleştirmesi beklenen bir bulgu olarak karşımıza çıkmaktadır. Benzer şekilde, Setiyowati ve ark. (2015) tuğla materyalden inşa ettikleri yapının i yüzeylerini yumurta viyolü ile kaplayarak binanın malzemelerini ses engelleyici bariyer niteliğinde kullandığı için elde ettikleri sönümleme değerleri bu çalışmada elde edilen değerlerden daha yüksektir. Vilnişkis ve ark. (2020), da kentsel gürültünün engellenmesi amacıyla araştırmalarını cam yn ile kaplanmış panjur malzeme ile gerçekleştirmiştir. Araştırmacı birden fazla

katman kullandığı için yine bu çalışmada elde edilen sönümlenme değerlerinden daha fazlasını elde etmiştir. Bu çalışmada elde edilen sönümlenme değerlerinin diğer çalışmalarda elde edilen sönümlenme değerlerinden daha düşük çıkması, atık bir materyal olan polistiren köpük, poliüretan köpük ve yumurta viyolünün tek başına, başka bir malzemenin yardımı olmadan kullanılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

#### **4. Sonuç**

Özellikle sanayi ve endüstriyel alanlarda, evlerde ve çevrede karşılaşılan gürültü hayat kalitemiz açısından sorunlar yaşamamıza neden olmaktadır. Gürültüyü engellemek için çeşitli yalıtım malzemeleri arasında atık malzemeler de kullanılabilir. Dünyada atık malzemeler her geçen gün çeşitli yöntemler ile geri kazanılmaktadır. Bu çalışmada gürültü sönümlenme denemeleri için kullanılan atık polistiren köpük, atık poliüretan köpük ve atık yumurta viyolu kullanılmıştır. Bu atık malzemeler kullanılarak belli mesafelerde yapılmış olan ses ölçümlerinde ulaşılan en yüksek gürültü sönümlenme değerlerine bakıldığında en etkili malzemenin poliüretan köpük malzeme olduğu görülmüştür. Polistiren köpüğe kıyas ile yumurta viyolünün gürültü önlemede daha verimli olduğu anlaşılmıştır.

Denemesi yapılan her malzemenin birden fazla tabaka kullanılarak yeniden çalışılması ile ses sönümlenme değerinin artırılabilceği düşünülmektedir. Bu çalışmada kullanılan atık materyallerin tekrar değerlendirilmesinin mümkün olabileceği ve canlı sağlığı için olumsuz bir etmen olan gürültünün bu materyaller sayesinde azaltılmasının mümkün olduğu görülmektedir. Daha ileri düzeydeki çalışmalarda, bu çalışmada kullanılan materyaller kullanılarak yeni bir kompozit materyal elde edilebilir ve bunun gürültü önleme etkisi araştırabilir. Denemeler daha farklı alanlarda (sanayi, endüstriyel ve çevre vb.) tekrarlanabilir ve gürültü seviyesi daha yüksek ortamlarda deneyler yapıp bu çalışma ile karşılaştırılabilir.

#### **Teşekkür**

Bu çalışmada bize uygun koşulları ve imkânları sağlayan Çukurova Üniversitesi'ne ve çalışma esnasında desteğini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Sait Bardakçı'ya teşekkür ederiz.

#### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

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

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.



## Kaynakça

- Anonim. Reducing noise exposure: noise controls, <https://www.cdc.gov/niosh/topics/noise/reducenoiseexposure/noisecontrols.html>. Erişim tarihi: 11.06.2022.
- Baffoe PE., Duker AA., Senkyire-Kwarteng EV. Assessment of health impacts of noise pollution in the Tarkwa Mining Community of Ghana using noise mapping techniques. *Global Health Journal* 2022; 6: 19-29.
- Cansaran D. Gürültü kirliliği düzeyini belirlemeye yönelik bir çalışma: Amasya ili örneği. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi* 2019; 74(1): 89-108.
- Chahouri A., Elouahmani N., Ouchene H. Recent progress in marine noise pollution: A thorough review. *Chemosphere* 2021; 132983.
- ÇGDYY. 04.06.2010 tarihli ve 27601 sayılı resmi gazetede yayımlanmış olan Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği, <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=14012&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5.>, 2010.
- ÇGY. 28.07.2013 tarihli ve 28721 sayılı resmi gazetede yayımlanmış olan Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik, <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=18647&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5.>, 2013.
- Çınar U. Geri dönüşüm materyallerinin kişisel koruyucu kulaklıklarda kullanılabilirliğinin incelenmesi. İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 2016.
- Dalkılıç E., Dursun Ş. Konya gürültü kirliliği ve eylem planlarının yorumlanması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2019; 7(2): 38-51.
- Karpuzcu M. Çevre kirlenmesi ve kontrolü. Kubbealtı Yayıncılık, İstanbul, 2009.
- Kaya Aİ., Dalgar T. Ses yalıtımı açısından doğal liflerin akustik özellikleri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2017; Özel Sayı 1: 25-37.
- Kılıç MY., Adalı S. Pazar yerinde gürültü kirliliğinin belirlenmesi: Bursa ili örneği. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi* 2020; 11(3): 1421-1430.
- Kılıç MY., Adalı S. İlkokul çevresinde gürültü kirliliğinin belirlenmesi: Bursa ili örneği. *Journal of the Institute of Science and Technology* 2020; 10(3): 1607-1615.
- Kılıç MY., Dindar G., Adalı S. Eğlence yerlerindeki gürültü kirliliğinin çevresel etkileri. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering* 2021; 26(1): 143-152.
- Sezgin S., Mutlu A. Ülkemizde gürültü farkındalığı sorunu: Şişli örneği. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 2017; 19(2): 725-741.
- Setiyowati E., Nasrullah I. The potency of waste paper “Egg Tray” as a noise-reduction material. In *Applied Mechanics and Materials*. Trans Tech Publications Ltd. 2015; 747: 246-249.

- Sevgi A., Ercan K., Yaşar E. Kapalı alanlarda yoğun gürültü ve titreşim altında çalışan kişilerin kardiyovasküler davranışlarının analizleri. *Medical Sciences* 2021; 16(2): 90-105.
- Soylu M., Gökkuş Ö. Endüstriyel kaynaklı gürültü kirliliğinin araştırılması ve bir tekstil fabrikasında uygulama örneği. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi* 2016; 32(2): 1-7.
- Vesilind PA., Morgan SM., Heine LG. Çevre mühendisliğine giriş, Çeviri Editörü: Prof. Dr. İsmail TORÖZ, Nobel Yayıncılık, Yenimahalle, Ankara 2011.
- Vilniškis T., Januševičius T., Baltrėnas P. Case study: Evaluation of noise reduction in frequencies and sound reduction index of construction with variable noise isolation. *Noise Control Engineering Journal* 2020; 68: 199-208.
- Xu C., Yiwen Z., Cheng B., Li L., Zhang M. Study on environmental kuznets curve for noise pollution: A case of 111 Chinese cities. *Sustainable Cities and Society* 2020; 63: 102493.

## Yüksek Öğretimde Sıfır Atık Yönetimi Algısı: Kimya Bölümü Öğrencileri Üzerine Bir Uygulama

Gülizar HOŞTEN<sup>1\*</sup>, Necla DALBAY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Aydın Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu, Sosyal Hizmetler Bölümü, 34290, İstanbul

<sup>2</sup>İstanbul Aydın Üniversitesi, Anadolu Bil Meslek Yüksek Okulu, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, İstanbul

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-7290-3936>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-3109-368X>

\*Sorumlu yazar: gulizarhosten@aydin.edu.tr

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 26.10.2022

Kabul tarihi: 08.03.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Sürdürülebilirlik

Sıfır atık

İş sağlığı ve güvenliği

Kimya bölümü

### ÖZ

Tüm dünyada doğal kaynakların korunması, insan sağlığına ve çevreye zararlı materyallerin kullanımının ortadan kaldırılması veya sınırlandırılmasının yanı sıra üretilmiş materyallerin tekrar kullanılması için çeşitli projeler yürütülmektedir. Çevre projelerinin üretilmesi, uygulanabilmesi ve toplumla bütünleştirilebilmesinde en önemli rollerden birini üniversiteler üstlenirler. Ülkemizde pek çok üniversite yerleşkesinde sıfır atık çalışmaları yürütülmektedir. Bu çalışmanın ana amacı iş sağlığı ve güvenliği kapsamında çevre güvenliğini tehdit eden katı atıkların azaltılması ve geri dönüştürülmesi farkındalığının üniversitelerin kimya bölümü öğrenci ve akademik personelinin algısı ile ortaya koymak ve üniversiteler arasında farklılık olup olmadığını tespit etmektir. Çalışmada politika, süreç ve uygulamaları analiz etmek için üç ifade kullanılmıştır. Bunlar sırasıyla, “Kampüste sıfır atık amaçlanmaktadır ve bunun için herkesin uyduğu politikalar bulunmaktadır” (İ1), “Atıklar (okunmuş gazete, kullanılmış kâğıt, metal kutudaki içecekler, laboratuvarlarda kırılan cam malzemeler gibi) toplama yerlerine bırakılmaktadır” (İ2) ve “Kampüste katı atıkların azaltılması/tekrar kullanılabilen malzemelerin tercih edilmesi için sürekli girişimler olmaktadır (kâğıt bardak yerine bardağını getirene daha uygun içecek satılması gibi)” (İ3). Toplanan verilere tanımlayıcı istatistiksel analizler yapılmış ve tüm katılımcılar açısından yerleşkelerinde katı atıklarla ilgili politikaların bulunmasına rağmen girişimlerde eksikler olduğunu düşündükleri görülmüştür. Üniversiteler arasında katı atık bilinci açısından fark olup olmadığı tek yönlü varyans analizi ile değerlendirilmiş ve üniversiteler arasında akademik personel açısından fark olmadığı ama öğrenci katılımcılar açısından fark olduğu hesaplanmıştır. Ülkemizin en çok tercih edilen ilk on üniversitesinin dördünde yürütülen bu çalışmada uluslararası parametreler kullanılarak ölçülen çevre bilinci ve sürdürülebilirlik performansları ülke ortalamasının çok üstünde olmasına rağmen hem öğrencilerin hem de akademik personelin yapılan çalışmaları sadece ortalama olarak değerlendirdikleri hesaplanmıştır. Bu durum üniversitemizin gelecekte sıfır atık kapsamında yapacakları uygulama ve gözden geçirme çalışmalarını için umut vermektedir.

### Zero Waste Management in Higher Education: A Study on Chemistry Students

#### Research Article

#### Article History:

Received: 26.10.2022

Accepted: 08.03.2023

Published online: 04.12.2023

#### ABSTRACT

Numerous initiatives are carried out globally to preserve natural resources, recycle produced materials, and stop using toxic substances that endanger the environment and human health. One of the most significant roles in the creation, execution, and social integration of environmental projects is played

---

**Keywords:**

Sustainability  
Zero waste  
Occupational health and safety  
Department of chemistry

by universities. Zero waste studies are carried out on many university campuses in our country. The main purpose of this study is to determine the awareness of the reduction and recycling of solid wastes that threaten environmental safety within the scope of occupational health and safety with the perception of the students and academics of the chemistry departments of universities and to determine whether there is a difference between universities. Three statements were used to analyze the study's policy, process, and practices. The first expression is "zero waste is aimed and followed by everyone" (İ1). The second expression is "that wastes are collected at certain places" (İ2). The third expression is "on campus, there are ongoing efforts to cut back on solid waste and favor reusable items" (İ3). Descriptive statistical analyses revealed that all participants thought there were deficiencies in the initiatives despite the presence of policies regarding solid waste. Descriptive statistical analyze revealed that all participants thought that there were deficiencies in the initiatives despite the presence of policies regarding solid waste. As a result of one-way ANOVA, there was no difference between universities in terms of academic staff, but there was a difference in terms of student participants in terms of solid waste awareness. This study, which was conducted in four of the top ten most preferred universities in our country, calculated that although the environmental awareness and sustainability performances measured using international parameters were well above the national average, both students and academic staff evaluated the studies carried out only as average. This situation gives hope for the future studies of our universities.

---

**To Cite:** Hoşten G., Dalbay N. Yüksek Öğretimde Sıfır Atık Yönetimi Algısı: Kimya Bölümü Öğrencileri Üzerine Bir Uygulama. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(3): 2344-2360.

## 1. Giriş

Bilimsel ve profesyonel çalışma alanlarının sürdürülebilir olması için çalışma şartlarının analiz edilerek çalışma koşullarının çalışanların sağlık ve mutlulukları üzerindeki etkilerinin artırılması, yürütülen işin tehlike ve risk etmenlerinin azaltılarak bu etmenlerin etkinliğinin ölçülmesi İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) olarak tanımlanmaktadır (Anonim, 2014).

Uluslararası sözleşmeler doğrultusunda 20.06.2012 tarihinde kabul edilen İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (Anonim, 2012) ile kuruluşların faaliyetlerini gerçekleştirdiği çevre tehlike ve riskler açısından güvence altına alınmıştır. İSG kapsamında çevre yönetimi ile çalışma ortamlarının daha sağlıklı olması için tehlike yaratan iş süreçlerinin yanı sıra iş ekipmanları da belirlenerek havaya, suya ve toprağa karışan kirliliklerin ortadan kaldırılması veya azaltılması böylece bu ortamlarla sürekli etkileşimde olan çalışanların ve doğal kaynakların korunmasını amaçlanmaktadır.

Ülkemizin Avrupa Birliği (AB) çevre mevzuatına uyum çalışmaları kapsamında mevzuatımızda kanun, yönetmelik ve politikalar ile üretimde verimliliğin artırılması, atık miktarının azaltılması, kullanılan kaynakların etkinliği, doğal kaynakların korunması ve sürdürülebilirliği İSG sağlanarak maliyetlerin düşürülmesi açısından son derece önemlidir (Anonim, 2010).

AB Çevresel Eylem Planları çerçevesinde Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü (IPPC) ve Çevre Etki Değerlendirmesi (ÇED) Yönetmeliği kapsamında atıkların ayrıştırılması, geri kazanımı, geri kazanımı mümkün olmayan atıkların çevreye vereceği zararın en aza indirilerek bertaraf edilmesi, bu konuda kurumların politikalar üreterek halkı bilinçlendirmek amacıyla eğitmesi ve bilgilendirmesi yasal zorunluluktur (Anonim, 2014).

### *1.1. Sıfır Atık Yönetimi*

Tüm dünyada sanayi ve teknolojik gelişmelerin yanı sıra nüfusun hızlı artışı doğaya dolayısı ile insan yaşamına verilen zararın boyutlarını çok genişletmiş ve tüm ülkeleri önlem almak zorunda bırakmıştır. Gezegenimizdeki kaynakların sınırlı olması ve bu kaynakların sürdürülebilir olması ihtiyacı ve hatta zorunluluğu nedeniyle sıfır atık stratejisinin alternatifi olmadığı felsefesi ile hareket eden AB'nin yanı sıra tüm dünyada ülkeler kendi sıfır atık projelerini üretmeye başlamışlardır. Ülkemizde de özellikle son yıllarda bu konuda çalışmalar yapılmaya, bazı önlemler alınmaya başlanmıştır.

Sıfır atık, insan sağlığını veya çevreyi tehdit eden ambalaj ve üretim malzemelerinin yanmadan ve toprağa, suya veya havaya boşaltılmadan malzemelerin sorumlu üretimi, tüketimi, tekrar kullanımı ve geri kazanımları yollarıyla tüm kaynakların korunması olarak tarif edilir (URL1, 2021).

2019 yılında çıkartılarak yürürlüğe giren Sıfır Atık Yönetmeliğinin amacı, sıfır atık yönetim sisteminin kurularak, ülkemizde bulunan hammadde ve doğal kaynakların sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda yönetilmesi ve ortaya çıkan atıkların insan sağlığının yanı sıra çevreye vereceği zararların da azaltılarak kaynakların korunmasının sağlanması, tüm kurum ve kişilerin bu süreçlere dahil edilmesi, sistemin geliştirilmesi ve yaygınlaşması için çalışmalar yapılmasını sağlamaktır (Anonim, 2019).

2021 Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları Eylem Ödülü'nü alan ülkemizde sıfır atık projelerinin gelişmesi ve yaygınlaşabilmesi amacıyla her kesimden ve her yaşta insanı merkezine alabilecek farklı sosyal projeler yapılmaktadır. Sürdürülebilir Yaşam Film Festivali, Atıksız Sofra Atıksız Dünya, Sıfır Atık Temalı "Çocuk Yetenek Şenliği", Yeşil Ekonomi Yolunda Sıfır Atık temalı "10.Tüm Yönleriyle Atık Paneli" bunlara verilebilecek örneklerdendir (URL2, 2021).

Ülkemiz, çevrenin ve insan sağlığının korunması, ürünlerin tekrar kullanılması, atıkların doğru toplanması, geri dönüştürülmesi ve doğru biçimde imha edilmesinin sağlanması için yıllardır mücadele etmektedir. Bu amaçla yerli ve yabancı birçok organizasyona da ev sahipliği yapmaktadır. Dünya Kaynakları Enstitüsü (DKE) (World Resources Institute/ WRO), Türk Plastik Sanayicileri Araştırma Geliştirme ve Eğitim Vakfı (PAGÇEV), Çevre Koruma ve Ambalaj Atıkları Değerlendirme Vakfı (ÇEVKO), Tüketici ve Çevre Eğitim Vakfı (TÜKÇEV), Atık Kâğıt ve Geri Dönüşümcüler Derneği (AGED), Deniz Temiz Derneği (TURMEPA) bunlara örnek olarak gösterilebilir.

Bilgen ve Yaylagülü (2020) Mersin Üniversitesinde tehlikeli atıkların yönetim sisteminin geliştirilmesi ve atıkların önlenmesi, atıkların kaynağında azaltılması ve atık üretiminin azaltılması ve önlenmesi aşamalarını kapsayan sıfır atık projesi kapsamında yaptıkları çalışmada araştırma ve geliştirme faaliyetleri için üretilen tehlikeli atıkların, üniversitede eğitim için üretilen atıklardan çok daha fazla olduğunu ifade ederler. Araştırmacılar öğrencilere atık eğitimi verdikten sonra yaptıkları ölçümlerde öğrencilerin ürettikleri atık miktarını azalttıklarının gözlemlenmişlerdir. Iresha ve Prasojo (2018) yaptıkları çalışmada üniversite yerleşkesinde uygulanan katı atık yönetim sisteminin performansını, katı atık depolama alanlarında toplanan organik, plastik ve kâğıt miktarı üzerinden değerlendirmişlerdir. Atık yönetiminin bir parçası olmaları için tüm öğrencilere ve çalışanlara

kullandıkları malzemelerin geri dönüştürülmesini sağlamaları ve geri dönüştürülen malzemeleri kullanmaları posterler, anketler ve sosyal medya kullanılarak anlatılmıştır. Çalışmanın sonucunda %70 oranında öğrenci ve çalışanın sıfır atık yönetiminin önemini farkındalığına varmalarının sağlandığına dikkat çekmişlerdir.

Sıfır atık projesi başlatan Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından öğrenci ve personelin çevre farkındalığının oluşturulması, çevreye karşı duyarlılıklarının ve çevre bilincinin ölçülmesi amacıyla bir araştırma yapılmış ve sonucunda çevre ile ilgili terimlere yeterince hakim olmadıkları ve çevre ile ilgili olarak yaşadıkları olumsuzlukları azaltmadıkları tespit edilerek panel, konferans ve seminer gibi çalışmalar yapılarak üniversite öğrenci ve personelinin çevre bilincinin artırılmasına karar verilmiştir (URL3, 2019).

2014-2017 yılları arasında ODTÜ yerleşkesinde çevresel performans değerlendirilerek Yeşil Kampüs uygulamaları çerçevesinde sürdürülebilir yağmur suyu, su ve katı atık yönetimi uygulamaları için bilimsel projeler üretilerek hayata geçirilmiştir. Bu kapsamda yağmur suyunun kullanılması, su tüketiminin azaltılması ve yeraltı su kaynaklarının korunması hedeflenerek, güçlendirme, azaltma ve yenileme stratejileri üretilmiştir. Katı atıkların doğru toplanması ve işlenmesi amacıyla laboratuvarlardan çıkan kimyasal atıkların tehlikeli atık, kâğıt atıkların geri dönüştürülebilir ve tekrar kullanılabilir atık, organik atıkların ise ayrılarak kompost yapılması sağlanmıştır (URL4, 2021).

Mason ve ark. (2003) tarafından yapılan üniversite kampüsünde sıfır atık programı uygulamasında yöneticilerin görülebilir desteği, yerleşkede bulunan tüm kişilerin katılımı, atık azaltma koordinatörünün görevlendirilmesi, atıkların tanımlanması ve saha araştırmaları ile başarılı olacak beş aşamalı plan önerilmiştir. Öğrenciler arasında çevre sorunlarının farkındalığının paylaşılması ve artırılmasının en önemli konulardan biri olduğunu ifade etmişlerdir. Araştırmacılar akademik personel ve öğrencilerin birlikte yürütecekleri bilimsel çalışmalar ve projelerle çevre problemlerinin azaltılabileceğini vurgulamışlardır.

Üniversiteler projelerin oluşturulması, geliştirilmesi ve topluma entegre edilebilmesi için en önemli kurumlardan biridir. Sıfır atık projesi de ülkemizde üniversite yerleşkelerinde ve öğrencilerin yanı sıra tüm çalışanların katılımı ile istenilen noktaya taşınacaktır.

Türkiye'de çevre bilinci konusunda yapılan çalışmaların sınırlı olması ve çevre sorunları söz konusu olduğunda bireysel davranışların daha iyi anlaşılması adına bu çalışmada akademik personel ve öğrencilerin İSG kapsamında çevre güvenliği, sürdürülebilir bir üniversite yerleşkesi için sıfır atık algısı ve alışkanlıkları üzerinden değerlendirilmiştir. Bu çalışma, bu alandaki bilgi boşluğunu kapatmak ve ülkemizdeki çevresel vatandaşlığın gelişmesine katkı sağlamak için tasarlanmıştır. Çalışmanın ana amacı katılımcıların eğitim düzeyine göre sıfır atık farkındalıklarını ortaya koymaktır.

## **2. Materyal ve Metod**

Fen fakültesi kimya bölümlerinde eğitim alan öğrenciler ve eğitim veren akademik personelin İSG çevre güvenliği kapsamında sıfır atık algısı üzerinden üniversitelerde uygulanan katı atık politikası,

atıkların geri dönüşümü ve azaltılması için alınan önlemler ve uygulamalar incelenerek üniversitelerin sürdürülebilirliği ve üniversiteler arasında fark olup olmadığı değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan veri seti doktora tezi kapsamında elde edilmiştir. Araştırma nicel yöntem desenlerinden betimsel tarama deseninde yürütülmüştür. Zamansal olarak kesitsel türde icra edilmiş ve betimleme amacıyla yapılan bir araştırmadır.

### *2.1. Veri Seçimi*

Bu araştırmanın evreni İSG açısından tehlike sınıfı yüksek işyerlerinde, çevreye en çok zarar verebilecek malzemelerle çalışacak olan kimya bölümü öğrencileri ve onları tam donanımlı yetiştirecek olan akademisyenler olarak belirlenmiştir. 2019 yılı Öğrenci Seçme ve Yerleştirme Merkezi (ÖSYM) tarafından yapılan üniversite giriş ve yerleştirme sınavı taban puanlarına göre en çok tercih edilen ilk on üniversitenin kimya bölümleri çalışmanın yürütüleceği alan olarak seçilmiştir. Çalışma kapsamında alınan etik kurul onayı ile İstanbul Aydın Üniversitesi Rektörlüğü tarafından üniversitelere bilgilendirilme yapılmıştır. Çalışmanın örnekleme belirlenirken Research Advisor programı kullanıldı (URL5; 2023) Bu çalışma tüm dünyada ve ülkemizde etkili olarak kapanmaya yol açan yeni koronavirus (COVID19) pandemisi sırasında yürütülmüştür.

### *2.2. Veri Toplama Araçları*

Çalışmamızın ilk kısmında katılımcıların yaş, cinsiyet, öğrenci katılımcılar için sınıf bilgisi ve akademik katılımcılar için çalışma süresi gibi tanımlayıcı bilgiler edinilmiştir. Çalışmada katılımcıların sıfır atık algı ve tutumlarıyla ilgili bilgi ölçümü yapabilmek için üç ifade analiz edilmiştir. Bunlar sırasıyla; kampüste sıfır atık amaçlanmaktadır ve bunun için herkesin uyduğu politikalar bulunmaktadır (İ1), atıklar (okunmuş gazete, kullanılmış kâğıt, metal kutudaki içecekler, laboratuvarlarda kırılan cam malzemeler gibi) toplama yerlerine bırakılmaktadır (İ2) ve kampüste katı atıkların azaltılması/tekrar kullanılabilen malzemelerin tercih edilmesi için sürekli girişimler olmaktadır (kâğıt bardak yerine bardağını getirene daha uygun içecek satılması gibi) (İ3)'dür. Ankette kullanılan ifadeler 5'li Likert cevap bileşeni kullanılarak analiz edilmiştir. Kullanılan ifadelerin Cronbach Alpha değeri 0,695 olarak hesaplanmış ve yeterli derecede güvenilir olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada iyi bir örneklem çerçevesi olması ve evren, coğrafi olarak belli bir bölgede yoğunlaştığından basit tesadüfi örneklem seçim yöntemi kullanılmıştır (Baltacı, 2018). Veriler gönüllü öğrenci ve akademik personelin katılımıyla yüz yüze ve elektronik ortamda Google anketler aracılığıyla toplanmıştır.

### *2.3. Veri Analizi*

Çalışmada veri setinin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla ilk olarak tanımlayıcı istatistik yöntemleri kullanılmıştır. Araştırmada toplanan verilerin uygulanacak analizlere uygunluğunu ölçmek için ilk olarak normal dağılıma uygun olup olmadıklarına bakılmıştır. Skewness ve Kurtosis değerlerinin +2,0

ve -2,0 aralığında olması dağılımın normal olduğunu göstermektedir (George ve Mallery, 2010). Normal dağılıma uygun olduğu anlaşılan veriler tek yönlü ANOVA ve post-hoc Gabriel testleri kullanılarak sıfır atık farkındalıklarında üniversitelerin birbirinden farklı olup olmadığı analiz edilmiştir.

Çalışmada toplanan verilerin tanımlayıcı istatistikleri, öğrenci ve akademik personel açısından ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Veriler ifadeler ve üniversiteler bağlamında istatistik analizlere tabi tutularak aşağıdaki hipotezler test edilmiştir.

H<sub>1</sub>: Üniversitelerde sıfır atık uygulamalarının düzenlendiği politikalar vardır.

H<sub>2</sub>: Üniversitelerde katı atıkların toplanarak geri dönüştürülmesi için gerekli düzenlemeler yapılmıştır.

H<sub>3</sub>: Üniversitelerde katı atıkların azaltılması için sürekli girişimler yapılmaktadır.

H<sub>4</sub>: Üniversiteler öğrenci katılımcılar açısından sıfır atık uygulamalarında birbirlerinden farklıdır.

H<sub>5</sub>: Üniversiteler akademik katılımcılar açısından sıfır atık uygulamalarında birbirlerinden farklıdır.

### 3. Bulgular

Çalışmamıza katılmayı kabul eden dört üniversite İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Ortadoğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ), Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ) (İngilizce ve Türkçe bölümleri) ve Ankara Üniversitesi (AÜ) idi. Çalışmamızı yürüttüğümüz üniversitelerimizde toplam 1692 öğrenci eğitim, 274 akademik personel ise görev almaktadır (URL6, 2019). Research Advisors programına göre 1966 kişilik örneklem boyutu düşünüldüğünde %95 güven aralığı ve 0,05 hata payı baz alınarak yaklaşık 322 kişiye ulaşılması hedeflendi. Yapılan çalışmaya eğitim alan 253 öğrenci ve eğitim veren 41 akademik personel olmak üzere toplam 294 kişi katılmayı kabul etti. Çalışmamızda öğrenci katılımcılar ve akademik katılımcılar ayrı ayrı analiz edilmişlerdir.

#### 3.1. Öğrenci katılımcılar

Öğrenci katılımcıların 180(%71,1)'i kadın ve 73(%28,9)'ü erkektir. Katılımcıların 219(%86,6)'u 18-23 yaş aralığında, 31(%12,3)'i 24-29 yaş aralığında, 2(%0,8)'si 30-35 yaş aralığında ve 1(%0,4)'i 36-40 yaş aralığındadır. Katılımcıların %25,3'ü İTÜ (Ü-1), %33,6'sı ODTÜ (Ü-2), %21,3'ü AÜ (Ü-3) ve %19,8'i YTÜ (Ü-4) üniversitelerinde öğrenim görmektedirler. Katılımcıların eğitim durumları incelendiğinde %38,3'ü üniversite 1. sınıf, %28,5'i üniversite 2. sınıf, %16,2'si üniversite 3. sınıf, %10,7'si üniversite 4. sınıf, %4,3'ü yüksek lisans ve %2'si doktora öğrencisidir.

Öğrencilerin oluşturduğu katılımcı grubunun sonuçları incelendiğinde İ1 ifadesine katılımcıların 35(%14,1)'i hiç katılmadığını ifade ederken, 44(%17,7)'ü biraz katıldığını, 85(%34,1)'i orta derecede katıldığını, 32(%12,9)'si çok katıldığını ve 53(%21,3)'ü tamamen katıldığını ifade etmiştir.

İ2 ifadesi katılımcıların en yüksek farkındalığa sahip olduğu görülen ifadedir. İ2 ifadesine katılımcıların 21(%8,4)'inin hiç katılmadığı, 36(%14,4)'sının biraz katıldığı, 70(%28)'inin orta derecede katıldığı, 53(%21,2)'ünün çok katıldığı ve 70(%28)'inin tamamen katıldığı hesaplanmıştır.



İ3 ifadesi en düşük ortalamaya sahiptir. Bu ifadeye katılımcıların 90(%35,9)'ı hiç katılmadığını, 37(%14,7)'si biraz katıldığını, 54(%21,5)'ü orta derecede katıldığını, 33(13,1)'ü çok katıldığını ve 37(%14,7)'si tamamen katıldığını ifade etmiştir (detaylar Tablo 1'de gösterilmiştir).

**Tablo 1.** Öğrenci katılımcılar için sıfır atık İ1, İ2 ve İ3 ifadeleri tanımlayıcı istatistiksel analizler

İfadeler	N	M	Std. Sapma	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %
İ1	249	3,10	1,311	35 14,1	44 17,7	85 34,1	32 12,9	53 21,3
İ2	250	3,45	1,266	21 8,4	36 14,4	70 28,0	53 21,2	70 28,0
İ3	251	2,56	1,452	90 35,9	37 14,7	54 21,5	33 13,1	37 14,7

1: Hiç katılmıyorum; 2: Biraz katılıyorum; 3: Orta derecede katılıyorum; 4: Çok katılıyorum ;5: Tamamen katılıyorum

İfadelerin normallik analizi yapılarak hepsinin normal dağılımda olduğu, Skewness ve Kurtosis değerlerinin +2,0 -2,0 arasında olduğu görülmüştür (George ve Mallery, 2010) (detaylar Tablo 2'de gösterilmiştir).

**Tablo 2.** Öğrenci katılımcılar için sıfır atık ifadelerinin normallik analizleri

İfadeler	N	Ortalama	Standart Sapma	Skewness	Kurtosis
İ1	249	3,1008	1,311	0,008	-0,993
İ2	250	3,4476	1,265	-0,323	-0,908
İ3	251	2,5565	1,453	0,382	-1,216

Üniversiteler arasında sıfır atık veya farklı bir ifadeyle yeşil kampüs uygulamalarının farklı olup olmadığının değerlendirilmesi amacıyla tek yönlü varyans analizi (One-way ANOVA) testi yapılmıştır. Bu test bize dört elemandan oluşan grubumuzun gruplar arası varyansını hem de grupların kendi iç varyansını hesaplayarak iki değeri birbirine oranlama ve bu varyansların büyüklüklerine göre bir karar verme imkânı sağlamaktadır.

Bu analizin yapılabilmesinin ilk koşulu varyansların homojen olmasıdır. Varyanslar homojen dağılmıştır (p=0,407)(detaylar Tablo 3'te gösterilmiştir).

**Tablo 3.** Öğrenci katılımcılar için sıfır atık ifadelerinin varyanslarının homojenlik testi

Levene Testi	df1	df2	Sig.
0,972	3	249	0,407

Üniversitelerin tanımlayıcı (genel ortalama) istatistikleri yapılmıştır. Ü-1 grubunun ortalaması 2,657, Ü-2 grubunun ortalaması 3,476, Ü-3 grubunun ortalaması 2,799 ve Ü-4 grubunun ortalaması 3,047'dir (detaylar Tablo 4'te gösterilmiştir).

**Tablo 4.** Öğrenci katılımcılar için üniversite gruplarının tanımlayıcı analizleri

Üniversiteler	N	Ortalama	Std. Sapma
Ü-1	64	2,657	0,92981
Ü-3	54	2,799	1,11594
Ü-4	50	3,047	1,07752
Ü-2	85	3,476	0,93346
<b>Toplam</b>	<b>253</b>	<b>3,039</b>	<b>1,05275</b>

Varyansları homojen olan verilerimizin Sig. değeri  $p=0,000(<0,05)$  olduğu için karşılaştırdığımız üniversitelerin ortalamaları arasında anlamlı bir fark olduğu görülmüştür ( $F=9,519, p=0,000$ ) (detaylar Tablo 5'te gösterilmektedir).

**Tablo 5.** Grupların ANOVA anlamlılık testi

	Karelerin toplamı	df	Ortalamaların karesi	F	Sig.
<b>Gruplar arası</b>	28,735	3	9,578	9,519	<b>0,000</b>
<b>Grup içi</b>	250,551	249	1,006		
<b>Toplam</b>	279,286	252			

Farklılıkların hangi üniversiteler arasında olduğunu anlayabilmek için post-hoc testi yapılmıştır. Analiz yapılacak olan grupların örneklem sayısı birbirine yakın ama tam olarak eşit olmadığı için Gabriel post-hoc testi kullanılmıştır (Field, 2013; Allen ve ark., 2014). Gabriel çoklu karşılaştırma (post-hoc) analizi sonucuna göre Ü-2 üniversitesinin Ü-1 ve Ü-3 üniversitesinden farklı olduğu görülmüştür (detaylar Tablo 6'da gösterilmiştir).

**Tablo 6.** Üniversitelerin çoklu karşılaştırma (Gabriel post-hoc) tablosu

(I) Halen öğrenim gördüğünüz üniversitenin adı	(J) Halen öğrenim gördüğünüz üniversitenin adı	Ortalamaların farkı (I-J)	Std. Hata	Sig.
Ü-1	Ü-3	-0,14135 (-0,621-0,3381)	0,18535	0,871
	Ü-4	-0,38980 (-0,880-0,100)	0,18933	0,170
	Ü-2	-0,081945* (-1,249--0,390)	0,16601	<b>0,000</b>
Ü-3	Ü-1	0,14135 (-0,338-0,621)	0,18535	0,871
	Ü-4	-0,24845 (-0,758-0,261)	0,19687	0,588
	Ü-2	-0,67810* (-1,130--0,227)	0,17456	<b>0,001</b>
Ü-4	Ü-1	0,38980 (-0,100-0,880)	0,18933	0,170
	Ü-4	0,24845 (-0,261-0,758)	0,19687	0,588
	Ü-2	-0,42965 (-0,892-0,033)	0,17878	0,079
Ü-2	Ü-1	0,81945* (0,390-1,249)	0,16601	<b>0,000</b>
	Ü-3	0,67810* (0,227-1,130)	0,17456	<b>0,001</b>
	Ü-4	0,42965 (-0,033-0,892)	0,17878	0,079

Tablo 6'ya göre Ü-1 ile Ü-3 ve Ü-4 arasında sıfır atık yönetimindeki farkındalık açısından benzer sonuçlar bulunurken, Ü-1 ve Ü-2 arasında ve Ü-2 ve Ü-3 arasında fark bulundu. Çalışmamıza dahil edilen üniversitelerin 2019-ÖSYM başarı sıraları göz önüne alındığında, bizim sonuçlarımıza göre bu sıralamanın sıfır atık yönetimindeki farkındalık açısından etkili olmadığı söylenebilir.

### 3.2. Akademik personel katılımcılar

Akademik personel katılımcıların 31(%75,6)'i kadın ve 10(%24,4)'ü erkektir. Katılımcıların 13(%31,7)'ü 26-31 yaş aralığında, 9(%22)'u 32-36 yaş aralığında, 5(%12,2)'i 37-41 yaş aralığında, 4(%9,8)'i 42-46 yaş aralığında, 1(%2,4) katılımcı 47-51 yaş aralığında, 3(%7,3)'ü 52-56 yaş aralığında, 3(%7,3)'ü 57-60 yaş aralığında ve 3(%7,3) katılımcı da 60 yaş üstüdür. Katılımcıların 11(%26,8)'i 1-5 yıl arası, 8(%19,5)'i 5-10 yıl, 2(%4,9)'si 10-15 yıl, 7(%17,1)'si 15-20 yıl, 2(%4,9)'si 25-30 yıl ve 11(%26,8)'i 30 yıl ve üstü mesleki tecrübeye sahip olduğunu ifade etmiştir.

Sıfır atık ifadeleri akademik personel katılımcılara da sorularak toplanan veriler istatistiksel olarak analize tabii tutulmuştur. İlk olarak verilerin tanımlayıcı istatistik analizleri yapılmıştır. Verilerin ortalamalarına bakıldığında sonuçların öğrenci katılımcıların ortalamalarına benzer özellikler taşıdıkları tespit edilmiştir. Ortalaması en yüksek ifade 3,46 ile İ2 ifadesi iken ortalaması en düşük ifade 2,20 ile İ3 ifadesidir. Veri analizine göre; İ1 ifadesine katılımcıların 5(%12,2)'i hiç katılmadığını, 12(%29,3)'si biraz katıldığını, 12(%29,3)'si orta derecede katıldığını, 9(%22)'u çok katıldığını ve 3(%7,3)'ü tamamen katıldığını ifade etmiştir. İ2 ifadesi öğrenci katılımcılarda olduğu gibi en yüksek ortalamaya sahip ifadedir. Bu ifadeye katılımcıların 1(%2,4)'i hiç katılmadığını, 4(%9,8)'ü biraz katıldığını, 17(%41,5)'si orta derecede katıldığını, 9(22)'u çok katıldığını ve 10(%24,4)'u tamamen katıldığını ifade etmiştir. İ3 ifadesine katılımcıların 18(%43,9)'i hiç katılmadığını, 5(%12,2)'si biraz katıldığını, 12(%29,3)'ü orta derecede katıldığını, 4(%9,8)'ü çok katıldığını ve 2(%4,9)'si tamamen katıldığını ifade etmiştir (detaylar Tablo 7'de gösterilmiştir).

**Tablo 7.** Akademik personel katılımcılar için sıfır atık tanımlayıcı istatistiksel analizleri

İfadeler	N	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %
İ1	41	5 12,2	12 29,3	12 29,3	9 22,0	3 7,3
İ2	41	1 2,4	4 9,8	17 41,5	9 22,0	10 24,4
İ3	41	18 43,9	5 12,2	12 29,3	4 9,8	2 4,9

1: Hiç katılmıyorum; 2: Biraz katılıyorum; 3: Orta derecede katılıyorum; 4: Çok katılıyorum; 5: Tamamen katılıyorum

İfadelerin normallik analizi yapılarak hepsinin normal dağılımda olduğu, Skewness ve Kurtosis değerlerinin +2,0 -2,0 arasında olduğu görülmüştür (George ve Mallery, 2010) (detaylar Tablo 8'de gösterilmiştir).

**Tablo 8.** Akademik personel katılımcılar için sıfır atık ifadelerinin normallik analizleri

İfadeler	N	Ortalama	Standart Sapma	Skewness	Kurtosis
İ1	41	2,83	1,138	0,138	-0,724
İ2	41	3,56	1,050	-0,101	-0,570
İ3	41	2,20	1,249	0,581	-0,759

Katılımcı grubunu akademik personelin oluşturduğu üniversiteler arasında sıfır atık algısı açısından fark olup olmadığının yine tek yönlü varyans analizi (One-way ANOVA) ile hesaplanmıştır. İlk olarak üniversitelere göre tanımlayıcı istatistikler yapılmıştır. Ü-3 grubunun ortalaması 2,67 ile en düşükken, Ü-1 3,26 ile en yüksek ortalamaya sahiptir. Ü-4 grubunun ortalaması 2,72 ve Ü-2 grubunun ortalaması ise 3,082'dir (detaylar Tablo 9'da gösterilmiştir).

**Tablo 9.** Akademik personel katılımcılar üniversite gruplarının tanımlayıcı analizleri

Üniversiteler	N	Ortalama	Std. Hata
Ü-1	9	3,2593	0,64070
Ü-3	10	2,6667	0,92962
Ü-4	18	2,7222	0,84984
Ü-2	4	3,0833	1,03190
<b>Toplam</b>	<b>41</b>	<b>2,8618</b>	<b>0,84976</b>

Bu analizin yapılabilmesinin ilk koşulu varyansların homojen olmasıdır. Homojenlik testinin sonucu  $p=0,209$  çıktığı için varyansların homojen olduğu görülmüştür (detaylar Tablo 10'da gösterilmiştir).

**Tablo 10.** Akademik personel katılımcılar sıfır atık ifadelerinin varyanslarının homojenlik testi

Levene Testi	df1	df2	Sig.
1,468	8	31	0,209

Varyansların homojenliği sağlanmış olan verilerimizin Sig. değeri  $p=0,365(>0,05)$  olduğu için karşılaştırdığımız üniversitelerin ortalamaları arasında anlamlı bir fark olmadığı söylenebilir (detaylar Tablo 11'de gösterilmektedir).

**Tablo 11.** Akademik personel katılımcılar üniversite gruplarının ANOVA anlamlılık testi

	Karelerin toplamı	df	Ortalamaların karesi	F	Sig.
Gruplar arası	2,350	3	0,783	1,092	<b>0,365</b>
Grup içi	26,534	37	0,717		
Toplam	28,883	40			

Çalışmamıza katılmayı kabul eden akademik personelin genel ortalaması 2,86, öğrencilerin ise 3,04 idi. Çalışmamızda eğitim düzeyinin sıfır atık yönetiminde fark yaratabileceği varsayıldığından öğrenci lehine çıkan bu sonuç şaşırtıcı olmuştur.

#### 4. Tartışma

Çalışmada iş sağlığı ve güvenliği kapsamında akademik personel ve öğrenci katılımcıların çevre güvenliğini tehdit eden katı atıklarla ilgili algı ve alışkanlıkları değerlendirilmiş, üniversiteler arasındaki farklılıklar incelenmiş ve üniversitelerin sürdürülebilirlikleri yorumlanmıştır.

Sıfır atık algısının ölçülmesi için kullanılan üç ifadenin öğrenci katılımcılar için ortalaması 3,04 ve standart sapması 1,05, akademik personel katılımcılar için ortalaması 2,86 ve standart sapması 0,85 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, ülkemizin önde gelen üniversiteleri arasında aslında çok da güçlü olmayan ortalama seviyede bir katı atık algısı olduğunu göstermektedir. Pensilvanya Eyalet Üniversitesi'nde bir grup öğrenci ve akademik personel üniversitelerini enerji, su, gıda, malzeme, bina gibi sürdürülebilirlik göstergelerini kullanarak incelemek için bir araştırma yürütmüş ve yemekhanede tüketilen sebzeleri topraktan çöpe kadar takip etmişlerdir. Öğrencilerin bakış açılarını anketler aracılığıyla ölçerek, ortaya çıkan analizlerin ekolojik ve toplumsal sonuçlarını yayınlamışlardır. Yaptıkları ölçümlerin sonucunda üniversitelerinin vasat olarak değerlendirilecek bir kurum olarak çıktığını ifade etmiş ve Penn State'in mezunlarının, diğer birçok üniversitenin mezunları gibi, eğitimlerini ekolojik kimlikleri konusunda çok az farkındalıkla tamamladıkları; bu nedenle, büyüyen tüm gezegendeki krizi çözmekten çok, katkıda bulunmalarının daha olası olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Uhl ve Anderson, 2001).

Çalışmamızda kullanılan ilk ifade üniversite yerleşkelerinde sıfır atık çalışmalarının yürütülmesi için yönetimin kararlılığını gösterdiği sıfır atık politikalarının varlığını tespit etmektir. Her yüz öğrenciden on dördü ve her yüz akademik personelden on ikisi bu ifadeye hiç katılmadıklarını ifade etmişlerdir. Bu sonuç bize uygulamada eksiklikler nedeniyle her on kişiden birinin aslında politika ve çalışmalardan habersiz olmasına rağmen geriye kalan 9 kişinin sıfır atık uygulamaları için düzenlenen politikaların farkında olduğunu göstermektedir. Bu nedenle  $H_1$  hipotezi kabul edilmiştir. Oral ve ark., (2021) ülkemiz Marmara Bölgesi'nde eğitim alan mühendislik öğrencilerinin çevre vatandaşlığı algısı ve davranışlarını inceledikleri çalışmada öğrencilerin çevre problemlerinin farkında ve olumlu düşünce sistemine sahip olmalarına rağmen çevre problemlerini çözmekte gösterdikleri davranışların tarafsız ve olumlu arasında kaldığını ifade ederler. Bu sonuçlar bizim bulgularımızla örtüşmektedir.

Üniversite yerleşkelerinde atıkların sınıflandırılarak ayrıştırılması genel sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için başarılı bir atık yönetimi planlamasının ilk adımıdır (Smith ve ark., 2010). Bu nedenle çalışmamızın ikinci ifadesinde katı atıkların toplanarak geri dönüştürülmesi için gerekli düzenlemelerin yapılıp yapılmadığını ölçülmesi amaçlanmıştır. Kâğıt, metal, cam gibi kullanılmış malzemeleri için toplama yerlerinin bulunup bulunmadığını araştırdığımız bu ifadeye öğrencilerin %8,4'ü ve akademik personelin %2,4'ü hiç katılmıyorum ifadesini seçmişken öğrencilerin %91,6'sı ve akademik personelin %97,6'sı biraz katılıyorumdan tamamen katılıyorduma kadar olan ifadeleri seçmişlerdir. Bu sonuçlar doğrultusunda üniversitelerde katı atıkların toplanarak geri dönüştürülmesi için gerekli düzenlemeler yapılmıştır yani  $H_2$  hipotezi kabul edilmiştir. Bazı katılımcıların bu ifadeye hiç katılmamasının veya biraz katılmasının en büyük sebebi cam malzemelerin çok kırıldığı kimya

laboratuvarlarının içinde bu malzemeler için ayrılmış toplama alanı bulunmaması olabilir. Akanyeti ve Kazımoğlu (2019), araştırmalarında öğrencilerin atıkların kaynağında ayrıştırılması hakkında bilgi sahibi olduklarını ifade ederler. Zülfikar (2013), üniversite yerleşkelerinde katı atıkların toplanması için yürütülen uygulamalardan haberdarlık düzeylerini ölçtüğü çalışmasında her dört öğrenciden birinin kağıt atıkların toplandığını bildiğini ifade etmiştir.

Katı atık miktarının azaltılması da sürdürülebilirliğin göstergelerinden biridir. Bu nedenle çalışmada kullanılan üçüncü ifade üniversite yerleşkesinde kullanılan katı atıkların azaltılması için girişimlerin bulunup bulunmadığını araştırmaktadır. Çalışmamızda bu ifadeye her üç öğrenciden biri ve her iki akademik personelden biri hiç katılmadığını ifade etmiştir demek çok da yanlış olmayacaktır. Bu nedenle üçüncü hipotezimiz olan üniversitelerde katı atıkların azaltılması için girişimler yapılmaktadır,  $H_3$  hipotezi reddedilmiştir. Ülkemizin önde gelen üniversiteleri arasında yapılan bu çalışmada bu sonucun çıkması aslında son derece şaşırtıcıdır. Bu sonucun çıkması, üniversite yönetimlerinin bireysel çözümlerden nazaran kafeterya bölgelerinden toplanan atık gıdalardan kompost yapılması, laboratuvarlardaki kimyasal veya tehlikeli atıkların toplanarak bertaraf edilmesi gibi sistemsal çözümlere yönelmiş olmaları olabilir (Bilgen ve Yaylagül, 2020; Bahçelioğlu ve ark., 2020; URL7, 2022). Katı atık miktarının azaltılması pekçok sorunun en baştan çözüme ulaşması demektir. Bu nedenle aslında en kolay yöntemlerden biri olan tekrar kullanılabilen malzemelerin özendirilmesi ile katı atık miktarının istenilen seviyelere düşürülebileceği unutulmamalıdır.

Sıfır atık, tüm ürünlerin geri dönüştürülmesi için kaynakların yaşam döngülerinin yeniden tasarlanmasını teşvik eden bir felsefedir (Song ve ark., 2015). Sıfır atık yönetiminin katı atıklar üstünden değerlendirildiği bu çalışmada üniversite yönetimlerinin katı atık politikalarının bulunduğu, atıkların ayrıştırılması için düzenlemelerin yapılmasına rağmen katı atıkların azaltılması için girişimlerin yeterli olmadığı sonucuna ulaşıldığı söylenebilir.

Üniversitelerin öğrenci katılımcılar açısından sıfır atık uygulamalarında birbirlerinden farklı olup olmadığını anlamak için tek yönlü ANOVA analizi yapılmış ve üniversitelerin birbirinden farklı olduğu görüldüğü için  $H_4$  hipotezi kabul edilmiştir. Farklılıkların hangi üniversiteler arasında olduğunun bulunması amacıyla Gabriel post-hoc testi yapılmıştır. Öğrenci katılımcıların verilerinin analizleri sonucu Ü-2 üniversitesinin en yüksek sıfır atık algısına sahip üniversite olduğu ve 2,65 ile en düşük ortalamaya sahip olan Ü-1 ve 2,80 ile ikinci düşük ortalamaya sahip Ü-3 üniversitesinden farklı olduğu görülmüştür. Üniversitelerin sıfır atık uygulamalarında akademik katılımcılar açısından fark olup olmadığını anlamak için de tek yönlü ANOVA analizi yapılmıştır. Analiz sonucuna göre akademik katılımcılar açısından “üniversiteler arasında fark yoktur” sonucuna ulaşılmış  $H_5$  hipotezi reddedilmiştir. Haksevenler ve ark., (2020) tarafından Marmara Üniversitesi Anadolu Hisar Kampüsü’nde Sıfır Atık Yönetimi uygulamaları hakkında öğrenci, akademik ve idari personelin farkındalığını ölçmek için bir çalışma yapmışlardır. Yazarlar çalışmada kampüsteki sıfır atık uygulamalarını yeterince fark etmedikleri ve yeterli duyarlılığa sahip olmadıkları sonucuna ulaşmışlardır.

Üniversitelerin çevre bilincinin artırılması, bu doğrultuda uluslararası işbirlikleri olanaklarının yaratılması ve yıllık sürdürülebilirlik performanslarının ölçülmesi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan ve ülkemizde de kullanılan UI Green Metric; ayar (setting) ve altyapı, enerji ve iklim değişikliği, su, ulaşım, atık ve eğitim puanlarından oluşmaktadır. UI Green Metric toplam puanına göre Wageningen University & Research (Hollanda), 9070 puanla 2020 yılı dünya üniversiteleri sıralamasında en yüksek puana sahip üniversitedir.

Bu çalışmada yer alan üniversitelerimizin ülkemiz içindeki UI Green Metric sıralamasına bakıldığında birinci sırada 7800 puanla Ü-1, ikinci sırada 7500 puanla Ü-3, 10. sırada 6425 puanla Ü-2 ve 39. sırada 4600 puanla Ü-4 üniversitelerinin yer aldığı görülmektedir. Bu sonuçlar yukarıda belirtilen birçok faktörün katılmasıyla oluşturulduğu için bu araştırmada ortaya çıkan sonuçları desteklemiyor gibi görünse de bunun altında üniversitelerin altyapı ve katı atıkların toplanma ve değerlendirilme, geri dönüştürülme gibi pek çok faaliyetin sonucu olduğu açıktır. Öğrenci farkındalığının düşük olması gerçekleştirilen faaliyetlere öğrencilerin katılımının yeterince sağlanamaması veya yapılan faaliyetlerin öğrencilere duyurulmaması kaynaklı olabilir (URL8, 2021).

Al-Shatnawi ve ark., (2020) Ürdün üniversitelerinde yaptıkları araştırmada her yıl sadece ülkedeki üniversite yerleşkelerinden 491 ton karışık katı atık üretildiğini kâğıt, plastik, metal ve organik katı atıkların geri dönüştürülme oranının yeterli olmadığını ifade etmişlerdir. Araştırmacılar özellikle kâğıt atıkların sağlandığı kaynaklarının yetersizliği ve metal atıkların çok önemli enerji kaynaklarını tüketmesi nedeniyle kampüslerde çıkarılan atık oranlarının azaltılmasının önemine dikkat çekmişlerdir.

Ömürbek ve ark., (2019) ülkemizdeki 203 üniversitenin web siteleri üstünden atık yönetimi ile ilgili olarak yürüttükleri çalışmaları inceledikleri araştırmalarında yalnızca 52 üniversitenin çevre yönetimi, atık yönetimi ve sıfır atık projesi hakkında yürüttükleri çalışmalara ulaşılabildiklerini fakat genel olarak üniversitelerin sıfır atık ile ilgili projeler başlattıklarını ifade etmişlerdir.

Dünyanın tükenen kaynakları göz önüne alındığında bu konudaki en önemli rollerden birinin üniversite eğitimi alan öğrencilere ve bu eğitimlerin verildiği kurumlara düştüğünün unutulmaması gerekir.

Çalışmamıza katılan kimya bölümü öğrencileri geleceğin kimyagerleri olarak, sanayide üretilen, hammadde olarak kullanılan veya başka bir maddeyi üretmek amacıyla kullanılan tüm malzemelerin yapısını oluşturan kimyasal maddelerle çalışacaklardır. Onları yetiştiren akademisyenlerimiz sıfır atık çalışmalarının anahtarlarıdır. Genç kimyagerlerin çevre güvenliğini gözeterek davranmaları atıkların azaltılması yanı sıra kaynakların korunması için de son derece önemlidir. Çalışmamızdaki popülasyonu sıfır atık yönetiminde görev alan/alabilecek kimya bölümü öğrencileri ve akademisyenlerin oluşturması çalışmamızın güçlü yönüdür. Ancak çalışmanın COVID19 pandemisi esnasında yapılması ve gönüllülük bazlı katılım gerektirmesinden dolayı öğrenci ve akademik personele ulaşılma zorluğu yaşamamız ise çalışmamızın limitasyonu olarak ifade edilebilir.

## 5. Sonuç

Çalışmada akademik personel ve öğrencilerin sıfır atık algıları ve alışkanlıklarıyla iş sağlığı ve güvenliğinin çevre güvenliği üstündeki etkisi ve sürdürülebilir bir üniversite yerleşkesi değerlendirilmiştir. Özellikle bizim gibi gelişmekte olan ülkelerde var olan kaynakların korunarak kullanılmış olan malzemelerin geri kazanılması çevreye karşı sorumluluğumuzun yanı sıra ülke ekonomisi için de son derece önemlidir. Gelecekte endüstride çalışacak hatta yönetim kadrolarında yer alacak olan kimya bölümü öğrencileri sanayide katı atıkların azaltılması için çizilecek yol haritasını belirleyeceklerdir. Başarılı bir sıfır atık yönetimi iyi çizilmiş bir yol haritasına, sağlam prensiplere, güvenilir göstergelere ve doğru yapılandırılmış bir düzene ihtiyaç duyar. Ülkemizin önde gelen üniversiteleri arasında yürütülen bu çalışma yeşil üniversite ve sıfır atık uygulamalarının geliştirilmeye ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Akademisyenlerin sıfır atık farkındalık ortalaması 2,86 iken öğrencilerin ortalamasınının 3,04 olarak daha yüksek hesaplanması bizim için sürpriz olsa öğrencilerin doğru bilgiyi edinmelerinde en doğru kaynaklardan biri olan öğretmenlerin çevre ile ilgili konularda yanlıgıları olduğu bilinmektedir (Cici ve ark., 2005). İnsan davranışlarında değişiklik yapması amaçlanan eğitimin tek başına yeterli olmadığı, kişinin doğasından gelen özellikler, aileden getirdiği alışkanlıklar gibi farklı etmenlerin de tutum ve davranışlarda rol oynadığı da bilinmektedir (Marcinkowski ve Reid, 2019). Sosyal medya, internet, televizyon gibi görsel iletişim araçları ile daha genç yaşta çevre ile ilgili bilgilendirilmelere maruz kalan öğrencilerin ortalamasınının yüksek çıkması sevindiricidir.

Yapılan analizlerde çalışmaya katılan dört üniversitemizde de sıfır atık uygulamalarının başladığı sonucuna ulaşılmıştır. Sıfır atık yönetimi için gerekli olan katı atık politikalarının oluşturulmuş ve katı atıklar ayrıştırılmaktadır. Ancak her iki katılımcı grubumuz da katı atıkların azaltılması için girişimlerin yapılmadığını düşünmektedir. Sıfır atık prensibi atıkların azaltılması, tekrar kullanılması ve geri dönüştürülmesi ilkesine dayanmaktadır ve bu farkındalık ancak eğitimlerle gerçekleşebilir. Kullanılacak malzemelerin bilinçli olarak seçilmesi, tekrar kullanılabilen malzemeler seçilmesi, doğa için tehlike yaratan malzemelerin kullanımını azaltacağı gibi günümüzde en çok kullandığımız cep telefonu, bilgisayar gibi elektronik malzemelerin yanı sıra zehirli atık olduğu bilinen pillerin doğayı koruyarak nasıl bertaraf edileceği gibi sıfır atık temel prensiplerinin öğrencilerin eğitim-öğretim programlarına ders olarak eklenmesi öğrencilerin atıklar konusunda doğru davranış geliştirmesini sağlayacaktır. Sürdürülebilir performanslar açısından ülkemiz üniversitelerinin ortalamasınının üstünde farkındalığa sahip olan akademisyenlerimiz ve öğrencilerimizin uygulamaları ortalama olarak değerlendirmeleri yapılacak yeni projelere hazır olduklarının bir kanıtı olarak değerlendirilmelidir.

## Teşekkür

Bu makale 4. Uluslararası 24 Kasım Başöğretmen Eğitim ve Yenilikçi Bilimler Sempozyumunda sunulan “Sürdürülebilir Bir Üniversite Yerleşkesi İçin Sıfır Atık Yönetimi: Kimya Bölümlerinde Katı Atık Algı ve Alışkanlıkları Üzerinden Bir İnceleme” başlıklı sözlü bildirinin genişletilmiş halidir.



## **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

## **Kaynakça**

- Akanyeti İ., Kazımoğlu Ç. Üniversite öğrencilerinin katı atık kirliliği ve yönetimi konusundaki farkındalıkları ve davranışlarına eğitimin etkileri. *Folklor/Edebiyat* 2019; 25(97): 128-145.
- Allen P., Bennett K., Heritage B. *SPSS statistics version 22: a practical guide*. Cengage Learning Australia; 2014.
- Al-shatnawi Z., Alnusairat S., Kakani A. Towards zero solid waste in Jordanian universities: the case of Al-Ahliyya Amman University. *Environmental Research, Engineering and Management* 2020; 76(4): 46-59.
- Anonim, Bölgesel Çevre Merkezi – REC Türkiye. Avrupa Birliği çevre mevzuatı yayınları. Ankara: Bölgesel Çevre Merkezi – REC Türkiye; 2010.
- Anonim, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim ve Araştırma Merkezi (ÇASGEM), Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. Avrupa Birliği'nde İş Sağlığı ve Güvenliği. Ankara: ÇASGEM Yayınevi; 2014.
- Anonim, Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği (Resmî Gazete Tarihi: 25.11.2014 Resmî Gazete Sayısı: 29186).
- Anonim, İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (Resmî Gazete Tarihi: 30.06.2012 Resmî Gazete Sayısı: 28339).
- Anonim, Sıfır Atık Yönetmeliği (Resmî Gazete Tarihi: 12.07.2019 Resmî Gazete Sayısı: 30829).
- Bahçelioğlu E., Buğdaycı ES., Doğan NB., Şimşek N., Kaya SÖ., Alp E. Integrated solid waste management strategy of a large campus: A comprehensive study on METU campus, Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 2020; 265, 121715.
- Baltacı A. Nitel araştırmalarda örnekleme yöntemleri ve örnek hacmi sorunsalı üzerine kavramsal bir inceleme. *Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* 2018; 7(1): 231-274.
- Bilgen H., Yaylagülü D. Development of hazardous waste management system and zero waste strategy at Mersin University, Turkey. *Eurasian Journal of Environmental Research* 2020; 4(2): 10-16.
- Cici M., Şahin N., Şeker H., Görgeç İ., Deniz S. Öğretmen adaylarının katı atık kirliliği bağlamında çevresel farkındalık ve bilgi düzeyleri. *Journal of Educational Sciences & Practices* 2005; 4(7): 37-50.
- Demirbilek T. İş Güvenliği Kültürü. 1. Baskı. İzmir: Dokuz Eylül Yayınları; 2005.
- Field A. *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. 4th ed. London: Sage; 2013.

- George D., Mallery M. SPSS for Windows Step by Step: A simple Guide and Reference. 10th ed. Boston: Pearson; 2010.
- Haksevenler BHG., Kavak FF, Akpınar A. Sıfır atık yönetimi, Marmara Üniversitesi Anadoluhisari kampüsü örneği. Kent Akademisi 2020; 13(4): 722-735.  
<https://rec.org.tr/wp-content/uploads/2017/08/ab-cevre-mevzuati.pdf>
- Iresha FM., Prasojo SA. Evaluation of solid waste management at campus using the “zero waste index: the case on campus of Islamic university of Indonesia. In MATEC Web of Conferences 2018; 154(02004): 1-5.
- Marcinkowski T., Reid A. Reviews of research on the attitude–behavior relationship and their implications for future environmental education research. Environmental Education Research 2019; 25(4): 459-471.
- Mason IG., Brooking AK., Oberender A., Harford JM., Horsley PG. Implementation of a zero waste program at a university campus. Resources, Conservation and Recycling 2003; 38(4): 257-269.
- Oral HV., Eren Ö., Yay ASE., Saygın H. Environmental citizenship perception and behavior among university engineering students in the Marmara Region of Turkey. Environment, Development and Sustainability 2021; 23(3): 3638–3652
- Ömürbek V., Erk Ç., Herek S. Üniversitelerde atık yönetimi uygulamaları. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 2019; (35): 124-161.
- Smyth DP., Fredeen AL., Booth AL. Reducing solid waste in higher education: The first step towards ‘greening’ a university campus. Resources, Conservation and Recycling, 2010; 54(11): 1007-1016.
- Song Q., Li J., Zeng X. Minimizing the increasing solid waste through zero waste strategy. Journal of Cleaner Production 2015;104: 199-210.
- Uhl C., Anderson A. Green destiny: universities leading the way to a sustainable future. BioScience 2001; 51(1): 36–42.
- URL1:<https://zerowasteurope.eu/what-is-zero-waste/> (Erişim Tarihi:11.05.2021)
- URL2:<https://sifiratik.gov.tr/kutuphane/etkinlikler#page-1> (Erişim Tarihi:10.05.2021)
- URL3:[www.yesiluniversite.omu.edu.tr\(cevreciyapilanma/anket/cevre-duyarlilik-anketi-degerlendirme](http://www.yesiluniversite.omu.edu.tr(cevreciyapilanma/anket/cevre-duyarlilik-anketi-degerlendirme) (Erişim Tarihi:31.10.2019)
- URL4:<https://kampus.metu.edu.tr/bilimsel/surdurulebilir-yesil-kampus-yonetimi-odtu-kampusu-uygulamasi> (Erişim Tarihi:11.05.2021)
- URL5: <https://www.research-advisors.com/tools/SampleSize.htm> (Erişim Tarihi: 05.01.2023)
- URL6: <https://yokatlas.yok.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 10.08.2019)
- URL7: <http://www.agri.ankara.edu.tr/2018/11/22/> (Erişim Tarihi: 27.12.2022)
- URL8:<https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/ranking-by-country-2020/Turkey> (Erişim Tarihi:11.05.2021)

Zülfikar H. İstanbul ilindeki üniversite öğrencilerinin katı atıklara ilişkin algı ve davranışları üzerine ölçüm ve analizler. Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi 2013; (64/65): 61-74.

## Türkiye'deki Profesyonel ve Amatör Lig Futbolcularının Organik Gıda Tercihlerinin Çeşitli Değişkenler Açısından İncelenmesi

Fatih EVLİ<sup>1</sup>, Osman GIDIK<sup>2\*</sup>, Meltem EVLİ<sup>3</sup>, Betül GIDIK<sup>4</sup>, Murat KUL<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Hitit Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Spor Yöneticiliği Bölümü. 19000. Çorum. Türkiye.

<sup>2</sup>Bayburt Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi. 69000. Türkiye.

<sup>3</sup>Hitit Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Terapi ve Rehabilitasyon Bölümü. 19000. Çorum. Türkiye.

<sup>4</sup>Bayburt Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Organik Tarım İşletmeciliği Bölümü. 69000. Türkiye.

<sup>5</sup>Bayburt Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi. Spor Yöneticiliği Bölümü. 69000. Türkiye

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-8783-6932>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-0811-9324>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0001-5023-3951>

<sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-3617-899X>

<sup>5</sup><https://orcid.org/0000-0001-6391-8079>

\*Sorumlu yazar: [osmangidik@gmail.com](mailto:osmangidik@gmail.com)

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 21.03.2023

Kabul tarihi:07.09.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Organik  
Beslenme  
Futbol  
Profesyonel  
Amatör

### ÖZ

Bu çalışmanın amacı; amatör ve profesyonel liglerde futbol oynayan futbolcuların organik gıda tercihlerinin, medeni durum, oynadığı lig, yaş, spor yaşı, eğitim durumu, oynadığı mevki, gelir düzeyi gibi değişkenler açısından incelemektir. Çalışma, amatör liglerde oynayan 838, profesyonel liglerde oynayan 233, toplamda 1071 futbolcunun katılımı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada veri toplama aracı olarak; Kişisel Bilgi Formu, futbolcuların organik gıdalara yönelik algı düzeylerini belirlemek için Sarıkaya, (2007), tarafından hazırlanan “organik ürün tüketimini etkileyen faktörler ve tutumlar” ve Leblebici Kacur, (2009), tarafından hazırlanan “Erciyes Üniversitesi iktisadi ve idari bilimler fakültesi akademik ve idari personeli ile iktisadi ve idari bilimler fakültesi işletme bölümünde öğrenim gören gündüz ve ikinci öğretim öğrencilerinin organik ürünleri algılamaları” ölçekleri kullanılmıştır. Çalışmada, T-test, Anova ve Tukey Post Hoc testleri kullanılmıştır. Sonuç olarak katılımcıların medeni durum, yaş, eğitim durumu, lig ve gelir durumu değişkenleri ile organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı, organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı ve organik gıdaya yönelik tutum arasında ( $p<0,05$ ) düzeyinde anlamlı farklılıkların olduğu tespit edilmiştir. Çalışmaya katılan futbolcuların organik gıda bilgi düzeylerinin bazı değişkenlere göre farklılık göstermekle birlikte organik gıdaları sağlıklı buldukları sonucuna ulaşılmıştır.

## Investigation of the Organic Food Preferences of Professional and Amateur League Football Players in Turkey in Terms of Various Variables

### Research Article

#### Article History:

Received: 21.03.2023

Accepted: 07.09.2023

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Organic  
Nutrition  
Football  
Professional  
Amateur

### ABSTRACT

The aim of this study is to examine the organic food preferences of football players playing in amateur and professional leagues in terms of variables such as marital status, league played, age, sports age, educational status, position played, income level. The study was conducted with the participation of 838 football players playing in amateur leagues, 233 playing in professional leagues and a total of 1071 football players. As a data collection tool in the study; The Personal Information Form, “Factors and attitudes affecting organic product consumption” prepared by Sarıkaya, (2007) and “Perceptions of organic

products by academic and administrative staff of the faculty of economics and administrative sciences of Erciyes University and daytime and secondary students studying at the department of business of the faculty of economics and administrative sciences” scales prepared by Leblebici Kacur, (2009) were used to determine the perception levels of football players towards organic foods. In the study, T-test, Anova and Tukey Post Hoc tests were used. As a result, it was found that there were significant differences at the level of marital status, age, educational status, league and income status variables of the participants, as well as the perception of awareness level of organic food, Decency perception towards organic food and attitude towards organic food ( $p<0.05$ ). Although the organic food knowledge levels of the football players participating in the study differ according to some variables, it was concluded that they found organic foods healthy.

**To Cite:** Evli F., Gıdık O., Evli M., Gıdık B., Kul M. Türkiye’deki Profesyonel ve Amatör Lig Futbolcularının Organik Gıda Tercihlerinin Çeşitli Değişkenler Açısından İncelenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 6(3): 2361-2377.

## 1. Giriş

Üretimin en başından itibaren tüm aşamalarında sağlığa zararlı hiçbir uygulamanın yapılmadığı ve organik olarak sertifikalandırılan gıdalar, organik gıda olarak tanımlanmaktadır. Organik gıdalar çok eski zamanlardan beri kullanılmaktadır. Yeşil devrim olarak adlandırılan ve yüksek verim sağlamak amacıyla bilinçsizce ve yoğun olarak kullanılan kimyasal maddeler verimli topraklara zarar vererek, tarım ürünlerini ve bunlarla beslenen kişileri olumsuz etkilemiştir. Kontrolsüzce kullanılan zirai ilaçların olumsuz etkilerinin belirlenmesi, organik üretim yöntemlerinin tercih edilmesini ve her geçen gün değer kazanmasını sağlamıştır (Çetiner, 2013). Organik yöntemler ile üretilen ürünler arasında ilk sıralarda gıda maddeleri gelmektedir. Bu konuda yapılan bilgilendirmeler olumlu etkiler göstererek kişileri organik ürünler tüketmeye yönlendirmektedir.

Organik gıdalar son zamanlarda toplumun birçok kesimi tarafından tercih edilmektedir. Sağlıklı beslenme konusunda ilk tercih organik ürünler olmaktadır. Genellikle organik gıda tüketenlerin sağlık konusunda bilgi sahibi olan kişiler olduğu ve bu kişilerin aynı zamanda çevre dostu yöntemler nedeni ile organik gıdaları tercih ettiği (Schifferstein ve Oude Ophuis, 1998), söylene de asıl tercih sebebinin sağlıklı kalma isteği olduğu bilinmektedir (Grankvist ve Biel, 2001; Lockie ve ark., 2002; Chen, 2009). Bunların yanı sıra organik gıda tüketicilerinin yaşam standartları, eğitim düzeyleri, aylık gelirleri ve meslekleri ile organik gıda tercihleri arasında önemli bir ilişki bulunmaktadır (Hughner ve ark., 2007). İnsan sağlığını olumlu ya da olumsuz etkileyen faktörlerin arasında en önemlisi beslenmedir. Başarılı olmak isteyen sporcular için, beslenme şekli ve tercihlerinin çok önemli olduğu bilinmektedir. Sporcuların genetik özellikleri, antrenman düzenleri ve mental durumlarının başarıya katkı sağlamasının yanı sıra doğru ve sağlıklı beslenme seçeneklerinin de katkısı göz ardı edilemez (Şakar, 2009).

Spor dalları arasında en çok bilinen ve ilk akla gelen futboldur. Çok fazla kişiyi sporcu olarak bünyesinde bulundurması ve bundan daha fazlasını da izleyici olarak bu spor dalının içine alması futbolun önemini artırmaktadır (İnal, 2004). Futbol çok geniş sporcu kitlesine hitap etmekle birlikte amatör ve profesyonel olmak üzere iki temel gruba ayrılmaktadır. Bu gruplara bağlı olarak alt ligler

oluşmakta ve belirli takımlar bu liglerde mücadele etmektedir. Aynı liglerde yer alan takımlar sosyo-ekonomik ve fiziki özellikleri bakımından birbirlerine yakın olanaklara sahip iken; farklı liglerde mücadele eden takımlar için bu benzerlik söz konusu olmayabilir.

Futbolcuların beslenme alışkanlıklarını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Antrenör, yaş, eğitim durumu ve günlük öğün sayısı bunların arasında sayılabilir. Sporcuların beslenme alışkanlıklarının performanslarında önemli rol oynadığı ve alınan vitamin desteğinin çok etkili olmadığı belirlenmiştir. Doğru beslenme alışkanlıklarının iyi bir antrenman kadar önemli olduğu bilinmektedir (Thomas, 1988; Parker, 1991; Devlin ve ark., 2017).

Sporcuların performanslarının antrenman durumu, genetik özellikleri ve beslenme şekli ile doğrudan bağlantılı olduğu bilinmektedir (Ogle ve ark., 1995). Kişinin fizyolojik özellikleri, sağlık durumu, çevresel faktörler ve beslenme durumunun performansı etkilediği farklı çalışmalarla belirtilmiştir (Reilly, 1997; Köse ve ark., 2023).

Bu çalışmanın amacı; Türkiye'deki amatör ve profesyonel liglerde oynayan futbolcuların oynadığı lig, medeni durum, eğitim durumu ve yaş gibi özellikleri ile organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı, organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı ve organik gıdaya yönelik tutum arasında anlamlı farkların olup olmadığını belirlemektir.

## **2. Materyal ve Metot**

Araştırma kapsamında, Hitit Üniversitesi tarafından, 2022-169 sayılı ve 2022-17 karar numarası ile Etik Kurul Onayı alınmıştır.

Araştırma, sağlıklı beslenmenin öneminin özellikle spor yapan bireyler tarafından ne şekilde algılandığını belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Araştırmadaki futbolcuların organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı, organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı ve organik gıdaya yönelik tutum ile çeşitli değişkenler açısından anlamlı ilişkilerin olup olmadığını ortaya koymak amaçlanmış ve genel tarama modeli kullanılmıştır. Katılımcılara organik ve güvenilir gıdalar konusunda demografik sorular yöneltilerek bu konudaki bilgi düzeyleri belirlenmiştir.

Araştırmaya 2021-2022 sezonunda aktif olarak amatör liglerde (Bölgesel Amatör, Süper Amatör, 1. Amatör, 2. Amatör) futbol oynayan 838, profesyonel liglerde (Süper Lig, 1. Lig, 2. Lig, 3. Lig) aktif olarak futbol oynayan 233 toplamda 1071 futbolcu dahil edilmiştir. Veri toplama işlemi çevrim içi olarak gerçekleşmiştir. Verilerin toplanması hakkında detaylı bilgi katılımcılara kişisel bilgi formunda verilmiştir. Katılımcılar çalışmaya gönüllü olarak katılım sağlamışlardır.

Katılımcılara, organik ürün tüketimini etkileyen faktörler ve tutumlar üzerine bir saha çalışması (Sarıkaya, 2007), yeşil pazarlama: (Tirkeş, 2008), Türkiye'de organik gıda ürünlerinin kullanımını artırmaya yönelik stratejiler, (Dahan, 2008), organik gıda sektöründe niş pazarlama stratejileri, (Leblebici Kacur, 2009), Erciyes Üniversitesindeki akademik ve idari personelleri ile iktisadi ve idari bilimlerin işletme bölümünde öğrenim gören gündüz ve ikinci öğretim öğrencilerinin organik ürünleri algılamaları konusunda yapılan çalışmalardan yararlanılmıştır. Birinci bölüm; turizm işletmeciliğinde,

organik gıdaya yönelik farkındalık düzeylerinin ölçülmesi olup 20 maddeden oluşmaktadır. İkinci bölüm; turizm işletmeciliğinde, organik gıdaya yönelik dezavantaj algısını ölçmeye yarayan ve 6 maddeden meydana gelmektedir. Üçüncü bölüm ise; turizm işletmeciliğinde, organik gıdalara yönelik tutum düzeylerini ölçmek için kullanılan ve 4 maddeden oluşmaktadır. Cronbach's Alpha güvenirlik test sonuçları incelendiğinde; “organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı” ölçeğinin 0,912, “organik gıdalara yönelik dezavantaj algısı” ölçeğinin 0,733 ve “organik gıdalara yönelik tutum” ölçeğinin ise 0,755 düzeylerinde olduğu görülmektedir. Çalışmada kullanılan ölçeklerden bazı sorularda değişiklik yapılarak revize edilmiş şekli ile kullanılmıştır. Kullanılan ölçeklerin 5’li likert tipinde; (1) kesinlikle katılmıyorum, (2) katılmıyorum, (3) kararsızım, (4) katılıyorum ve (5) kesinlikle katılıyorum şeklinde olduğu bilinmektedir. Katılımcılara internet aracılığı ile uzaktan erişim sağlanmıştır. Ölçekler uygulanmadan önce katılımcılara çalışmanın gönüllülük esasına göre gerçekleştirildiği bilgisi aktarılmıştır.

Araştırmada elde edilen veriler detaylı olarak incelenmiştir. Normal dağılan verilerin analizlerinde, iki bağımsız değişken arasındaki farklılığı tespit amacı ile T-Test analizi uygulanmıştır. İki den fazla bağımsız değişkenin aralarında farklılıkları belirlemek için Anova testi ve farklılıkların hangi gruplarda olduğunu tespit etmek için ise Tukey testi yapılarak istatistiksel olarak sonuca ulaşılmıştır. Çalışmada ortaya çıkan farklılıkların  $p < 0,05$  düzeyinde anlamlı kabul edildiği görülmektedir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Tablo 1’i incelediğimizde; Cronbach's Alpha güvenirlik katsayısı değerlerinde, ölçeğin genel güvenirliğinin 0,807 ile yüksek güvenirlikte, organik gıdaların farkındalık düzeyi algısının 0,762 ile oldukça güvenilir, organik gıdaya yönelik dezavantaj algısının 0,840 ile yüksek güvenirlikte, organik gıdaya yönelik tutumunun 0,818 ile yüksek güvenirlikte olduğu görülmüştür. Elde edilen bu değerler, çalışmada kullanılan ölçeğin yüksek güvenirlik seviyesinde olduğunu göstermektedir.

**Tablo 1.** Cronbach's Alpha güvenirlik test sonuçları

Ölçek ve Alt Boyutları	Cronbach's Alpha Katsayısı	Soru Sayısı
Organik Gıdaların Farkındalık Düzeyi Algısı	0,762	14
Organik Gıdaya Yönelik Dezavantaj Algısı	0,840	6
Organik Gıdaya Yönelik Tutum	0,818	4
Ölçeğin Genel Güvenirliği	0,807	24

Tablo 2’de katılımcıların; çalışmada kullanılan “organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı”, “organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı” ve “organik gıdaya yönelik tutum” ölçekleri ile medeni durum değişkeninin T-testi analiz sonuçlarında; evli ve bekar olan futbolcular arasında anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir ( $p < 0,05$ ).

**Tablo 2.** Medeni durum değişkenine göre yapılan, T-Test analiz sonuçları

Medeni Durum							
Ölçek	Medeni Durum	n	x	ss	sd	t	p
Organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı	Evli	548	4,161	0,292	924,040	4,608	<b>0,000*</b>
	Bekar	523	4,068	0,422			
Organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı	Evli	548	1,816	0,586	996,611	-2,777	<b>0,005*</b>
	Bekar	523	1,929	0,736			
Organik gıdaya yönelik tutum	Evli	548	4,680	0,425	896,736	5,989	<b>0,000*</b>
	Bekar	523	4,478	0,646			

\*p&lt;0,05 düzeyinde anlamlı

Tablo 3'te katılımcıların; çalışmada kullanılan "organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı", "organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı" ve "organik gıdaya yönelik tutum" ölçekleri ile kronik hastalıklarının olup olmaması durumuna göre yapılan T-testi analiz sonuçlarında anlamlı farklılıkların olduğu tespit edilmiştir (p<0,05).

**Tablo 3.** Kronik hastalık durum değişkenine göre yapılan, T-Test analiz sonuçları

Kronik Bir Hastalığınız Var mı?							
Ölçek	Hastalık	n	x	ss	sd	t	p
Organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı	Var	14	3,862	0,528	1069,000	-2,573	<b>0,010*</b>
	Yok	1057	4,114	0,361			
Organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı	Var	14	2,892	0,726	13,281	5,297	<b>0,000*</b>
	Yok	1057	1,858	0,654			
Organik gıdaya yönelik tutum	Var	14	3,750	1,286	13,058	-2,449	<b>0,029*</b>
	Yok	1057	4,592	0,529			

\*p&lt;0,05 düzeyinde anlamlı

Tablo 4'te katılımcıların; çalışmada kullanılan "organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı", "organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı" ve "organik gıdaya yönelik tutum" ölçekleri ile futbolcuların organik ürünler hakkında bilgi sahibi olup olmaması değişkeninin T-testi analiz sonuçlarında; anlamlı farklılıkların olduğu tespit edilmiştir (p<0,05).

**Tablo 4.** Organik ürünler bilgi düzeyi değişkenine göre yapılan, T-Test analiz sonuçları

Organik Ürünler Hakkında Bilgi Sahibi misiniz?							
Ölçek	Bilgi	n	x	ss	sd	t	p
Organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı	Evet	961	4,148	0,333	122,300	7,910	<b>0,000*</b>
	Hayır	110	3,788	0,462			
Organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı	Evet	961	1,802	0,628	131,214	-9,876	<b>0,000*</b>
	Hayır	110	2,474	0,680			
Organik gıdaya yönelik tutum	Evet	961	4,634	0,516	125,278	7,981	<b>0,000*</b>
	Hayır	110	4,122	0,649			

\*p&lt;0,05 düzeyinde anlamlı



Tablo 5’te futbolcuların; çalışmada kullanılan “organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı”, “organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı” ve “organik gıdaya yönelik tutum” ölçekleri ile organik ürünleri sağlıklı bulup bulmadıkları değişkeninin T-testi analiz sonuçlarında; anlamlı farklılıkların olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ).

**Tablo 5.** Organik ürünleri sağlıklı bulma değişkenine göre yapılan, T-Test analiz sonuçları

<b>Organik Ürünleri Sağlıklı Bulma Durumu</b>							
<b>Ölçek</b>	<b>Sağlık</b>	<b>n</b>	<b>x</b>	<b>ss</b>	<b>sd</b>	<b>t</b>	<b>p</b>
Organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı	Evet	1057	4,119	0,349	13,068	3,145	<b>0,008*</b>
	Hayır	14	3,459	0,784			
Organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı	Evet	1057	1,856	0,652	1069,000	-6,501	<b>0,000*</b>
	Hayır	14	3,000	0,753			
Organik gıdaya yönelik tutum	Evet	1057	4,598	0,533	1069,000	9,018	<b>0,000*</b>
	Hayır	14	3,303	0,529			

\* $p<0,05$  düzeyinde anlamlı

Tablo 6’da katılımcıların; çalışmada kullanılan “organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı”, “organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı” ve “organik gıdaya yönelik tutum” ölçekleri ile organik ürünlerin çevre dostu olmaları değişkeninin T-testi analiz sonuçlarında; anlamlı farklılıkların olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ).

**Tablo 6.** Organik ürünlerin çevre dostu olma değişkenine göre yapılan, T-Test analiz sonuçları

<b>Organik Ürünlerin Çevre Dostu Olma Durumu</b>							
<b>Ölçek</b>	<b>Çevre Dostu</b>	<b>n</b>	<b>x</b>	<b>ss</b>	<b>sd</b>	<b>t</b>	<b>p</b>
Organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı	Evet	1029	4,129	0,341	42,141	5,072	<b>0,000*</b>
	Hayır	42	3,666	0,587			
Organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı	Evet	1029	1,840	0,651	1069,000	-7,740	<b>0,000*</b>
	Hayır	42	2,630	0,572			
Organik gıdaya yönelik tutum	Evet	1029	4,620	0,511	42,906	9,367	<b>0,000*</b>
	Hayır	42	3,625	0,681			

\* $p<0,05$  düzeyinde anlamlı

Tablo 7’de katılımcıların; çalışmada kullanılan “organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı” ile organik ürünlerin çevre dostu olmaları değişkeninin T-testi analiz sonuçlarında; anlamlı farklılıkların olmadığı belirlenmiştir ( $p<0,05$ ). “Organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı” ve “organik gıdaya yönelik tutum” ölçeklerinde anlamlı farklılıkların olduğu tespit edilmiştir ( $p<0,05$ ).

**Tablo 7.** Organik gıdaları besleyici bulma değişkenine göre yapılan, T-Test analiz sonuçları

<b>Organik Ürünleri Daha Besleyici Bulma Durumu</b>							
<b>Ölçek</b>	<b>Besleyici</b>	<b>n</b>	<b>x</b>	<b>ss</b>	<b>sd</b>	<b>t</b>	<b>p</b>
Organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı	Evet	1054	4,116	0,356	16,139	1,829	0,086
	Hayır	17	3,810	0,686			
Organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı	Evet	1054	1,856	0,655	1069,000	-6,165	<b>0,000*</b>
	Hayır	17	2,843	0,566			
Organik gıdaya yönelik tutum	Evet	1054	4,593	0,538	16,182	3,431	<b>0,003*</b>
	Hayır	17	3,838	0,905			

\*p<0,05 düzeyinde anlamlı

Tablo 8’de futbolcuların; çalışmada kullanılan “organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı”, “organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı” ve “organik gıdaya yönelik tutum” ölçekleri ile organik ürünlerin güvenilir olmaları değişkeninin T-testi analiz sonuçlarında; anlamlı farklılıkların olduğu tespit edilmiştir (p<0,05).

**Tablo 8.** Organik gıdaların güvenilir olma değişkenine göre yapılan, T-Test analiz sonuçları

<b>Organik Ürünlerin Güvenilir Olma Durumu</b>							
<b>Ölçek</b>	<b>Güvenilir</b>	<b>n</b>	<b>x</b>	<b>ss</b>	<b>sd</b>	<b>t</b>	<b>p</b>
Organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı	Evet	1058	4,117	0,359	1069,000	4,978	<b>0,000*</b>
	Hayır	13	3,615	0,476			
Organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı	Evet	1058	1,860	0,659	1069,000	-5,158	<b>0,000*</b>
	Hayır	13	2,807	0,485			
Organik gıdaya yönelik tutum	Evet	1058	4,594	0,539	1069,000	6,854	<b>0,000*</b>
	Hayır	13	3,557	0,722			

\*p<0,05 düzeyinde anlamlı

Tablo 9’da “organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı” ile yaş değişkeninde anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Anlamlılığın hangi gruplar arasında olduğuna bakıldığında ise; 16-20 yaş, 26-30 yaş ve 31-35 yaşları arasında aynı zamanda; 21-25 yaş, 26-30 yaş ve 31-35 yaşları arasında olduğu sonucuna ulaşılmıştır. “Organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı” ile yaş değişkeninde anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Anlamlılığın hangi gruplar arasında olduğuna bakıldığında ise; 16-20 yaş, 21-25 yaş, 26-30 yaş ve 31-35 yaşlar arasına aynı zamanda; 26-30 yaş, 21-25 yaş, 31-35 yaş ve 36 üstü yaşlarda olduğu sonucuna ulaşılmıştır. “Organik gıdaya yönelik tutumun”, yaş değişkeninde anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Anlamlılığın hangi gruplar arasında olduğuna bakıldığında ise; 16-20 yaş, 21-25 yaş, 26-30 yaş, 31-35 yaş ve 36 üstü yaşlarda aynı zamanda; 26-30 yaş, 21-25 yaş, 31-35 yaş ve 36 yaş ve üstü yaşlarda olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Tablo 9.** Katılımcı yaş değişkenine göre yapılan, Anova-Tukey analiz sonuçları

Ölçek	Yaş	Yaş			f	p	Tukey
		n	x	ss			
Organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı	16-20 Yaş <sup>a</sup>	193	3,997	0,449	13,102	<b>0,000*</b>	<b>a&gt;c, d</b> <b>b&gt;c, d</b>
	21-25 Yaş <sup>b</sup>	267	4,048	0,349			
	26-30 Yaş <sup>c</sup>	381	4,187	0,314			
	31-35 Yaş <sup>d</sup>	148	4,187	0,366			
	36 Yaş ve Üstü <sup>e</sup>	82	4,090	0,304			
Organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı	16-20 Yaş <sup>a</sup>	193	2,094	0,802	14,707	<b>0,000*</b>	<b>a&gt;b, c, d</b> <b>b&gt;c, d, e</b>
	21-25 Yaş <sup>b</sup>	267	1,843	0,630			
	26-30 Yaş <sup>c</sup>	381	1,730	0,605			
	31-35 Yaş <sup>d</sup>	148	1,834	0,659			
	36 Yaş ve Üstü <sup>e</sup>	82	2,166	0,461			
Organik gıdaya yönelik tutum	16-20 Yaş <sup>a</sup>	193	4,330	0,761	20,715	<b>0,000*</b>	<b>a&gt;b, c, d, e</b> <b>b&gt;c, d, e</b>
	21-25 Yaş <sup>b</sup>	267	4,559	0,523			
	26-30 Yaş <sup>c</sup>	381	4,750	0,384			
	31-35 Yaş <sup>d</sup>	148	4,530	0,567			
	36 Yaş ve Üstü <sup>e</sup>	82	4,554	0,453			

\*p&lt;0,05 düzeyinde anlamlı

Tablo 10’da “organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı” ile eğitim durumu değişkeninde anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Anlamlılığın hangi gruplar arasında olduğuna bakıldığında ise; ortaokul ile lise arasında aynı zamanda ortaokul, ön lisans ve lisans arasında olduğu sonucuna ulaşılmıştır. “Organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı” ile eğitim durumu değişkeninde anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Anlamlılığın hangi gruplar arasında olduğuna bakıldığında ise; ilkokul ile ortaokul arasında, ortaokul, ön lisans ve lisans arasında aynı zamanda ön lisans ve lisans arasında olduğu sonucuna ulaşılmıştır. “Organik gıdaya yönelik tutumun”, eğitim durumu değişkeninde anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Anlamlılığın hangi gruplar arasında olduğuna bakıldığında ise; ortaokul ile lisans arasında, lise, ön lisans ve lisans arasında aynı zamanda ön lisans ve lisans arasında olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

**Tablo 10.** Katılımcıların eğitim değişkenine göre yapılan, Anova-Tukey analiz sonuçları

Ölçek	Eğitim Durumu			f	p	Tukey	
	Eğitim	n	x				ss
Organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı	İlkokul <sup>a</sup>	8	4,160	0,063	8,859	<b>0,000*</b>	<b>b&gt;e</b> <b>c&gt;d, e</b>
	Ortaokul <sup>b</sup>	50	3,964	0,432			
	Lise <sup>c</sup>	331	4,029	0,410			
	Ön Lisans <sup>d</sup>	268	4,120	0,289			
	Lisans <sup>e</sup>	400	4,186	0,338			
	Lisansüstü <sup>f</sup>	14	4,204	0,565			

Organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı	İlkokul <sup>a</sup>	8	1,437	0,470	7,363	<b>0,000*</b>	<b>a&gt;b</b> <b>b&gt;d, e</b> <b>c&gt;d, e</b>
	Ortaokul <sup>b</sup>	50	2,213	0,531			
	Lise <sup>c</sup>	331	1,980	0,731			
	Ön Lisans <sup>d</sup>	268	1,790	0,573			
	Lisans <sup>e</sup>	400	1,795	0,662			
	Lisansüstü <sup>f</sup>	14	2,059	0,537			
Organik gıdaya yönelik tutum	İlkokul <sup>a</sup>	8	4,625	0,582	10,274	<b>0,000*</b>	<b>b&gt;e</b> <b>c&gt;d, e</b> <b>d&gt;e</b>
	Ortaokul <sup>b</sup>	50	4,430	0,413			
	Lise <sup>c</sup>	331	4,441	0,672			
	Ön Lisans <sup>d</sup>	268	4,579	0,439			
	Lisans <sup>e</sup>	400	4,718	0,498			
	Lisansüstü <sup>f</sup>	14	4,571	0,372			

\*p<0,05 düzeyinde anlamlı

Tablo 11’de “organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı” ile katılımcıların oynadığı lig değişkeni incelenmiş ve tüm gruplar arasında anlamlı farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte; 1. lig, 3.lig ve süper amatör arasında, 3. lig ile 1. amatör lig arasında, bölgesel amatör ile süper amatör lig arasında, süper amatör lig, 1. amatör lig ve 2. amatör lig arasında anlamlı farklılıklar olduğu belirlenmiştir. “Organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı” ile katılımcıların oynadığı lig değişkeni incelenmiş ve anlamlı farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Süper lig, 2. lig, 3. lig, bölgesel amatör lig, süper amatör lig ve 2. amatör lig arasında, 1. lig, 2. lig, süper amatör lig arasında, bölgesel amatör lig, süper amatör lig arasında ve süper amatör lig, 1. amatör lig arasında anlamlı farklılıklar olduğu belirlenmiştir. “Organik gıdaya yönelik tutum” ile katılımcıların oynadığı lig değişkeni incelenmiş ve anlamlı farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Süper lig, 3. lig, süper amatör lig arasında, 1. lig, 2. lig ve 3. lig, bölgesel amatör lig, 1. amatör lig ve süper amatör lig arasında, süper amatör lig, 2. amatör lig arasında anlamlı farklılıklar bulunmuştur.

**Tablo 11.** Katılımcıların oynadıkları lig değişkenine göre yapılan, Anova-Tukey analiz sonuçları

Ölçek	Oynadığımız Lig						Tukey
	Lig	n	x	ss	f	p	
Organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı	Süper Lig <sup>a</sup>	52	4,401	0,281	10,021	<b>0,000*</b>	<b>a&gt;b, c, d,</b> <b>e, f, g, h</b> <b>b&gt;d, f</b> <b>d&gt;g</b> <b>e&gt;f</b> <b>f&gt;g, h</b>
	1. Lig <sup>b</sup>	55	4,190	0,202			
	2. Lig <sup>c</sup>	62	4,093	0,384			
	3. Lig <sup>d</sup>	64	3,979	0,506			
	Bölgesel Amatör Lig <sup>e</sup>	475	4,109	0,350			
	Süper Amatör Lig <sup>f</sup>	115	3,957	0,407			
	1.Amatör Lig <sup>g</sup>	119	4,151	0,341			
	2.Amatör Lig <sup>h</sup>	129	4,138	0,299			

Organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı	Süper Lig <sup>a</sup>	52	1,471	0,383	7,166	<b>0,000*</b>	<b>a&gt;c, d, e, f, h</b> <b>b&gt;c, f</b> <b>e&gt;f</b> <b>f&gt;g</b>
	1. Lig <sup>b</sup>	55	1,630	0,625			
	2. Lig <sup>c</sup>	62	2,077	0,529			
	3. Lig <sup>d</sup>	64	1,981	0,681			
	Bölgesel Amatör Lig <sup>e</sup>	475	1,859	0,644			
	Süper Amatör Lig <sup>f</sup>	115	2,088	0,846			
	1.Amatör Lig <sup>g</sup>	119	1,791	0,688			
	2.Amatör Lig <sup>h</sup>	129	1,909	0,583			
Organik gıdaya yönelik tutum	Süper Lig <sup>a</sup>	52	4,783	0,247	6,226	<b>0,000*</b>	<b>a&gt;d, f, g</b> <b>b&gt;c, d, e, g, f</b> <b>f&gt;h</b>
	1. Lig <sup>b</sup>	55	4,895	0,257			
	2. Lig <sup>c</sup>	62	4,568	0,595			
	3. Lig <sup>d</sup>	64	4,464	0,626			
	Bölgesel Amatör Lig <sup>e</sup>	475	4,568	0,543			
	Süper Amatör Lig <sup>f</sup>	115	4,406	0,751			
	1.Amatör Lig <sup>g</sup>	119	4,556	0,531			
	2.Amatör Lig <sup>h</sup>	129	4,660	0,435			

\*p<0,05 düzeyinde anlamlı

Tablo 12’de “organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı” ile futbolcuların oynadığı mevki değişkeninde; anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Anlamlılığın hangi gruplar arasında olduğu incelendiğinde; defans, orta saha, sağ-sol kanat oyuncularında, orta saha ile forvet arkası oyuncularında, sağ-sol kanat ile forvet oyuncularında anlamlı farklılıklar bulunmuştur. “Organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı” ile futbolcuların oynadığı mevki değişkeninde; anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Anlamlılığın hangi gruplar arasında olduğuna bakıldığında; kaleci, orta saha, sağ-sol kanat ve forvet arkası pozisyonunda oynayan oyuncular arasında, defans, orta saha, sağ-sol kanat ve forvet arkası pozisyonunda oynayan oyuncularda anlamlı farklılıklar bulunmuştur. “Organik gıdaya yönelik tutum” ile futbolcuların oynadığı mevki değişkeninde; anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Anlamlılığın hangi gruplar arasında olduğuna bakıldığında; kaleci ile sağ-sol kanat oyuncularında, defans ile orta saha oyuncularında, sağ-sol kanat ile forvet arkası oyuncularında anlamlı farklılıklar bulunmuştur.

**Tablo 12.** Katılımcıların oynadıkları mevki değişkenine göre yapılan, Anova-Tukey analiz sonuçları

Ölçek	Oynadığınız Mevki						Tukey
	Mevki	n	x	ss	f	p	
Organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı	Kaleci <sup>a</sup>	97	4,121	0,336	6,601	<b>0,000*</b>	<b>b&gt;c, d</b> <b>c&gt;e</b> <b>d&gt;e</b>
	Defans <sup>b</sup>	239	4,034	0,371			
	Orta Saha <sup>c</sup>	276	4,163	0,387			
	Sağ-Sol Kanat <sup>d</sup>	235	4,164	0,325			
	Forvet Arkası <sup>e</sup>	92	4,164	0,266			
	Forvet <sup>f</sup>	132	4,124	0,412			

Organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı	Kaleci <sup>a</sup>	97	2,084	0,712	11,539	<b>0,000*</b>	<b>a&gt;c, d, e</b>
	Defans <sup>b</sup>	239	2,077	0,606			
	Orta Saha <sup>c</sup>	276	1,783	0,676			
	Sağ-Sol Kanat <sup>d</sup>	235	1,698	0,654			
	Forvet Arkası <sup>e</sup>	92	1,789	0,625			
	Forvet <sup>f</sup>	132	1,895	0,629			
Organik gıdaya yönelik tutum	Kaleci <sup>a</sup>	97	4,515	0,493	6,032	<b>0,000*</b>	<b>a&gt;d</b> <b>b&gt;c</b> <b>d&gt;e</b>
	Defans <sup>b</sup>	239	4,459	0,594			
	Orta Saha <sup>c</sup>	276	4,640	0,567			
	Sağ-Sol Kanat <sup>d</sup>	235	4,704	0,506			
	Forvet Arkası <sup>e</sup>	92	4,508	0,547			
	Forvet <sup>f</sup>	132	4,564	0,519			

\*p<0,05 düzeyinde anlamlı

Tablo 13'te "organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı" ile futbolcuların spor yaşı değişkeninde, anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Anlamlılığın hangi gruplar arasında olduğuna bakıldığında; 1-5 yıl, 11-15 yıl ve 16 yıl üzeri lisanslı olanlar arasında, 6-10 yıl, 11-15 yıl ve 16 yıl üzeri lisanslı olanlarda anlamlı farklılıklar bulunmuştur. "Organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı" ile futbolcuların spor yaşı değişkeninde anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Anlamlılığın hangi gruplar arasında olduğuna bakıldığında; 1-5 yıl, 6-10 yıl, 11-15 yıl ve 16 yıl üzeri lisanslı olanlarda anlamlı farklılıklar bulunmuştur. "Organik gıdaya yönelik tutum" ile futbolcuların spor yaşı değişkeninde anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Anlamlılığın hangi gruplar arasında olduğu incelendiğinde; 1-5 yıl, 6-10 yıl, 11-15 yıl ve 16 yıl üzeri lisanslı olanlarda anlamlı farklılıklar bulunmuştur.

**Tablo 13.** Katılımcıların spor yaşı değişkenine göre yapılan, Anova-Tukey analiz sonuçları

Ölçek	Kaç Yıldır Lisanslı Futbol Oynuyorsunuz?				f	p	Tukey
	Spor Yaşı	n	x	ss			
Organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı	1-5 Yıl <sup>a</sup>	121	4,030	0,424	8,550	<b>0,000*</b>	<b>a&gt;c, d</b> <b>b&gt;c, d</b>
	6-10 Yıl <sup>b</sup>	184	4,017	0,439			
	11-15 Yıl <sup>c</sup>	574	4,147	0,316			
	16 Yıl ve Üstü <sup>d</sup>	192	4,142	0,362			
Organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı	1-5 Yıl <sup>a</sup>	121	2,252	0,821	24,509	<b>0,000*</b>	<b>a&gt;b, c, d</b>
	6-10 Yıl <sup>b</sup>	184	1,884	0,700			
	11-15 Yıl <sup>c</sup>	574	1,742	0,610			
	16 Yıl ve Üstü <sup>d</sup>	192	2,006	0,560			
Organik gıdaya yönelik tutum	1-5 Yıl <sup>a</sup>	121	4,258	0,692	29,750	<b>0,000*</b>	<b>a&gt;b, c, d</b>
	6-10 Yıl <sup>b</sup>	184	4,474	0,662			
	11-15 Yıl <sup>c</sup>	574	4,709	0,434			
	16 Yıl ve Üstü <sup>d</sup>	192	4,506	0,544			

\*p<0,05 düzeyinde anlamlı

Tablo 14’te “organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı” ile futbolcuların aylık gelir değişkeninde anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Anlamlılığın hangi gruplar arasında olduğuna bakıldığında; tüm gruplar arasında farklılıklar bulunmuştur. “Organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı” ile futbolcuların aylık gelir değişkeninde anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Anlamlılığın hangi gruplar arasında olduğuna bakıldığında; 1000-2001 TL, 2001-3000TL ve 4001 TL üstü aylık geliri olanlar arasında, 2001-3000 TL ile 3001-4000 TL arasında farklılıklar bulunmuştur. “Organik gıdaya yönelik tutum” ile futbolcuların aylık gelir değişkeninde anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Anlamlılığın hangi gruplar arasında olduğuna bakıldığında; tüm gruplar arasında anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir.

**Tablo 14.** Katılımcıların aylık gelir değişkenine göre yapılan, Anova-Tukey analiz sonuçları

Aylık Gelir							
Ölçek	Aylık Gelir	n	x	ss	f	p	Tukey
Organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı	1000-2000 TL <sup>a</sup>	219	3,982	0,423	11,756	<b>0,000*</b>	<b>a&gt;b, c, d</b>
	2001-3000 TL <sup>b</sup>	388	4,142	0,299			
	3001-4000 TL <sup>c</sup>	183	4,145	0,332			
	4001 TL ve Üstü <sup>d</sup>	281	4,145	0,397			
Organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı	1000-2000 TL <sup>a</sup>	219	2,086	0,798	12,916	<b>0,000*</b>	<b>a&gt;b, c, d</b> <b>b&gt;c</b>
	2001-3000 TL <sup>b</sup>	388	1,748	0,577			
	3001-4000 TL <sup>c</sup>	183	1,918	0,677			
	4001 TL ve Üstü <sup>d</sup>	281	1,845	0,615			
Organik gıdaya yönelik tutum	1000-2000 TL <sup>a</sup>	219	4,380	0,738	14,696	<b>0,000*</b>	<b>a&gt;b, c, d</b>
	2001-3000 TL <sup>b</sup>	388	4,611	0,464			
	3001-4000 TL <sup>c</sup>	183	4,583	0,519			
	4001 TL ve Üstü <sup>d</sup>	281	4,697	0,476			

\*p<0,05 düzeyinde anlamlı

Tablo 15’te “organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı” ile futbolcuların sakatlanma sıklığı değişkeninde; gruplar arasında anlamlı farklılıkların olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. “Organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı” ile futbolcuların sakatlanma sıklığı değişkeninde, tüm gruplar arasında anlamlı farklılıkların olduğu belirlenmiştir. Anlamlılığın hangi gruplar arasında olduğuna bakıldığında; az ile çok arasında, orta ile çok arasında ve sık sık ile çok arasında farklılıklar bulunmuştur. “Organik gıdaya yönelik tutum” ile futbolcuların sakatlanma sıklığı değişkeninde, anlamlı farklılıkların olmadığı belirlenmiştir.

**Tablo 15.** Katılımcıların sakatlanma sıklığı değişkenine göre yapılan, Anova-Tukey analiz sonuçları

Sakatlanma Sıklığınız Nedir?							
Ölçek	Sakatlık	n	x	ss	f	p	Tukey
Organik gıdaların farkındalık düzeyi algısı	Az <sup>a</sup>	703	4,115	0,379	1,991	0,113	-
	Orta <sup>b</sup>	306	4,088	0,338			
	Sık Sık <sup>c</sup>	60	4,188	0,297			
	Çok <sup>d</sup>	2	3,750	0,959			
Organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı	Az <sup>a</sup>	703	1,897	0,666	7,611	<b>0,000*</b>	<b>a&gt;d</b> <b>b&gt;d</b> <b>c&gt;d</b>
	Orta <sup>b</sup>	306	1,782	0,656			
	Sık Sık <sup>c</sup>	60	1,969	0,594			
	Çok <sup>d</sup>	2	3,666	0,000			
Organik gıdaya yönelik tutum	Az <sup>a</sup>	703	4,550	0,559	2,483	0,059	-
	Orta <sup>b</sup>	306	4,634	0,558			
	Sık Sık <sup>c</sup>	60	4,662	0,433			
	Çok <sup>d</sup>	2	5,000	0,000			

\*p<0,05 düzeyinde anlamlı

Araştırma, Türkiye’ de amatör ve profesyonel liglerde faal olarak futbol oynayan futbolcuların organik gıda tercihlerinin çeşitli değişkenler açısından belirlenmesi amacı ile yapılmıştır.

Araştırma kapsamında futbolcuların, medeni durum değişkeni araştırıldığında; çalışmada kullanılan ölçeklerin tümünde farklılıkların olduğu belirlenmiştir (Tablo 2). İçli ve ark., (2016), organik ürün satın alma tercihlerini inceledikleri çalışmada medeni durum değişkeninde anlamlı farklılıkların olmadığını belirlemişlerdir. Kadirhanoğulları ve ark., (2022), yaptıkları çalışmalarda evli katılımcıların organik ürünleri daha çok tükettikleri sonucuna ulaşmışlardır. Evli katılımcıların yaşlarının, sorumluluk düzeylerinin bu sonucu ortaya koyduğu ifade edilebilir.

Katılımcıların, organik ürünler hakkında bilgi sahibi olup olmadıkları ile ilgili değişkeninde bilgi sahibi olanlar lehine anlamlı farklılıklar belirlenmiştir (Tablo 4). Gıdık ve ark., (2022), hokey milli takım oyuncularını üzerinde yaptıkları çalışmada %70,7 oranında bilgi sahibi olduklarını ifade etmektedirler. Sporcuların organik ürünler hakkında yüksek düzeyde bilgi sahibi olmaları spor ve beslenme ilişkisi bağlamında değerlendirilebilir. Organik ürünlerin katılımcıların büyük bir bölümü tarafından sağlıklı bulunması da aynı bağlamda değerlendirilebilir (Tablo 4).

Araştırmada, organik ürünlerin katılımcılar arasında, çevre dostu, besleyici ve güvenilir oldukları ile ilgili olarak anlamlı farklılıklar belirlenmiştir (Tablo 6, 7, 8). Turan ve Demircan, (2021), yaptıkları çalışmada, katılımcıların %70,4’ünün organik ürün tükettiklerini ve %36,33’ünün organik ürünleri güvenli bulduklarını belirtmektedirler. Organik ürünlerin üretim aşamalarında, güvenilir ve çevre dostu olmaları nedeni ile tüketiciler tarafından daha çok dikkate alındığı ve takip edildiği de görülmektedir.

Katılımcıların, yaş gruplarına göre organik gıda tercihleri incelendiğinde, yaş grupları arasında farklılıklar bulunmuştur (Tablo 9). Evli ve ark., (2020), spor yaşı değişkeninde, anlamlı farklılığın



olduğunu belirlemişlerdir. Jáuregui Lobera ve Bolaños Ríos, (2011), tüketicilerin gıda tercihlerini inceledikleri araştırmada katılımcıları dört farklı yaş grubunda değerlendirmiştir. Buna göre 55-64 yaş grubunun gıda tercihlerini belirlerken ürünlerin kalori miktarı, organik olmaları ve kilo kontrolüne yardımcı olmaları şeklinde belirlediklerini ifade etmişlerdir.

Eğitim durumu değişkeninde katılımcılar arasında, çalışmada kullanılan ölçeklerin tümünde anlamlı farklılıklar belirlenmiştir (Tablo 10). Yin ve ark., (2010), çalışmalarında, eğitim düzeyinin organik ürün satın alma üzerinde bir etkisinin olmadığını bildirmişlerdir. Araştırma ile benzer şekilde Dimitri ve Dettmann, (2012), yaptıkları araştırmada eğitim düzeyi arttıkça organik ürün alma eğilimlerinin de arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Kul ve ark., (2021), eğitim seviyesinde, anlamlı farklılığın olmadığını tespit etmişlerdir. Ekizoğlu ve Akyüz, (2022), eğitim durumlarında anlamlı farklılıkların olmadığını belirlemişlerdir.

Katılımcılar, oynadıkları lig değişkeninde, çalışmada kullanılan ölçeklerin tümünde anlamlı farklılıklar belirlenmiştir (Tablo 11). Lisanslı olarak futbol oynama süreleri değerlendirildiğinde üç ölçekte de anlamlı farkların olduğu belirlenmiştir. Futbolcuların ölçeklerden aldıkları puanlar incelendiğinde; lisanslı oynama süreleri arttıkça aldıkları puanların da yükseldiği görülmektedir. Aynı şekilde oynadıkları lig yükseldikçe puanların yine yüksek olduğu sonucu görülmektedir. Bu sonuçları, katılımcıların tecrübeleri arttıkça ve oynadıkları lig zorlaştıkça beslenme ile ilgili tutumlarının belirgin olarak farklılaştığı şeklinde yorumlamak mümkündür.

Aylık gelir değişkeni incelendiğinde, gelir düzeyi yüksek katılımcıların çalışmada kullanılan ölçeklerin tümünde daha yüksek puanlar aldığı görülmektedir (Tablo 14). Bunun yanında organik gıdaya yönelik dezavantaj algısı ölçeğinde gelir düzeyi daha düşük olan katılımcıların yüksek puanlar aldıkları görülmektedir. Zepeda ve Li, (2007), gelir düzeyi arttıkça organik gıdaya karşı tutumunda olumlu yönde artabileceğini belirlemişlerdir. Ekizoğlu ve Oruç, (2022), maddi gelir değişkeninde, farklılığın bulunmadığını bildirmişlerdir.

#### **4. Sonuç**

Bu çalışmada, organik gıdaların güvenilir ve doğal olmasının yanı sıra sporcular tarafından besleyici olarak değerlendirildiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde sporcuların aylık gelir düzeylerinin organik gıda tercihlerine etkisi olduğu ve yaş gruplarına göre bu gıdaları tercih durumlarının değiştiği belirlenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bulgular futbolcuların organik gıda tercihlerinin sadece yaş, tecrübe gibi değişkenlere göre değil çevre ile olan ilişkilerine göre de farklılaştığını göstermiştir. Özellikle sporcuları eğitimi ve yetiştirilmesi konusunda çalışanlar ile bu sektörde yer alanların sporcu beslenmesi konusunda organik gıda tercihlerini de dikkate almaları gerektiği fikrini düşündürmüştür. Bu konuda daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde literatürde yeterli kaynağa ulaşılamamıştır. Daha kapsamlı çalışmalar ile bireylerin organik gıda bilgi düzeyleri ve tercihlerinin belirlenebileceği çalışmaların yapılması ile daha fazla bilgi edinmenin mümkün olabileceği düşünülmektedir.

## **Teşekkür**

Türkiye'nin Profesyonel ve Amatör liglerinde oynayan, çalışmamıza gönüllü olarak katılan tüm futbolculara katılımlarından ve desteklerinden dolayı çok teşekkür ederiz.

## **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**

- Chen MF. Attitude toward organic foods among Taiwanese as related to health consciousness, environmental attitudes, and the mediating effects of a healthy lifestyle. *British Food Journal* 2009; 111(2): 165-178.
- Çetiner S. Yeşil devrim de neymiş. *Maliye Dergisi* 2013; 158: 326-348.
- Dahan GS. Çizgi-altı iletişim faaliyetlerinin niş pazarlardaki önemi ve bir alan çalışması, Selçuk Üniversitesi İletişim Fakültesi Akademik Dergisi 2009; 5(4): 36-49.
- Devlin BL., Leveritt MD., Kingsley M., Belski R. Dietary intake, body composition, and nutrition knowledge of Australian football and soccer players: Implications for sports nutrition professionals in practice. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2017; 27(2): 130-138.
- Dimitri C., Dettmann RL. Organic food consumers: what do we really know about them? *British Food Journal* 2012; 114(8): 1157-1183.
- Ekizoğlu Ö., Akyüz MS. Türk futbolunda seyircilerin video yardımcı hakem (VAR) uygulamasına bakış açılarının incelenmesi. *Akdeniz Spor Bilimleri Dergisi*, 6. Akademik Spor Araştırmaları Kongresi Özel Sayısı 2022; 622-635.
- Ekizoğlu Ö., Oruç G. Determination of the sports products consumer profiles of the Turkish armed forces personnel. *Journal of Pharmaceutical Negative Results* 2022; 13(6): 1582–1591.
- Evli F., Gıdık O., Cerit E. Anxiety levels of footballers in regional amateur and professional leagues during pandemic process. *Ambient Science* 2020; 7(1): 81-85.
- Gıdık O., Kul M., Elbir T., Gıdık B. Hokey Milli takım aday kadrosunda bulunan U14-U16 sporcularının ve antrenörlerinin organik gıda tüketim algı düzeyleri. *Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi* 2022; 2(1): 69-92.
- Grankvist G., Biel A. The importance of belief and purchase criteria in the choice of eco-labelled food products. *Journal of Environmental Psychology* 2001; 21(4): 405-410.

- Hughner RS., McDonagh P., Prothero A., Schultz II CJ., Stanton J. Who are organic food consumer? A compilation and review of why people purchase organic food. *Journal of Consumer Behaviour* 2007; 6(2-3): 94-110.
- İçli EG., Anıl NK., Kılıç B. Tüketicilerin organik gıda satın alma tercihlerini etkileyen faktörler. *Kırklareli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 2016; 5(2): 93-108.
- İnal AN. *Futbola eğitim öğretim*. Nobel yayınevi, 2004; Ankara.
- Jáuregui Lobera I., Bolaños Ríos P. What motivates the consumer's food choice? *Nutrición Hospitalaria* 2011; 26(6): 1313-1321.
- Kadirhanoğulları İH., Kadirhanoğulları MK., Kara MK., Kumlay A. Iğdır İl'inde organik gıda bilgi düzeyinin belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi* 2022; 25(4): 882-889.
- Köse B., Akın A., Yeşil E. Karate branşı sporcularının iki farklı müsabaka öncesi beslenme ve hidrasyon durumlarının belirlenmesi. *Gazi Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 2023; 28(1): 16-21.
- Kul M., Gıdık B., Gıdık O., Şipal O., Şipal Ö. Organic food nutrition knowledge level of Olympic Boxers in Turkey. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2021; 4(3): 250-260.
- Leblebici Kacur L. Erciyes Üniversitesi İİBF akademik ve idari personeli ile İİBF işletme gündüz ve ikinci öğretim öğrencilerinin organik ürünleri algılamaları. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi* 2015; (33): 249-277.
- Lockie S., Lyons K., Lawrence G., Mummery K. Eating green: Motivations behind organic food consumption in Australia. *Sociologia Ruralis* 2002; 42(1): 23-40.
- Ogle GD., Allen JR., Humphries IR., Lu PW., Briody JN., Morley K., Howman-Giles R., Cowell CT. Body-com- position assessment by dual-energy X-ray absorptiometry in sub- jects aged 4–26. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1995; 61(4): 746-753.
- Paker HS. *Sporla beslenme*, Gen Matbaacılık, 1991; Ankara.
- Reilly T. Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 1997; 15: 257-263.
- Sarıkaya N. Organik ürün tüketimini etkileyen faktörler ve tutumlar üzerine bir saha çalışması. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* 2007; (14): 110-125.
- Schifferstein HNJ., Oude Ophuis PAM. Health-related determinants of organic food consumption in the Netherlands. *Food Quality and Preference* 1998; 9(3): 119-133.
- Şakar Ş. Sporcu beslenmesi. *Klinik Gelişim Dergisi*. 2009; 22(1): 1-9.
- Thomas B. *Manual of dietetic practice*. Blackwell Scientific Publications, 1988; London.
- Tirkeş Ç. Yeşil pazarlama: Türkiye'de organik gıda ürünlerinin kullanımını arttırmaya yönelik stratejiler, 2008; *Yayımlanmamış Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi SOBE İşletme ABD, Üretim Yönetimi ve Pazarlama Bilim Dalı, İstanbul.

- Turan B., Demircan V. Organik ürün tüketiminin mevcut durumu ve tüketimi etkileyen faktörler: Isparta İli Örneği. Ziraat Fakültesi Dergisi 2021; 16(2): 154-168.
- Yin S., Wu L., Du L., Chen M. Consumers' purchase intention of organic food in China. Journal of the Science of Food and Agriculture 2010; 90(8): 1361-1367.
- Zepeda L., Li, J. Characteristics of organic food shoppers. Journal of Agricultural and Applied Economics 2007; 39(1): 17-28.

## Current Status of Renewable Energy in Türkiye

Evrım ÇELİK MADENLİ<sup>1\*</sup>, Umut BEKÇİ<sup>2</sup>, Titah Haritul ICHWANI<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Süleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, 32260, Isparta, Türkiye

<sup>3</sup>Degli Studi di Ferrara University, Department of Business and Economics, 44100, Ferrara, Italy

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1806-9121>

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7098-9585>

<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0001-9008-5957>

\*Corresponding author: evrimcelik@sdu.edu.tr

### Reviews

#### Article History:

Received: 25.04.2022

Accepted: 26.12.2022

Published online: 04.12.2023

#### Keywords:

Electricity generation

Energy

Renewable energy

Renewable energy potential

Türkiye

### ABSTRACT

The usage of renewable energy has an increasing trend to replace fossil fuel or other forms of energy that have damaged the environment in the last decades. Many countries have realized the need for clean energy to reduce the greenhouse effect and carbon emissions. Turkey signed the Paris Agreement in 2016, ratified it in 2021, and set a net-zero carbon target by 2053. The objective of the Paris Agreement is to limit global warming to 1,5-2°C compared to pre-industrial levels. However, the high demand for energy for industry or high installation fees of renewable energy can be limiting factors for developing countries like Turkey. Turkey is rich in renewable energy sources such as solar, wind, geothermal, hydropower, and biomass. Even though Turkey is considered to have one of the highest hydropower, wind, and geothermal energy potential among European countries, the installed capacity is much lower than its potential. The current status of renewable energy sources and the technical potential of renewable energy in Turkey are evaluated in this review study.

## Türkiye’de Yenilenebilir Enerjinin Mevcut Durumu

### Derleme

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 25.04.2022

Kabul tarihi:26.12.2022

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Elektrik üretimi

Enerji Yenilenebilir enerji

Yenilenebilir enerji potansiyeli

Türkiye

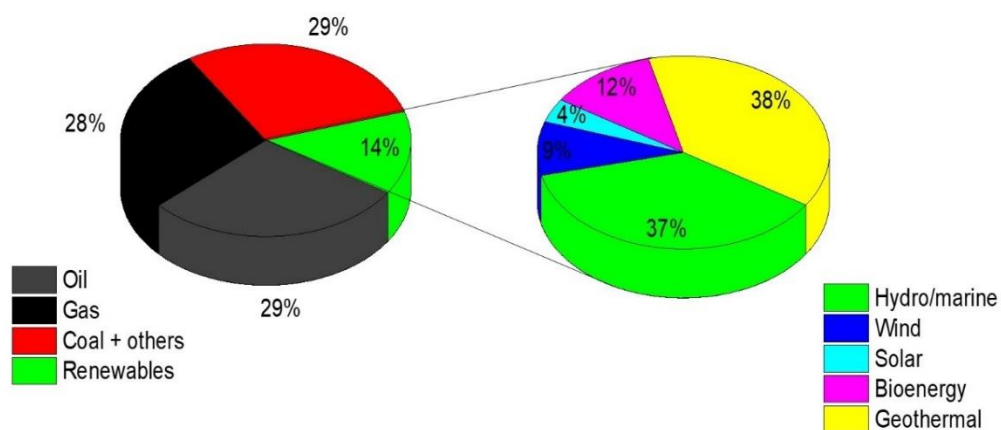
### ÖZ

Son yıllarda yenilenebilir enerji kullanımı, çevreye zararlı fosil yakıtlar veya diğer enerji türlerinin yerini almakta artan bir eğilim göstermektedir. Birçok ülke, sera etkisini ve karbon emisyonlarını azaltmak için temiz enerjiye olan ihtiyacın farkına varmıştır. Türkiye Paris Anlaşması’nı 2016 yılında imzalamış, 2021 yılında onaylamış ve 2053 yılına kadar net sıfır emisyon hedefi belirlemiştir. Paris Anlaşması’nın amacı, küresel ortalama sıcaklık artışını sanayi öncesi seviyelere kıyasla 1,5-2°C ile sınırlı tutmaktır. Ancak, sanayi için yüksek enerji talebi veya yenilenebilir enerjinin yüksek kurulum ücretleri gibi faktörler Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler için sınırlayıcı olabilmektedir. Türkiye güneş, rüzgâr, jeotermal, hidroelektrik ve biyokütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin bir ülkedir. Türkiye, Avrupa ülkeleri arasında en yüksek hidroelektrik, rüzgâr ve jeotermal enerji potansiyeline sahip ülkelerden biri olarak kabul edilse de kurulu gücü sahip olduğu potansiyeline göre çok daha düşüktür. Bu derleme çalışmasında Türkiye’nin mevcut yenilenebilir enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji teknik potansiyelinin güncel durumu değerlendirilmektedir.

**T To Cite:** Çelik Madenli E., Bekçi U., Ichwani TH. Current Status of Renewable Energy in Türkiye. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 2378-2391.

## 1. Introduction

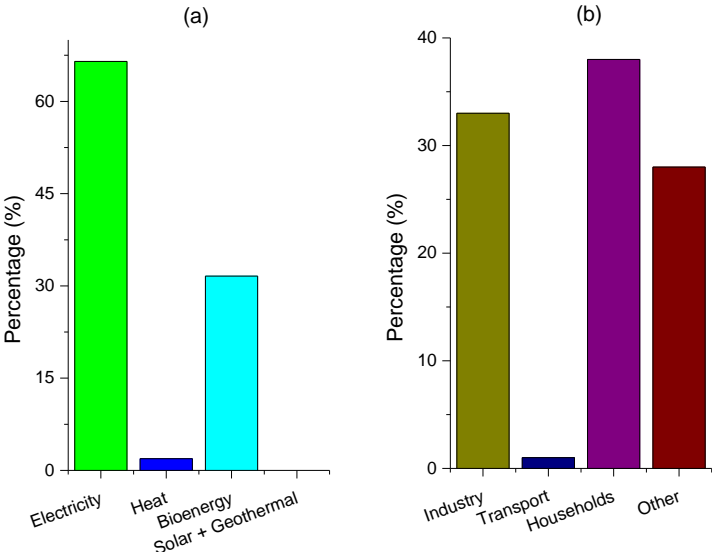
The greenhouse gas emissions of renewable energy are very limited. Also, renewable energy continuously renews itself based on the characteristics of the region and climate (Erdin and Ozkaya, 2019). The total energy production of Türkiye increased from 51.44 million metric tons of oil equivalent in 1990 to 128.8 million metric tons of oil equivalent in 2015. According to the latest resources available, total production reached 147.1 million metric tons of oil equivalent by 2020 (IEA, 2020). Official data states that domestic production rates on energy supply in 1990, 2015, and 2020 are 47%, 24%, and %30, respectively. However, energy usage increased from 42,2 million metric tons of oil equivalent in 1990 to 99,5 million metric tons of oil equivalent in 2015 and 113.7 million metric tons of equivalent in 2020. While the energy usage of Türkiye increased 2.7 times (42.2 million metric tons to 113,7 million metric tons), the domestic energy production increased only 1.2 times (25.8 million metric tons to 32.2 million metric tons). Although the total energy supply meets the demand, at the point where the domestic production does not meet the demand, the shortcoming is provided by energy imports (MENR, 2020). In Türkiye, fossil fuel energy consumption is approximately 86% of the total energy usage (Figure 1) (IRENA, 2021). In addition, the carbon dioxide emission levels increased from 75 to 350 million metric tons from 1980 to 2014 (TWB, 2022). Based on the Paris agreement, a global agreement created to restrict the global temperature increase of 1.5°C, every country will be evaluated for the climate performance program every five years. Türkiye signed the Paris Agreement in 2016, ratified it in 2021, and set a net-zero carbon target by 2053. Türkiye needs to take severe measures not only for economic sustainability and the environment but also to fulfill sustainable development goal number seven of the United Nations, which states affordable and clean energy.



**Figure 1.** Total primary energy supply and renewable energy supply in Türkiye in 2018.

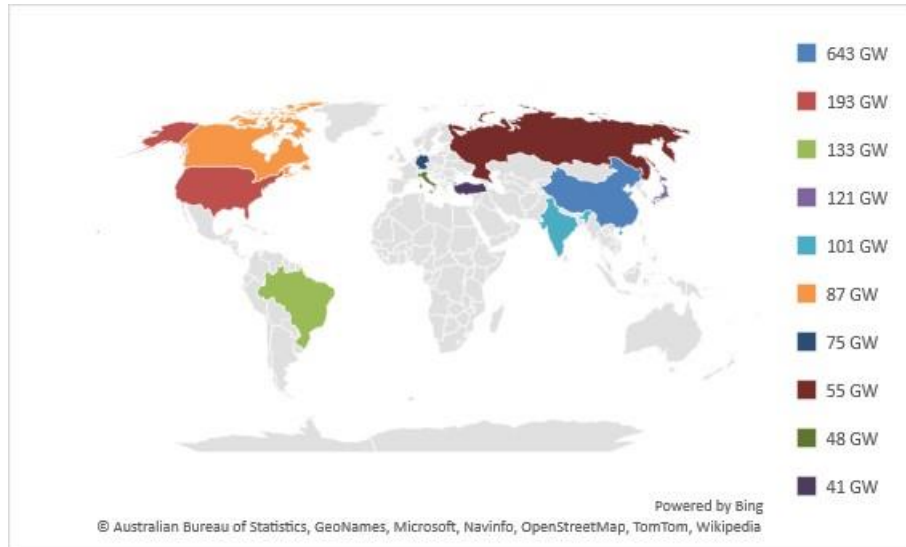
Capital investment in renewable energy plants is tremendous, but once the initial expense is paid, the energy cost is less than the cost of energy generated from fossil fuels. Renewable energy is an

excellent opportunity for Türkiye due to its significant geographical location regarding renewable energy capacity (Erdin and Ozkaya, 2019). Türkiye has a variety of renewable energy sources, such as solar, wind, geothermal, hydropower, and biomass. While hydropower plants had a share of 87% in renewable energy sources in 2013, this rate decreased to date to 60%. That mainly results from wind and solar energy investments. By 2021 Türkiye has 53 GW installed power capacity in renewable sources (TSKB, 2021). Figure 1 shows that hydropower and geothermal were the two most used renewable energy sources in Türkiye. According to an official report, the highest renewable energy consumption in Türkiye was by electricity in 2018. Similarly, households consumed the highest amount of renewable energy in 2018 (Figure 2) (IRENA, 2021).



**Figure 2.** Renewable energy consumption by source (a) and by sector (b) in 2018 in Türkiye.

As shown in Figure 3, China has the largest installed renewable energy capacity, with 643 GW, followed by the US, with 193 GW in 2020. It is followed by Brazil, Japan, India, Canada, Germany, the Russian Federation, Italy, and Türkiye. Türkiye ranks tenth in the world and third in Europe regarding the installed renewable energy capacity, with 41 GW by 2020 (IRENA-a, 2020). The share of renewable energy in Türkiye’s installed power is reported as 54% by January 2022 (MFA, 2022). The share of renewable energy in the overall production is 8% in China (IRENA-c,2022), 13% in the USA (EIA, 2021), and 46% in Brazil (IRENA-d).



**Figure 3.** Installed renewable energy capacity of the leading countries worldwide in 2020.

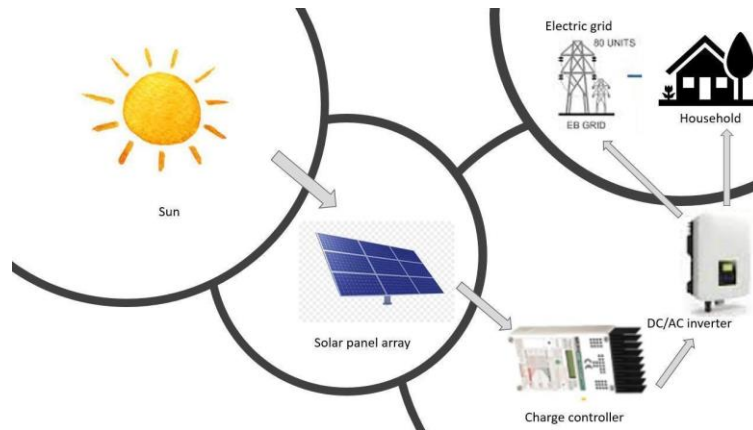
Considering the enormous increase in electrical consumption in Türkiye, increasing the domestic production rate as fast as the government can be crucial. For example, the Turkish government should subsidize sales tariffs or extend the incentive period to spur the demand for renewable energy and create a mass of renewable energy in the market (Nesta et al., 2014; Bulut et al., 2017). This study aims to evaluate the current status of renewable energy sources and the technical renewable energy potential of Türkiye.

## 2. Renewable Energy Potential of Türkiye

### 2.1. Solar Energy

Solar energy, divided into direct and indirect categories, is generated directly from sunlight. It is a clean energy source, and there are no harmful gas emissions during energy generation. Photovoltaic power plants generate electricity directly from sunlight and are examples of direct solar energy-using systems. Hydropower, wind, and biomass are examples of indirect solar energy-using systems. Radiation that reaches the earth is energy generated by the reactions in the sun. The solar energy system converts this radiation into electrical energy by using solar panels. The representation of a simple solar energy process is shown in Figure 4. The sunrays deliver a vast amount of energy to earth in an hour compared to fossil, nuclear, or other renewable sources combined in a year (Aydin and Cunkas, 2019). However, solar energy is not as challenging as wind energy because of the high accuracy of sunlight prediction than wind patterns (Kok, 2015).



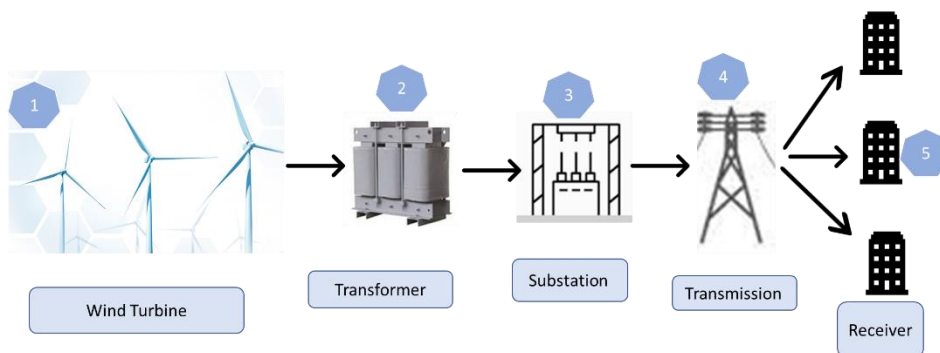


**Figure 4.** Solar power generation.

While the Southeast Anatolia and Mediterranean regions are the most productive regions of Türkiye in terms of solar energy, the Black Sea Region is the least productive. Türkiye represents one of the largest developing solar markets. A 1 GW photovoltaic solar power station is being constructed in Konya-Karapınar and is expected to be completed in 2023, which will be the largest solar power plant in Türkiye. (Erdin and Ozkaya, 2019; NSE, 2021). Türkiye has an annual 380 billion kWh solar-based renewable energy potential with an annual insolation time of 2741 hours. In Türkiye, the annual solar energy value is 1527 kWh/m<sup>2</sup>.year (Aydin and Cunkas, 2019; Erdin and Ozkaya, 2019). Türkiye is expected to increase solar-based renewable energy capacity by 10 GW by 2024, which will be the highest capacity increase among renewable energy sources. (AA, 2019).

## 2.2. Wind Power

Wind energy is the movement of air relative to the earth's surface. Wind energy is generated by the heat from the sun and modified by the earth's rotation and surface topography (Erdin and Ozkaya, 2019; Yilmazulu and Dombayci, 2018). Approximately 2% of solar energy is converted into wind energy (Yilmazulu and Dombayci, 2018). Wind power is potentially accessible on the top of mountains, coastlines, high ridges, or open spaces based on the location. As shown in Figure 5, wind power systems convert the wind's kinetic energy into electrical energy through wind turbines.



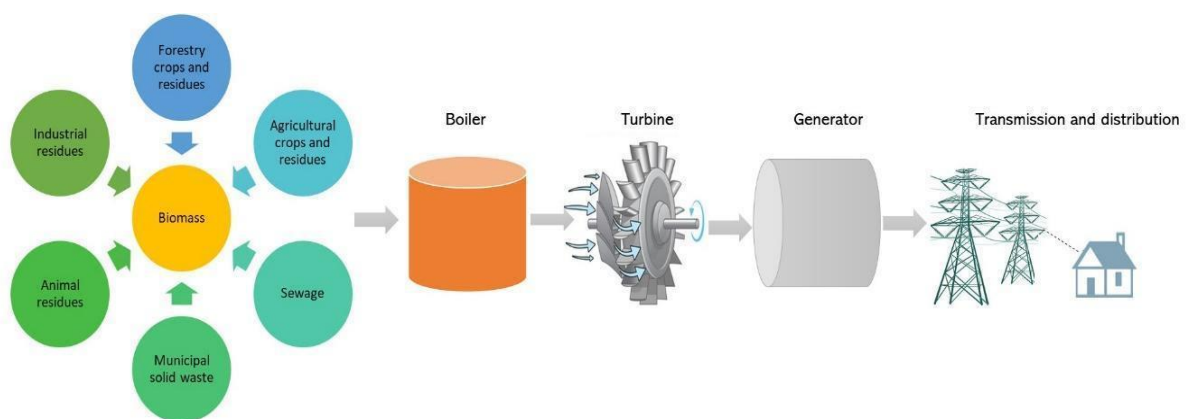
**Figure 5.** Wind power generation.

Türkiye is a semi-island surrounded by the Aegean, Mediterranean, and Black Sea. The Marmara Sea is an inland sea in Türkiye, connecting the Aegean Sea and the Black Sea via the Bosphorus Strait and the Dardanelles. The Aegean Sea region and the Marmara Sea region have Türkiye's richest wind energy sources, followed by the Southeastern Anatolia and Eastern Mediterranean regions (Aydin and Cunkas, 2019).

Türkiye's wind-based renewable energy capacity is predicted 48 GW (Erdin and Özkaya, 2019; MFAD, 2021). The supportive instruments of the Turkish government for renewables, such as feed-in-tariff and local content support, lay a foundation for the stable growth of wind energy power plants (MFAD, 2021). Even though wind-based renewable energy has advantages like being eco-friendly, low operating and maintenance costs, simplicity of operation, and time efficiency, the initial investment cost of wind energy is relatively more expensive than solar energy (Yilmazulu and Dombayci, 2018).

### 2.3. Biomass Energy

Biomass refers to organic material (plant or animal material) used to release energy through a natural process cycle where organic substances are converted to biomass energy (Figure 6). Biomass energy is obtained from various plant species on land and in water, as well as from urban waste, forest residues (plant and wood), animal waste, and food waste (Topcu and Çinar, 2020; Kara et al., 2017). Mainly biomass is used for heating homes, fueling vehicles, generating electricity, and for industrial facilities to process heat (Kara et al., 2017). The energy production process from biomass can be direct, like producing electricity by burning organic substances, or indirect, like producing biofuel. The high amount of food waste can be a renewable energy resource whose cost per kWh is cheaper than fossil fuel (Ebunilo et al., 2018). Even though Türkiye's total biomass energy potential is about 33 million tons of oil equivalents, the usable biomass energy is only 17 million tons of oil equivalents (Toklu, 2017; Kara et al., 2017). It is estimated that the electricity-generating capacity of biomass will be 50 GW in 2030 in Türkiye (Kara et al., 2017).

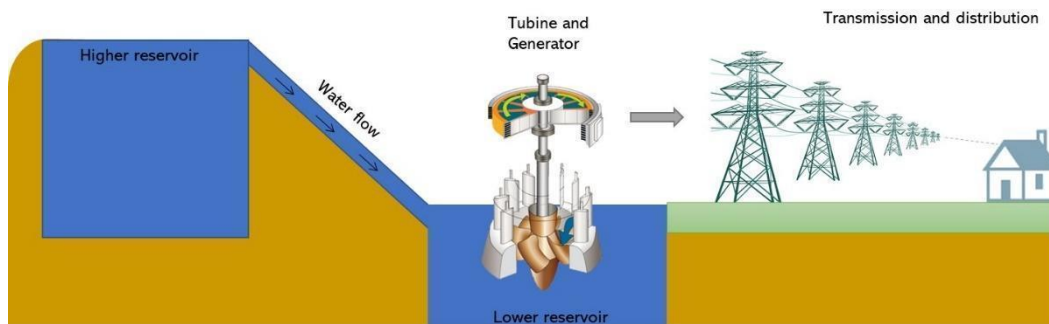


**Figure 6.** Energy production from biomass.

The indirect biomass processes are biodiesel, bioethanol, and biogas (bio-methane) production. Because the source of the biomass varies, the quality or energy efficiency cannot be maintained consistently; hence, it is not perfect as a renewable energy source. In addition, energy production by biomass results in hazardous pollutants like volatile organic compounds, carbon dioxide, and carbon monoxide through biomass burning (Topcu and Çinar, 2020). Biomass, which contributes to air pollution, deforestation, and hydropower, dominates renewable energy sources in Türkiye. However, it is expected to decrease the share of biomass in renewable energy sources by expanding other renewable energy sources (Yuksel et al., 2017).

#### 2.4. Hydropower

Hydropower generation can be considered as converting the energy of flowing water to electrical energy (Figure 7). Hydroelectric power plants are efficient, renewable, and environmentally friendly. Due to the low operation costs, low-risk potential, and independence of the external conditions, hydropower energy investments are attractive. Even though the hydroelectric potential of Türkiye is 433 billion kWh which is 1% of the total theoretical hydropower potential of the world, the economically feasible annual hydropower potential is 140 billion kWh (Erdin and Ozkaya, 2019; Atalay and Yilmazulu, 2018). The hydropower consumption of Türkiye was equivalent to 13,2 million metric tons of oil in 2017, and Türkiye surpassed Japan and France with 0,6 GW of hydropower plant installations in 2017 (Erdin and Ozkaya, 2019).

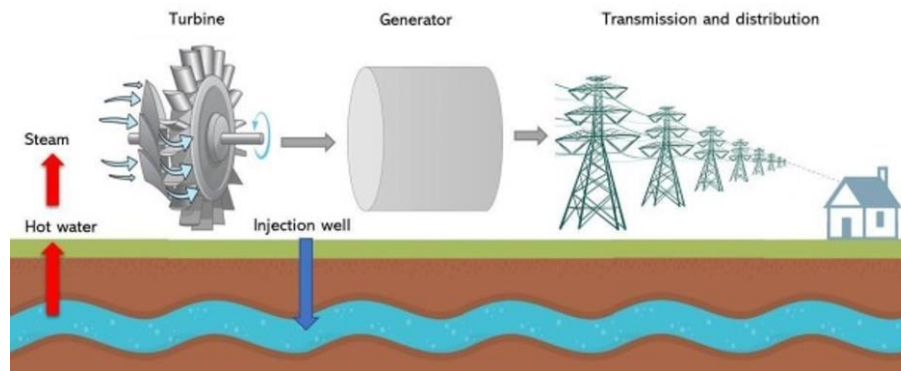


**Figure 7.** Hydropower generation.

#### 2.5. Geothermal Power

Geothermal energy is the earth's internal temperature, spreading from the sub-surface of the earth (Erdin and Ozkaya, 2019). It has significant potential as a renewable energy source. The geothermal power generation process is represented in Figure 8. Türkiye has the seventh largest geothermal energy capacity globally and the largest in Europe. However, it is not among the top five countries (the USA, Philippines, Indonesia, Mexico, and Italy) producing electricity from geothermal energy. Still, it is the number fourth in the world to use geothermal energy for heating and hot springs after China, the USA, and Sweden (Kilic, 2016). Türkiye's geothermal potential is 31500 MW, and only

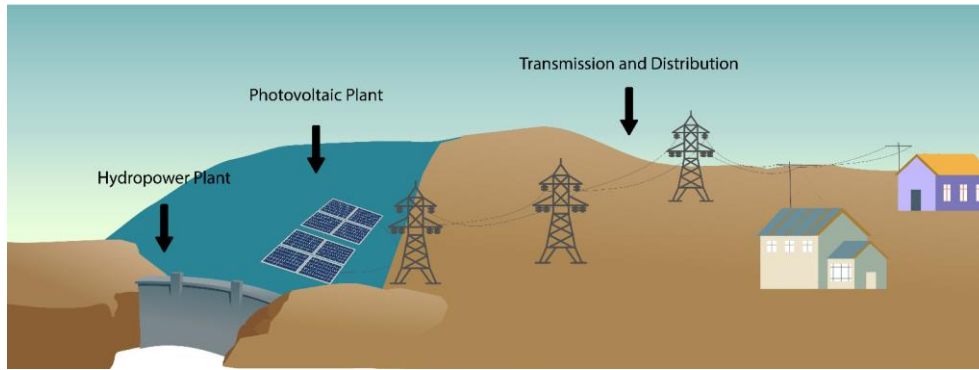
1500 MW can be considered suitable for electricity generation (Kat, 2011). Western Anatolia, having 78% of the geothermal sources, is the richest region of Türkiye in terms of geothermal sources. Although 90% of the geothermal sources are convenient for heating, thermal tourism, etc., due to the low and moderate temperature ranges, the rest 10% of geothermal sources in Türkiye are good enough to use for electrical energy generation (Erdin, Ozkaya, 2019). Hence, even though Türkiye has great potential for geothermal energy, only a small amount is economically feasible due to the low and moderate temperature (Yuksel et al., 2017).



**Figure 8.** Geothermal power generation.

## 2.6. Hybrid Systems

Renewable energy sources highly depend on spatial location, such as total annual sunshine duration or wind energy potential. Therefore, it would be advantageous to use a mix of renewable energy sources (Kocaman, 2014). A hybrid system is a power generation system that combines two or more plants with different energy sources (Lee et al., 2020), which is quite flexible to implement (Yuksel et al., 2017). Hybrid energy systems have a higher return on investment than photovoltaic and wind turbines (Bulut et al., 2017), with shorter payback periods and cost efficiency in small capacities (Kok, 2015). Floating photovoltaic systems are renewable energy generation systems that can be implemented in lakes, rivers, or even dead water spaces. In addition, it is advantageous over traditional photovoltaic systems in terms of maximizing the utility of resources and no need to use agricultural land. Moreover, floating photovoltaic systems can be easily paired with hybrid systems (Figure 9), such as hydropower (Lee et al., 2020). Turkey has power plants that can set an example for this. One of them is the power plant located in Bingöl, which has an installed power of 580 MW and incorporates solar and hydroelectric energy (AA, 2021).



**Figure 9.** Hybrid power generation.

### 3. Current Status

The current renewable energy situation in Türkiye is given in Table 1. The total renewable energy capacity in Türkiye in 2018 was 42230 MW which is 2,43 times larger than the capacity in 2010. The solar, wind, biomass, hydropower, and geothermal capacity share was 11,99%, 16,59%, 1,39%, 66,99%, and 3,04% in 2018, respectively. Even though the hydropower capacity was the largest both in 2018 and 2010, the highest increase in the capacity was in solar energy from 2010 to 2018, with 844 times higher capacity. In addition, there has been a tremendous increase in the number of power plants increased, from 20 in 2011 to 818 in 2020. In Türkiye, the first solar-hydro hybrid system was installed in 2021 by integrating an 80 MW solar power plant into a hydroelectric unit of 510 MW. Up to now, this is the only solar-hydro system in Türkiye (Todorovic, 2021). Türkiye is on a good track in terms of renewable energy investments.

**Table 1.** Renewable energy in Türkiye.

Renewable energy	Solar energy	Wind energy	Bio-mass	Hydro-power	Geother-mal	Total	References
Capacity in 2018 (MW)	5064	7005	587	28291	1283	42230	IRENA-b, 2020
Capacity in 2010 (MW)	6	1320	118	15831	94	17369	IRENA-b, 2020
Production in 2018 (GWh)	7803	19949	2650	59938	7431	97768	IRENA-b, 2020
Production in 2010 (GWh)	8	2916	252	51795	668	55639	IRENA-b, 2020
# power plants in 2020	17	165	126	461	49	818	MMO, 2020
# power plants in 2011	0	9	3	4	4	20	MMO, 2020

Due to the Turkish government's favorable regulations and incentive plans, wind and solar energies are the best choices for the market. Hydropower and biomass have a vast potential to implement due to their sources in Türkiye (Deveci and Guler, 2020). Türkiye has one of the highest hydropower, wind, and geothermal energy potential among European countries (Baris and Kucukali, 2012). On the other hand, because Türkiye will be a water-stressed country, the Turkish government needs to reduce the share of hydropower (Sahin, 2020).

While environmental awareness in Türkiye is rapidly increasing, the use of renewable energy is widespread in the markets. With the growing awareness of economic, political, and environmental issues, increasing activity in the energy sector resulted in energy cooperatives. Renewable energy

cooperatives allow the public to be involved in democratizing the renewable energy sector. For example, there were 46 renewable energy cooperatives in Türkiye in 2020 (Ozgul et al., 2020).

#### **4. Result and Discussion**

The current status of renewable energy sources and the renewable energy potential of Türkiye are evaluated in this review study. Türkiye is rich in renewable energy sources such as solar, wind, geothermal, hydropower, and biomass and is considered to have one of the highest hydropower, wind, and geothermal energy potential among the European countries. However, Türkiye has a much lower installed capacity compared to its potential. Hence, there is a significant opportunity to implement renewable energy in every sector for different regions. For example, the installed energy capacity of Türkiye was 42230 MW in 2018, with renewable electricity generation of 97768 GWh by the end of 2018. The installed capacity of solar energy, wind energy, biomass, hydropower, and geothermal in 2018 was 5064 MW, 7005 MW, 587 MW, 28291 MW, and 1283 MW, respectively.

If a country continues to supply energy by importing and using non-renewable resources, the economy will be damaged due to the increasing prices, and the environment will be destroyed due to the emissions. High demand for energy for industry or high installation fees of renewable energy can be limiting factors for developing countries like Türkiye. On the other hand, the Turkish government may face various challenges like financial challenges and technological innovation while substituting the environmental hazards created by conventional energy systems with renewable energy production and supply. The Turkish government can take several steps, like renewing the regulation for incentives because the existing regulations in the market have not fully achieved their effectiveness or supporting suitable investments for each region as every region has different renewable energy sources. For example, Southeast Anatolia and the Mediterranean regions are the most productive in terms of solar energy. In addition, The Aegean Sea region and the Marmara Sea region have the richest wind energy sources in Türkiye, and Western Anatolia has the richest geothermal sources. Because of the high demand for energy cleanly and sustainably, Türkiye needs to use renewable energy as much as possible.

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

No conflict of interest was declared by the authors

#### **Author's Contributions**

Evrin Çelik Madenli conceptualized, supervised, wrote, visualized, reviewed, and edited the paper. Umut Bekçi visualized, reviewed, and edited the paper. Titah Haritul Ichwani visualized and partially wrote the initial submission.

## References

- AA. Turkey set to be among Europe's top 5 renewable leader, 2019, Ankara, Türkiye. Anadolu Agency. Accessed 15 March 2022, <https://www.aa.com.tr/en/energy/renewable/turkey-set-to-be-among-europes-top-5-renewable-leaders/27069>
- AA. Türkiye'nin ilk, Avrupa'nın en büyük hibrit enerji santrali Bingöl'de hizmete girdi, 2021, Ankara, Türkiye. Anadolu Agency. Accessed 11 November 2022, <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/turkiyenin-ilk-avrupanin-en-buyuk-hibrit-enerji-santrali-bingol-de-hizmete-girdi/2416097>
- Atalay O., Yilmazulu E. Hydropower capacity of Turkey and actual investments. *The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering and Mathematics (EPSTEM) 2018*; 4: 162-166, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/595458>
- Aydin EH., Cunkas M. Comparative study on wind energy potential for Artvin. *International Journal of Energy Applications and Technologies 2019*; 6(3): 65-72,
- Baris K., Kucukali S. Availability of renewable energy sources in Turkey: Current situation, Potential, Government Policies and the EU Perspective. *Energy Policy 2012*; 42: 377-391.
- Bulut F., Luy M., Cam E. The Effects of incentives on renewable energy resources for home users. *International Journal of Energy Applications and Technologies 2017*; 4(2): 94-100.
- Capik M., Yilmaz AO., Cavusoglu I. Present situation and potential role of renewable energy in Turkey. *Renewable Energy 2012*, 46, 1-13, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.02.031>
- Deveci K., Guler O. A CMOPSO based multi-objective optimization of renewable energy planning: case of Turkey. *Renewable Energy 2020*; 155: 578-590, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.033>
- Ebunilo PO., John O., Ikpe AE. Investigation of the energy (biogas) production from co-digestion of organic waste materials. *International Journal of Energy Applications and Technologies 2018*; 5(2): 68-75, <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/557528>
- EIA. 2021. US Energy Information Administration US Energy Facts Explained, Accessed 18.10.2022, <https://www.eia.gov/energyexplained/us-energy-facts/>
- Erdin C., Ozkaya G. Turkey's 2023 energy strategies and investment opportunities for renewable energy sources: site selection based on ELECTRE. *Economic evaluation of Renewable Energy Sources 2019*; 11(7): 1-23, <https://doi.org/10.3390/su11072136>
- IEA. Country rankings, 2020. Paris, France. Accessed 12 October 2022, <https://www.iea.org/countries/turkiye>
- IRENA. Energy profile Turkey 2021. International Renewable Energy Agency. Accessed 15 March 2022, [https://www.irena.org/IRENADocuments/Statistical\\_Profiles/Eurasia/Turkey\\_Eurasia\\_RE\\_SP.pdf](https://www.irena.org/IRENADocuments/Statistical_Profiles/Eurasia/Turkey_Eurasia_RE_SP.pdf)

- IRENA-a. Country rankings, 2020. Abu Dhabi, United Arab Emirates. Accessed 15 March 2022, <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings>
- IRENA-b. Renewable energy statistic. International Renewable Energy agency, 2020. Abu Dhabi, United Arab Emirates. Accessed 15 March 2022, [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA\\_Renewable\\_Energy\\_Statistics\\_2020.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Renewable_Energy_Statistics_2020.pdf)
- IRENA-c. Energy Profile China 2022. International Renewable Energy Agency. Accessed 18 October 2022, [https://www.irena.org/IRENADocuments/Statistical\\_Profiles/Asia/China\\_Asia\\_RE\\_SP.pdf](https://www.irena.org/IRENADocuments/Statistical_Profiles/Asia/China_Asia_RE_SP.pdf)
- IRENA-d. Energy Profile Brazil 2022. International Renewable Energy Agency. Accessed 18 October 2022, [https://www.irena.org/IRENADocuments/Statistical\\_Profiles/South%20America/Brazil\\_South%20America\\_RE\\_SP.pdf](https://www.irena.org/IRENADocuments/Statistical_Profiles/South%20America/Brazil_South%20America_RE_SP.pdf)
- Kara B., Emir Z., Bahadir A., Kaygusuz K. Current state and future prospects of biomass energy in Turkey. *Journal of Engineer Research and Applied Science* 2017; 6(1): 522-529, <http://www.journaleras.com/index.php/jeras/article/download/75/75>
- Kat B. Mathematical modeling for energy policy analysis. Middle East Technical University (METU). Industrial Engineering Department. 2011, Ankara. 1-236. Accessed 15 March 2022, <https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12613762/index.pdf>
- Kilic FC. Geothermal energy in Turkey. *Energy and Environment* 2016; 27: 360-376, <https://doi.org/10.1177/0958305X15627544>
- Kirtay E. Current status and future prospects of renewable energy use in Turkey. *Energy exploration and exploitation* 2010; 28(5): 411-431, <https://doi.org/10.1260/0144-5987.28.5.411>
- Kocaman AS. Essays on infrastructure design and planning for clean energy systems. Doctoral thesis, Graduate School of Arts and Sciences, Columbia University 2014. <https://doi.org/10.7916/D8JW8C2F>
- Kok MV. Renewable energy sources: Current perspectives, and future prospects in Turkey. *Energy sources, Part A: Recovery, utilization, and environmental effects* 2015; 37(1): 1-10, <https://doi.org/10.1080/15567036.2014.947447>
- Kul C., Zhang L., Solangi YA. Assessing the renewable energy investment risk factors for sustainable development in Turkey. *Journal of Cleaner Production* 2020; 276: 1-14, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124164>
- Lee N., Grunwald U., Rosenlieb E., Mirlitz H., Aznar A., Spencer R., Cox S. Hybrid floating solar photovoltaics-hydropower systems: Benefits and global assessment of technical potential. *Renewable Energy* 2020; 162: 1415-1427, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.080>



- MENR. National energy balance reports, 2020, Ministry of Energy and Natural Resources of Republic of Turkey, Ankara Türkiye, Accessed 15 October 2022, <https://enerji.gov.tr/eigm-raporlari>
- MFA. Turkey's International Energy Strategy, 2022, Ministry of Foreign Affairs of Republic of Turkey, Ankara Türkiye, Accessed 15 March 2022, <https://www.mfa.gov.tr/turkeys-energy-strategy.en.mfa>
- MFAD. Trade council of Denmark, Wind energy market in Turkey, 2021, Ministry of Foreign Affairs of Denmark Istanbul, Türkiye, Accessed 15 March 2022, [https://www.danishwindexport.dk/app/uploads/2021/05/TC-Turkey-Wind-Services\\_20211159.pdf](https://www.danishwindexport.dk/app/uploads/2021/05/TC-Turkey-Wind-Services_20211159.pdf)
- MMO. Turkey Energy Outlook, 2020, Makina Mühendisleri Odası Ankara, Türkiye. Accessed 15 March 2022, [https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/gonderi\\_dosya\\_ekleri/TURKEY%20ENERGY%20OUTLOOK\\_%202020\\_%2813.7.2020\\_A%29.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/gonderi_dosya_ekleri/TURKEY%20ENERGY%20OUTLOOK_%202020_%2813.7.2020_A%29.pdf)
- Nesta L., Vona F., Nicolli F. Environmental policies, competition and innovation in renewable energy. *Journal of Environmental Economics and Management* 2014; 67(3): 396-411, <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2014.01.001>
- NSE. Karapınar Solar Power Project, NS Energy, 2021. Accessed 15 March 2022, <https://www.nsenergybusiness.com/projects/karapinar-solar-power-project/>
- Ozgul S., Kocar G., Eryasar A. The progress, challenges, and opportunities of renewable energy cooperatives in Turkey. *Energy for Sustainable Development* 2020; 59: 107-119, <https://doi.org/10.1016/j.esd.2020.09.005>
- Sahin U. Projections of Turkey's electricity generation and installed capacity from total renewable and hydro energy using fractional nonlinear grey Bernoulli model and its reduced form. *Sustainable production and consumption* 2020; 23: 52-62, <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.04.004>
- TWB. The world Bank, World Development Indicators. Environment, 2022. Accessed 15 March 2022, <http://wdi.worldbank.org/table>
- Todorovic I. Turkey's first hydro-solar hybrid power plant Lower Kaleköy comes online. *Balkan Green Energy News*, 2021. Accessed 15 March 2022, <https://balkangreenenergynews.com/turkeys-first-hydro-solar-hybrid-power-plant-lower-kalekoy-comes-online/>
- Toklu E. Biomass energy potential and utilization in Turkey. *Renewable energy* 2017; 107: 235-244, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.02.008>
- Topcu GD., Çınar IE. Biomass and bioenergy crops. renewable energy sources. *Energy Policy and Energy Management* 2020; 1(2): 1-8, <https://dergipark.org.tr/en/pub/resepem/issue/56664/771602>
- TSKB. Energy Outlook Report, 2021, Türkiye Sınai Kalkınma Bankası, Türkiye

- Yilmazulu E., Dombayci OA. Wind energy in Turkey: Potential and development. the Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematic (EPSTEM) 2018; 4: 132-136, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/epstem/issue/40805/496377>
- Yuksel I., Arman H., Demirel IH. The role of energy systems on hydropower in Turkey. E3S Web of Conferences 2017; 22: 1-8, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172200197>

## Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğine Genel Bir Bakış

Nehir TOKGÖZ<sup>1</sup>, Özge SÜFER<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 54050, Sakarya, Türkiye

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

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0001-9264-9971>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-8337-6318>

\*Sorumlu yazar: ozgesufer@hotmail.com.tr

### Derleme

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 19.10.2022

Kabul tarihi: 12.04.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği

Isı transferi

Kütle transferi

Momentum transferi

Akış problemi

### ÖZ

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD), akışkanlar mekaniği problemlerinin analiz edilmesi ve çözümlenmesi sırasında sayısal yöntemleri, kısmi diferansiyel denklemleri ve hesaplamalı geometriyi bir arada inceler. Hemen hemen bütün mühendislik uygulamalarında geniş bir yelpazede kullanılan bir bilim dalıdır. Güçlü bilgisayarlar ile uygulamalı matematik çözümü yapan bu bilim, akışın söz konusu olduğu bütün endüstriyel işlemlerde ısı, kütle ve momentum transferini ve aynı zamanda akış yapısını modelleyerek optimum tasarımların gerçekleşmesine imkân vermektedir. Birden fazla parametreyi aynı anda irdeleyerek daha az zamanda daha az maliyetle karmaşık problemlerin çözümüne de olanak sağlamaktadır. Bir akış problemini HAD yöntemiyle çözmek için temelde 3 adım takip edilmektedir. İlk olarak akışı tanımlayan genellikle kısmi diferansiyel denklemlerden oluşan matematiksel ifadeler yazılmakta ve ikinci adımda bu eşitlikler sayısal bir analojiye dönüştürülmek için ayrıştırılarak (discretization), akış alanı küçük ağlara (mesh) veya elemanlara bölünmektedir. Üçüncü adımda ise tanımlanan problemin başlangıç ve sınır şartları belirlenerek bu denklemler çözümlenmektedir. Denklemlerin çözümünde, (i) sonlu farklar; (ii) sonlu elemanlar ve (iii) sonlu hacimler yöntemi olmak üzere üç farklı metot kullanılmaktadır. HAD'da kullanılan yazılım teknolojilerinin hızla ilerlemesi ve yazılımların yüksek doğruluğa ve hassasiyete sahip olmasıyla beraber yazılım maliyetlerinin günden güne azalması, akış problemlerinin görselleştirilmesinde ve problemlerin daha etkili ve verimli çözümlenmesinde bu programların yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır. Bu çalışmada; HAD'ın yöntem biliminden, avantajlarından ve dezavantajlarından ve ayrıca çözüm sırasında HAD'da kullanılan denge denklemlerinden bahsedilmiştir.

## An Overview About Computational Fluid Dynamics

### Review

#### Article History:

Received: 19.10.2022

Accepted: 12.04.2023

Published online: 04. 12.2023

#### Keywords:

Computational fluid dynamics

Heat transfer

Mass transfer

Momentum transfer

### ABSTRACT

Computational fluid dynamics (CFD) is a science, that examines with partial differential equations and computational geometry together in the analysis and solution of fluid mechanics problems. It is used in a wide range of almost all engineering applications. This discipline, which makes applied mathematics solutions by using powerful computers, allows the realization of optimum designs by modeling the heat, mass and momentum transfer, as well as the flow structure in all industrial processes where flow is concerned. Also, it enables the

solution of complex problems with less cost and the simultaneous analysis of multiple parameters. Basically, 3 steps are followed to solve a flow problem with CFD method. Firstly, the mathematical equations describing the flow, usually consisting of partial differential equations, are written, secondly, they are discretized into a numerical analogy, and then the flow field is divided into small meshes or elements. In the third step, the initial and boundary conditions of the defined problem are determined, and these equations are solved by the different methods, using with finite differences, finite elements and finite volumes. The rapid progress of the software technologies utilized in CFD, and the high accuracy and precision of the software, as well as the decrease in costs day by day, have made these programs widely used in visualizing and solving flow problems more effectively and efficiently. In this study, the basis, methodology, advantages and disadvantages of CFD and the balance equations used in CFD during the solution are mentioned.

---

**To Cite:** Tokgöz N., Süfer Ö. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğine Genel Bir Bakış. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 2392-2408.

## 1. Giriş

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), ısı transferinde ve akışkanlar mekaniğinde kullanılan kütle, momentum ve enerji ifadelerindeki kısmi diferansiyel denklemleri yüksek hassasiyette çözebilen geliştirilmiş bir nümerik yöntemdir (Norton ve Sun, 2010; Malekjani ve Jafari, 2018). Pek çok mühendislik probleminde başarılı bir performans sergileyen HAD; basınç, hız vektörü, sıcaklık dağılımı ve ısı işlemler sırasında sıvı veya katıların konsantrasyonlarını ilgi çekici renkli figürler ve animasyonlar kullanarak detaylandıran bir yöntemdir (Lemus-Mondaca ve ark., 2011; Malekjani ve Jafari, 2018). HAD'ın performansı, simülasyonla elde edilmiş nümerik sonuçlar ile belirli koşullar altında yürütülen deneysel veriler arasındaki uyumlu ilişkiye ve gerçekte analizi mümkün olmayan son derece karmaşık süreçlerin ne kadar yüksek çözünürlükte yakınsadığını gösteren sonuçlara göre belirlenir (Oyinloye ve Yoon, 2021a, 2021b).

1900'lü yıllarda ortaya çıkan ve yıllar içerisinde günümüze kadar ciddi ilerlemeler kaydeden HAD teknolojisi sayesinde, ısı ve kütle transferi, faz değişimi, kimyasal reaksiyonlar (Yu ve ark., 2010; Kumar, 2014) ve bir zamanlar oldukça pahalı deneysel teçhizatlar ya da aşırı basitleştirilmiş hesaplamalar gerektiren karmaşık geometri içeren problemler, artık kişisel bilgisayarlarda yüksek düzeyde uzaysal ve zamansal doğrulukla modellenebilir hale gelmiştir (Norton ve ark., 2013). Bu gelişmeler ve iyileştirmeler neticesinde hesaplamalı akışkanlar dinamiği; havacılık (Ali ve ark., 2021; Chakraborty ve Ghosh, 2022; Sadaq ve ark., 2022), otomobil (Li ve ark., 2018; Gurusamy ve ark., 2021; Ouyang ve ark., 2022), biyomedikal (Dutta ve ark., 2020; Inthavong ve ark., 2020), turbomakineler (Karakas ve ark., 2022; Zhang ve ark., 2022) ve ısı değiştiriciler (Tokgoz ve ark., 2018; Hassanzadeh ve Tokgoz, 2019; Bilen ve ark., 2022) gibi birçok endüstriyel uygulamada, okyanus akıntılarının modellenmesi (Martínez-Ferrer ve ark., 2018; Li ve ark., 2019), iklim değişikliği (Mirzaei, 2019; Hadavi ve Pasharshahi, 2021), kirlilik (Badas ve ark., 2019; Jurado ve ark., 2021) gibi çevresel konularda ve ayrıca kardiyovasküler hastalıklar ile kan akışı (Jiang ve ark., 2022; Shinde ve ark., 2022; Uddin ve Yousuf, 2022) problemlerini içeren sağlık konularında yaygın bir şekilde

kullanılmaya başlanmıştır. Diğer bir yandan, HAD teknolojisinin gıda endüstrisi için de önemi yadsınmazdır. Sütün dondurulması amacıyla enerji verimliliği yüksek ve pasif ısı depolama sağlayan sistemlerin geliştirilmesini (Prakash ve Ravindra, 2023), ve tahıl tanelerinin büzülme etkisini ihmal etmeden kurutulmasını konu edinen simülasyonlar (Azmir ve ark., 2019), şişelenmiş sıvıların pastörizasyonu sırasındaki doğal taşınımı modelleyen çalışmalar (Lespinard ve ark., 2019) ve de tepsili kurutucuda bademin kurutulmasını inceleyen araştırmalar (Chilka ve Ranade, 2019) literatürde mevcuttur. Ayrıca gıdaların 3 boyutlu yazıcılarla tasarımında da HAD teknolojisinden başarılı bir şekilde faydalanılabilmektedir (Oyinloye ve Yoon, 2021a). HAD; tahıl macunları (Guo ve ark., 2020), limon suyu (Yang ve ark., 2019), patates pulcukları (Guo ve ark., 2019) ve maya (Cilliers, 2018) gibi gıdaların 3 boyutlu olarak print edilmiş örneklerinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modellenmiştir.

Örneklerden anlaşıldığı üzere, sadece sıvı akış davranışının değil, aynı zamanda ısı ve kütle transferi, faz değişimi, kimyasal reaksiyonlar, mekanik hareketler ile katı yapılarıdaki gerilme veya deformasyon etkilerinin incelendiği tüm tasarım ve geliştirme alanlarında HAD programları kullanılmaktadır. HAD'ın uygulama alanlarına Tablo 1'de, avantajlarına ve dezavantajlarına ise Tablo 2'de yer verilmiştir.

**Tablo 1.** HAD'ın çeşitli alanlardaki uygulanabilirliği

Endüstriyel uygulamalar	Çevresel uygulamalar	Fiziksel Uygulamalar
• Havacılık	• Turbomakineler	• Hava, su ve çevre
• Mimari	• Makine	kirliliği
• Otomobil	• İnşaat	• Doğal kaynaklarının
Sektörü	• Elektrik-	kirliliği
• Biyomedikal	Elektronik	• İklim modelleme
• Cam üretimi	• Enerji	• Yangın modelleme
• Isıtma-soğutma-	• Gıda	• Okyanus akıntıları
iklimlendirme	• Kimya	• Güvenlik
uygulamaları	• Proses	
• Petrol	• Su	

## 2. Denge Denklemleri

Bir problemin hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanılarak çözülebilmesi için değişkenlerin tanımlanması, matematiksel denklemlerin ve sayısal yöntemlerin seçilmesi, başlangıç ve sınır şartlarının belirlenmesi ve gerekli olduğunda ampirik korelasyonların seçilmiş olması gerekir. HAD metodunda kullanılan prensip, üç boyutlu akışkan hareketi için tanımlanmış, zamana bağlı-doğrusal olmayan beş adet kısmi diferansiyel denklem sisteminden oluşan ve akışkanlar mekaniğinin temeli sayılan Navier-Stokes denklemlerinin çözümüne dayanır (Doering ve Gibbon, 1995). Denge

denklemleri olarak da anılan bu eşitlikler, akış ve ısı transferinin ana denklemleri olan kütle, momentum ve enerji korunum yasalarının matematiksel formülasyonları şeklinde düşünülebilir. Söz konusu matematiksel eşitlikler, sürekli akışın sağlandığı bir ortama uygulandığında, akışkan özelliğinin değişim oranını dış kuvvetlerle ilişkilendiren temel korunum yasaları tanımlanır.

**Tablo 2.** HAD yönteminin olumlu ve olumsuz özellikleri

Avantajlar	Dezavantajlar
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zaman tasarrufu</li> <li>• Azalan maliyet</li> <li>• Detaylı bilgi</li> <li>• Farklı, tehlikeli ve sıra dışı koşulları benzetim yeteneği</li> <li>• Yüksek katma değerli ürün</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basit akış modelleri veya basitleştirilmiş koşullarda hata</li> <li>• Türbülans, çoklu faz ve diğer zor mühendislik problemlerinde yetersiz modeller</li> <li>• Deneyimli kullanıcı olmaması durumunda çözücünün yanlış sonuç vermesi ve bu yüzden çok sayıda tecrübe ve alıştırmaya ihtiyaç duyması</li> <li>• Yanlış sonuçlar nedeniyle deney sayılarının artması ve dolayısıyla maliyetlerin yükselişi</li> </ul>

*Kütlenin korunumu yasası (süreklilik denklemi):* Belirli bir zaman aralığında kontrol hacmine giren veya çıkan net kütle geçişi, aynı zaman aralığındaki net kütle değişimine eşittir. Başka bir ifadeyle kütle vardan yok, yoktan var edilemez (Cengel ve Cimbala, 2013).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \nabla \cdot \bar{u} = 0 \quad (1)$$

Fiziksel olarak  $\nabla \cdot \bar{u}$  ifadesi, hız vektörünün  $\bar{u}$  bileşenini (ıraksaklığını) temsil eder ve hareketli akışkan elemanın hacminin zamana göre değişim oranını, yani yoğunluğun değişimini gösterir. Sıkıştırılmaz akış kabulüyle çözülen problemlerde yoğunluk sabit olacağından yukarıdaki denklem Eşitlik (2)'deki gibi yazılabilir.

$$\rho \nabla \cdot \bar{u} = 0 \quad (2)$$

*Momentumun korunumu yasası (Newton'un ikinci hareket yasası):* Bir akışkan parçasına etki eden dış kuvvetlerin toplamının, cismin lineer momentumdaki değişim hızına eşit olduğunu belirtir (Cengel ve Cimbala, 2013).

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u_i \bar{u}) = -\nabla p + \rho g \quad (3)$$

Burada  $u$ , tüm  $(x, y, z)$  yönlerdeki hız vektörüdür. Denklem (3), akışın izotermal olduğu yani viskozitenin sabit kabul edildiği durum için düzenlendiğinde yazıldığında, denklem (4) elde edilir. Bu denklem, sabit viskoziteli sıkıştırılamaz bir akış için Navier-Stokes denklemini tanımlayan ifadedir.

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u_i \bar{u}) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \bar{u} + \rho g_i \quad (4)$$

Denklemin sağ tarafında kalan ilk terim basınç kuvvetlerini, ikinci terim kütle kuvvetlerini, üçüncü terim ise viskoz kuvvetleri temsil eder. İlgili denklemde, bu kuvvetlerin birim hacim başına yazıldığı unutulmamalıdır.

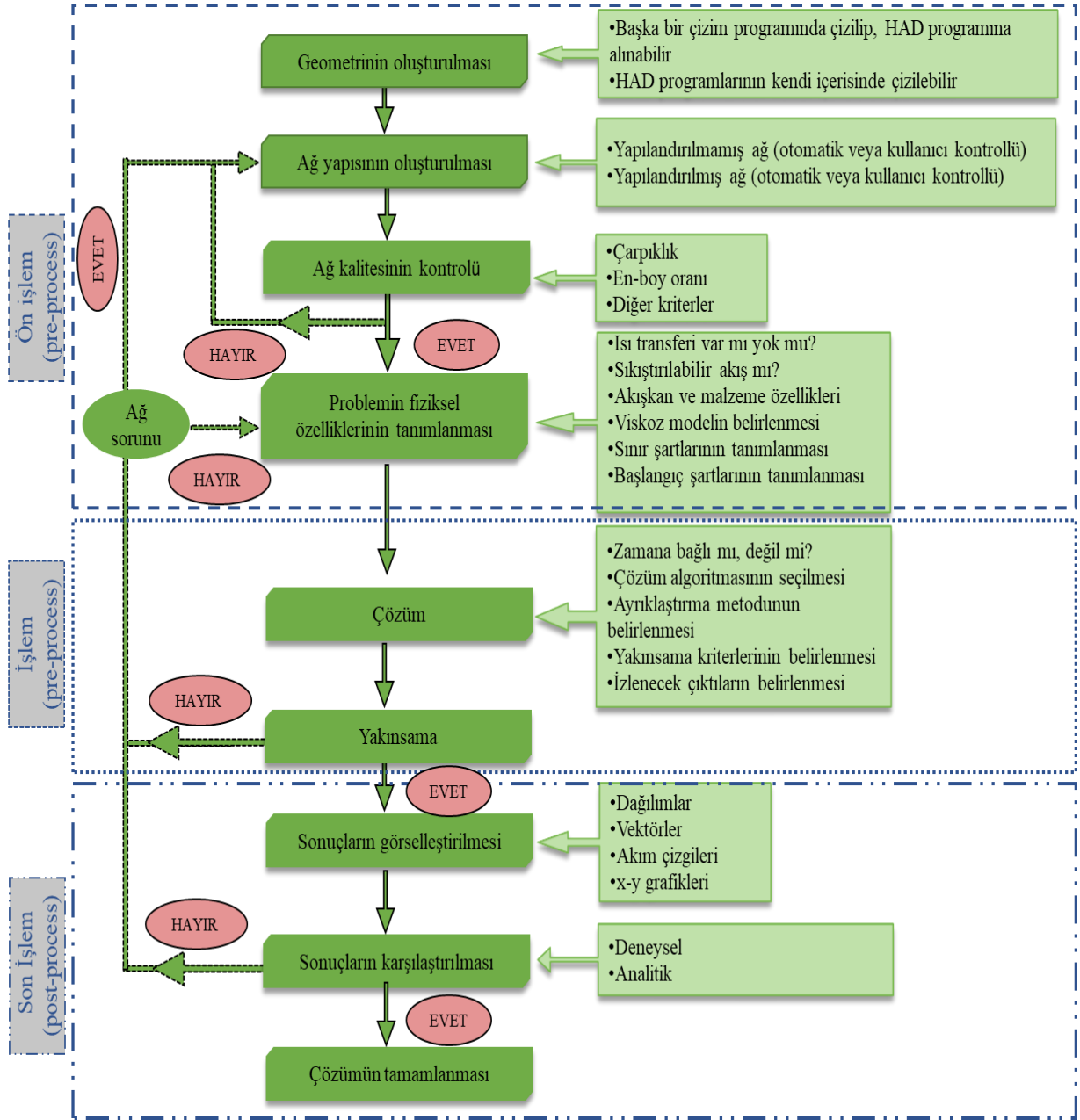
*Enerjinin korunumu yasası (termodinamiğin birinci yasası):* Bir akışkan parçacığının belirli bir zamandaki enerji değişimi, birim zamanda ısı, iş ve kütle tarafından açığa çıkartılan enerjiye eşittir. Enerjinin farklı biçimlere dönüşebileceğini ifade eder (Cengel ve Cimbala, 2013).

$$\rho C_p \frac{\partial T_f}{\partial t} + \rho C_p u_i \nabla T_f = \lambda \nabla^2 T_f + S_T \quad (5)$$

Denklemin sağ tarafında kalan ilk terim; ısı akısının (difüzyonun), ikinci terim ise mekanik enerjinin ısı enerjisine dönüştürüldüğünü gösteren temel ifadedir.

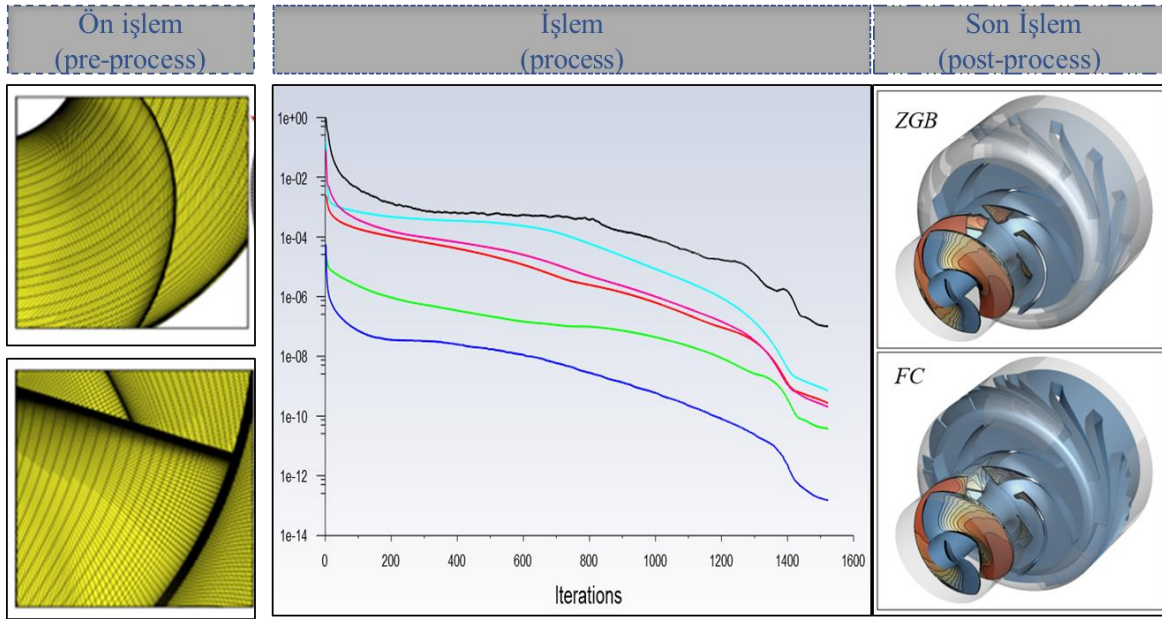
### 3. HAD'ın Metodolojisi

HAD, bir akış alanındaki denge denklemlerinin (süreklilik, Navier-Stokes denklemleri vb.) sayısal çözümü şeklinde gelişen bilgisayar için bellek ve hesaplama açısından pahalı olan yinelemeli bir süreci ifade eder. Sayısal bir analiz yapmak için önce problem belirlenir, matematiksel olarak ifade edilir ve daha sonra HAD yazılımı ile bu matematiksel ifadenin somutlaştırılarak hesaplanması sağlanır. Problemi analiz eden uzman tarafından elde edilen sonuçlar, renklendirilmiş şekil temaları ile görselleştirilerek yorumlanır. Prensip olarak HAD simülasyonunu gerçekleştirebilmek için kendi döngüsü içerisinde üç ana akış tipi izlenir. HAD modelleme sürecinin adımları, Şekil 1'de, sürecin uygulanmış hali ise örnek bir çalışmadan alıntılanarak Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 1. HAD ile modelleme prosesi



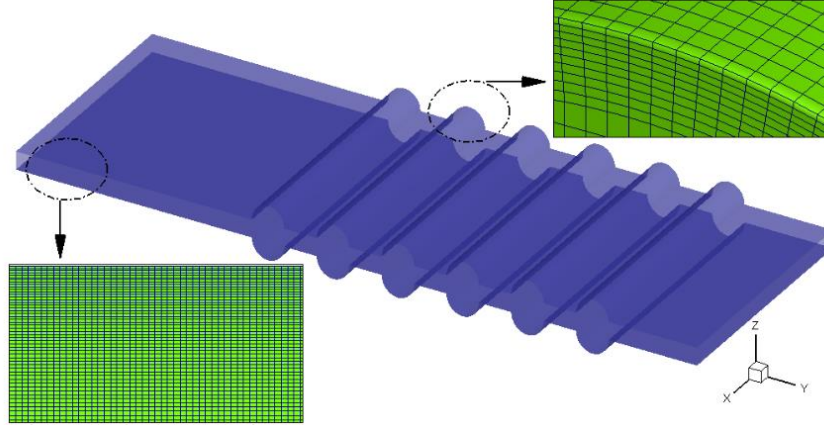


Şekil 2. HAD işleminin uygulanma aşamaları (Karakas ve ark., 2022)

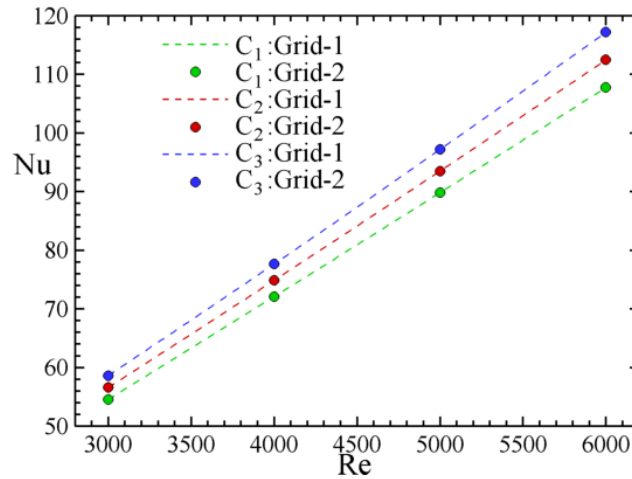
### 3.1. Ön İşlem (Pre-process)

Çözüm aşamasına geçilmeden önce gerçekleştirilen tüm süreçler, ön-işlem olarak nitelendirilir. Güvenilir sonuçlar elde etmek için hesaplanacak akış alanının seçimi çok önemlidir. Bunun yanı sıra, tasarımcı problemin fiziğine ve akışın nelerden etkilenebileceğine hâkim olacak alt yapıya sahip olmalıdır. Problemin geometrik çizimi, çeşitli bilgisayar programları aracılığıyla gerçekleştirilip HAD programlarına aktarılabilirdiği gibi bu aşama, paket programların kendi içerisindeki modüller aracılığıyla da yapılabilmektedir. Geometri çizimini takip eden ikinci aşama, ağ yapısının oluşturulmasıdır. Akış alanı, hacimler veya elemanlar olarak da bilinen çok sayıda ağa (hücreye) bölünür. Belirli algoritmaya göre otomatik veya tasarımcı kontrollü yapılan ağlara bölme aşaması, problemin doğru çözülmesi için son derece önemlidir. Genellikle uzmanların en çok zamanını alan bu aşamadaki çözümün güvenilirliği, doğrudan tanımlanmış ağa bağlıdır. Ağ elemanlarının boyutları, yüksek hassasiyette ve doğrulukta çözümün gerekli olduğu belirli yerlerde örneğin, türbülansın direnç gösterdiği alanlarda veya cidarlara yakın sınır tabakaya yakın yerlerde çok küçük olmalıdır. Cidara yakın olan elemanların aralıklarına uygun  $y^+$  değerini belirlemek için doğrudan Reynolds sayısı (Re) kullanılır. Seçilen türbülans modelinin doğru sonuç vermesi için sınır tabaka içindeki eleman sayısının 10-20 arasında olması veya  $y^+$  değerinin 5'ten küçük olması gerekirken, bazı durumlarda da eleman sayısının 30'dan büyük olması tercih edilebilir (Fluent, 2002). Elemanların boyutları küçüldükçe hesaplama süresi ve bellek gereksinimleri artar. Bu nedenle, ağ boyutlarının seçimi, başlı başına bir optimizasyon işlemidir ve gerekli olan alanlarda ağ iyileştirmelerini ve dolayısıyla akışkan hareketinin daha yavaş olduğu veya katı cisimlerin araştırıldığı yerlerde, daha büyük elemanların kullanılmasını gerektirir. Örnek bir ağ çalışması Şekil 3'te gösterilmiştir. Gereğinden sık yapılmış hücre bölme işlemleri çözüm için çok fazla vakit harcanmasının yanı sıra, sonucun doğru çıkmamasına sebebiyet

verirken; çok seyrek yapılmış hücre bölme işlemleri ile oldukça kısa bir sürede ulaşılan sonuçlar ise kullanıcıyı yanıltan çözümlere sebep olur. Bu olumsuzlukları giderebilmek için HAD çalışmalarında, mutlaka ağdan bağımsız olarak yapılacak testlere yer verilmelidir (Şekil 4). Ağdan bağımsızlık testi ile doğru çözümlere ulaşılmaya çalışılsa da karmaşık bir ağ oluşturmak kolay değildir. Hızla ilerleyen bilgisayar teknolojilerine rağmen, özellikle 3 boyutlu türbülanslı akış problemleri için yeterince sık ağ yapısındaki çözüm alanını ayırklaştırmak hala çok zordur.



Şekil 3. Isı transferini iyileştirmede kullanılan oluklu bir kanalın örnek ağ yapısı (Tokgoz, 2019)

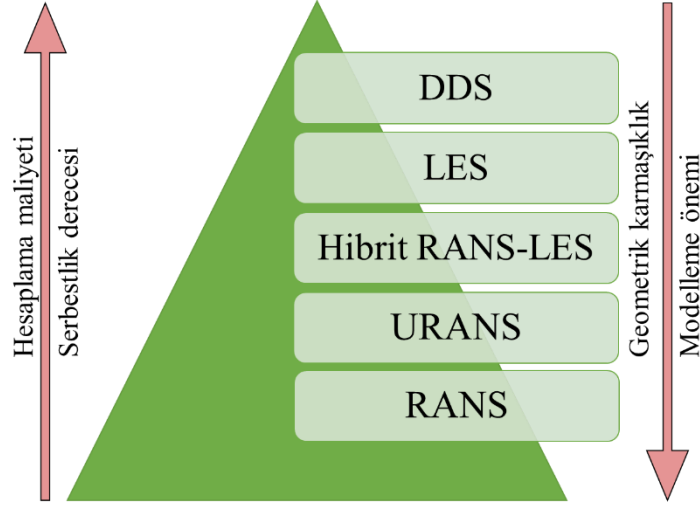


Şekil 4. Nusselt sayısı için ağdan bağımsızlık örneği (Tokgoz ve ark., 2017)

Ağlara bölme işlemi tamamlandıktan sonra, problemde yer alan sıvıların ve katıların özelliklerinin doğru bir şekilde tanımlanması ve başlangıç-sınır şartları ile türbülans modelleri gibi tüm değişkenlerin programda ayrıca belirtilmesi gereklidir. Başlangıç-sınır şartları, gerçek durumların ilişkilendirildiği matematiksel ifadelerin oluşturulmasında kilit bir role sahip olup, sınır şartlarının seçimi ön işlemin bir diğer önemli adımıdır. Fiziksel problemin özgün sınır koşulları ile karakterize edilmediği ve uygun olmayan sınır şartlarının seçildiği durumlar, çoğu zaman yanıltıcı sonuçlara yol

açar. En gerçekçi model için, mutlaka akışın fiziğine ve farklı sınır koşullarının sayısal çözüm üzerindeki etkisine hâkim olan kapsayıcı bir seçim tercih edilmelidir.

Sınır şartlarının seçiminden sonra, HAD yöntemiyle problemin nasıl çözüleceğinin belirlendiği viskoz model seçim aşamasına geçilir. Navier-Stokes denklemleri, herhangi bir modelleme varsayımı kullanılmadan, yani *Doğrudan Sayısal Simülasyon* veya kısaca *DDS* yöntemiyle laminar akış için doğrudan çözümlenebilir. Ancak, türbülanslı akışta Kolmogorov mikro ölçeklerindeki akışkan hareketinin çözümü, henüz hesaplamalı olarak mümkün değildir. Bu nedenle türbülanslı akış rejiminde Navier-Stokes denklemlerinin yanı sıra, türbülans modelleri de çözümlenmelidir. Her bir türbülans modeli, her tip problem için doğru çözüm vermeyebilir. Programı analizini gerçekleştiren uzmanın tecrübesine bağlı olarak yapılacak bu seçimler, daha önce de söz edildiği gibi sonuçların doğruluğu, çözüm süreci ve dolayısıyla maliyet üzerinde çok etkilidir. Mühendislik uygulamalarının birçoğunun, türbülans modelleri kullanılarak çözümlenmesi gerektiği unutulmamalıdır. Öte yandan, akışkan yapılarının karmaşıklığını doğru bir şekilde çözmek için gerekli ağ çözünürlüğü ve zaman adımları, Reynolds sayısının küpü ile yaklaşık olarak ölçeklendirilebilir. Bu yaklaşım, mühendislik uygulamaları için DDS kullanımını neredeyse imkânsız hale getirir. DDS, akademide ve araştırma kurumlarında, sadece basit akışları modellemek için deneylerle birlikte kullanılmaktadır. Mühendislik uygulamalarında ise genellikle bir cisim üzerine etki eden kuvvetlerle veya bir akış boyunca değişen hız ile ilişkili ortalama veya integre nicelikler üzerinde çalışılmaktadır. Bu nicelikleri elde etmek için türbülanslı akışların sözü edilen modelle çözümlenmesi, uygun maliyetli ve güvenilir çözümlerin daha verimli kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Genel olarak türbülans modelleri, temel denklemlere göre sınıflandırılır. Bunlar, Reynolds ortalama Navier-Stokes (RANS) modelleri ve hesaplama dalgalanmaları üzerinde çalışan büyük girdap simülasyonları (Large Eddy Simulation, LES) modelleridir. Türbülanslı akışları çözmek için kullanılan en yaygın yaklaşımların özeti Şekil 5'te gösterilmiştir. Bir HAD simülasyonunun hesaplama maliyeti, akışı çözmek için gereken serbestlik derecesi sayısı arttıkça RANS'tan DDS'ye yükselir. Hesaplama maliyetinin bir sonucu olarak, DDS ve LES gibi yaklaşımlar genellikle basit geometrilere uygulanırken, hibrit RANS-LES, URANS ve RANS modellemeleri kullanılarak karmaşık endüstriyel problemler başarıyla çözümlenmektedir.



**Şekil 5.** RANS'tan DDS'ye hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde kullanılan türbülans modelleri (Sagaut ve ark., 2013)

RANS olarak adlandırılan denklemleri elde etmek için, Navier-Stokes denklemlerinin ortalaması alınır. Ortalanmış bu denklemler, orijinal Navier-Stokes denklemlere çok benzemekte, ancak momentumun tanımlandığı ifade, bilinmeyen ve modellenmesi gereken Reynolds gerilme terimleri adı verilen bazı ek terimleri içermektedir. Türbülans durumundaki süreç değişkenlerinin akış rejimi içinde belirli bir değer aralığında olacağı varsayılarak türbülans modellerinde ele alınan bu terimlerin türbülans üzerine etkisini çözmek için RANS denklemleri kullanılır. RANS denklemleri; bir eşitlik içeren, iki eşitlik içeren RANS modelleri ile düşük Reynolds sayılı modeller olmak üzere 3 gruba ayrılabilir. Tek eşitlikli RANS denklemleri, türbülans kinetik enerji (TKE) gibi tek taşınım eşitliklerini çözmek için kullanılmakta iken; iki eşitlik modeller, TKE'nin yanı sıra,  $\epsilon$  gibi TKE'nin yayılma oranını ya da  $\omega$  gibi spesifik yayılma oranını açıklayan türbülans özelliklerini de kapsayabilir. Son kategorideki modelin ise iki eşitlik içeren denklemlere oranla, daha az ağ duyarlılığına ve ağ noktasına ihtiyaç duyduğu belirtilmektedir (Yusof ve ark., 2020). RANS ile modelleme, endüstriyel uygulamalarda kullanılan en yaygın yaklaşımdır. Tüm RANS modellerinde, modelin matematiksel formülasyonunu türetmek için modele uygun kabul sınırları vardır. Bazı uygulamalar için, tüm türbülans ölçeklerini modellemek yerine, akışın en çok enerji içeren yapılarını çözmeye çalışan ve LES adı verilen daha ayrıntılı yaklaşımların kullanılması gerekebilir. Bu yaklaşımda LES en küçük türbülans ölçekleri uzaysal olarak filtrelenirken, en büyük ve en çok enerji içeren ölçekler doğrudan çözülür. LES modellemesi, uygulanabilirlik aralığı ve çözümün doğruluğu açısından avantajlı gibi görünse de, zamana bağlı çözümün gerektirdiği hesaplama maliyetleriyle birlikte, akışı daha fazla detaylandırmak için ağ bağımlılık yani daha fazla eleman sayısına ve hassasiyetine ihtiyaç duyar.

Tüm türbülans modelleri doğası gereği, güçlü varsayımsal yönlere ve sınırlamalara sahiptir. Türbülanslı akışlara en uygun modeli seçme konusunda, uzman kullanıcının deneyimini ortaya koymadan, kolaylıkla uygulanabilecek hiçbir model yoktur. Ayrıca doğruluk, tutarlılık ve güvenilirlik

açısından yeterli simülasyonlar elde etmek için model katsayılarının belirlenmesi de son derece önem taşımaktadır.

### 3.2. İşlem (Process)

Ağ yapısı oluşturulan, başlangıç ve sınır şartları ile viskoz modeli belirlenen problem için tanımlanan matematiksel denklemler, bir bilgisayar yazılımı ile çözülür. Bu yazılımda kullanılan genel bir analitik çözümü olmayan kısmi diferansiyel denklemler, akış alanında spesifik noktalarda yer alan her değişkenin yaklaşık değerini hesaplamak için ayrıklaştırılmalı ve sayısal olarak çözülmelidir. Modellenen ağın her bir hücresine uygulanan ve denklemin ayrıklaştırılması olarak bilinen bu aşamada, ele alınan her bir noktaya ait sınır koşulları belirlenir ve denklemler integre edilir. Kullanılan çözücüye bağlı olarak farklı ayrıklaştırma şemaları vardır. Yoğun ve son derece karmaşık olan bu süreç tekrarlanarak her adımda bilgisayarın binlerce denklemi çözmesi sağlanır. Hesaplamalar belirli bir kesinlik elde edilinceye kadar devam eder ve genellikle bir veya daha fazla özelliğe ait denklemin çözdürülmesi sonucunda elde edilen residue (artık) değerine göre değerlendirilir. Bu değer dikkate alındığı noktada çözümün yakınsadığı söylenir. Araştırılacak mekanizmaya uygun olarak zamana bağlı (daimî olmayan) veya zamandan bağımsız (daimî) simülasyonlar gerçekleştirilebilir. Bir akışın zaman içindeki davranışı araştırılırken daimî olmayan simülasyonlara ihtiyaç duyulur. Geniş bir zaman aralığına ihtiyaç duyulan ve kullanıcı tarafından sadece izlendiği için işleyişin çok az bir kısmını oluşturuyor gibi algılanabilen bu süreç, HAD yazılımının temelini oluşturan en kritik aşamadır (Xia ve Sun, 2002). HAD'da çok sayıda ticari yazılım programı mevcuttur. Bunlardan en çok tercih edilen yazılım programları ve kullanılan kodlar, Tablo 3'te detaylı olarak verilmiştir.

### 3.3. Son İşlem (Post-process)

Son işlem aşaması, HAD analizi ile üretilen verilerin değerlendirilmesini sağlar. Model çözüldüğünde elde edilen sonuçlar hem sayısal hem de grafiksel olarak analiz edilebilir. Çözücü, akış alanı boyunca tüm değişkenlerin dağılımını gösteren bir harita oluşturur. Bu sonucun kolayca raporlanabilmesi, görselleştirilebilmesi ve analiz edilebilmesi için, simülasyonun kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlamak amacıyla gerçekleştirilen “son işlem” aşamasının başarılı olması önemlidir. Yüksek donanımlı son işlem HAD yazılımları, 2 boyutlu basit grafiklerden başlayarak 3 boyutlu karmaşık gösterimlere kadar her yüzeyde görselleştirme yapabilirler. Görselleştirme ile elde edilen grafiklerden bazıları hız, basınç ve sıcaklık alanları, vektörel ve skaler değişkenlerin dağılımları hakkında bilgi verdiği gibi her geometriye uygun olarak tasarlanabilen gösterimlerdir (Smale ve ark., 2006). Renkli olarak görselleştirilen bu sonuçların yorumlanması ve sunulması oldukça kolaylaşmaktadır. Akış alanında geçerli konumlar için tüm değişkenlerin anlık değerine ilişkin bilgilerin kullanıldığı sayısal hesaplamalar yapılabilir. Simülasyon sonuçları elde edildiğinde, öncelikle çözümün tatmin edici olup olmadığını kontrol etmek ve ardından doğrulama yapmak çok

önemlidir. Tutarsız ve beklenmeyen durumlarla karşılaşılması halinde, başa dönülerek simülasyonun yenilenmesi ve düzeltmelerin yapılması gerekmektedir.

**Tablo 3.** Yaygın kullanılan ticari HAD yazılımları

<b>Firma</b>	<b>HAD Kod</b>	<b>Yöntem</b>	<b>Erişim adresleri</b>
<i>ANSYS, Inc</i>	CFX Fluent Polyflow	SHY	<a href="https://www.ansys.com/">https://www.ansys.com/</a>
<i>CHAM Ltd.</i>	PHOENICS	SHY	<a href="http://www.cham.co.uk/">http://www.cham.co.uk/</a>
<i>SIEMENS</i>	STAR-CCM+ STAR-CD	SHY	<a href="https://www.plm.automation.siemens.com/">https://www.plm.automation.siemens.com/</a>
<i>COMSOL Multiphysics</i>	COMSOL	SEY	<a href="https://www.comsol.com/">https://www.comsol.com/</a>
<i>Autodesk</i>	Autodesk® CFD	SEY	<a href="https://www.autodesk.com/">https://www.autodesk.com/</a>
<i>OpenFOAM</i>	OpenFOAM	SHY	<a href="https://openfoam.org/">https://openfoam.org/</a>
<i>Flow Science, Inc.</i>	FLOW-3D	SHY	<a href="https://www.flow3d.com/">https://www.flow3d.com/</a>

SHY: Sonlu Hacimler Yöntemi, SEY: Sonlu Elemanlar Yöntemi

### 3.4. Doğrulama

Bilimsel araştırmalarda ve mühendislik sistemlerinin analizinde ve tasarımında yer alan fiziksel süreçlerde simülasyonların kullanılması, son yıllarda gelişen bilgisayar teknolojilerinin birçok alanda tercih edilmesini sağlamıştır. Analizi yapılan sistemlerin tasarım şartlarında, tasarım dışı şartlarda, arıza modunda veya kaza anında nasıl sonuçlar verecekleri simüle edilmektedir. Bu sistemlerin içerisinde sadece mekanik olanlar değil, aynı zamanda doğal sistemlerde yer almaktadır. Örneğin, yüzey suyu kalitesinin analizinde ve yeraltı nükleer atık depolarının risk değerlendirmesinde, çevresel tahminlerde bile bilgisayar simülasyonları kullanılmaktadır. Hesaplama sonuçlarının güvenilirliği, modelleme ve simülasyon sonucunda elde edilen tahminleri doğrudan etkileyeceğinden, simülasyon destekli tahminler, kamu politikasının geliştirilmesinde, güvenlik aşamalarının hazırlanmasında ve yasal sorumluluğun belirlenmesinde stratejik açıdan çok önemlidir. Çünkü tahminlerin doğruluğu, bu tahminlere göre kararını belirleyen mühendislik tasarımcılarını, yöneticileri, kamu görevlilerini ve tüm çalışanları ciddi anlamda etkiler. Mühendislik sistemlerinde kullanılan "sanal prototipleme" ve "sanal test" gibi terminolojik işlemler, mühendislik geliştirmede, yeni donanımın hatta tüm sistemin tasarımında, değerlendirilmesinde ve test edilmesinde, sayısal simülasyonun tanımlanmasını

sağlamaktadır (Oberkampff ve Trucano, 2002). Modelleme ve simülasyon tabanlı bu yeni tasarım trendi, uçak, otomobil ve tüketici ürünlerine yönelik artan rekabet ortamında, birçok pazara sunulan teklif süresini ve maliyetini azaltma ihtiyacından dolayı ortaya çıkmıştır. Bu yeni trendin tercih edilme sebeplerinden bir diğeri ise, sistemlerin bir bütün olarak test edilmesi için gereken laboratuvar veya saha unsurlarının yüksek maliyetli olması ve zaman almasıdır. Ayrıca, ürünün veya sistemin güvenlik özellikleri, sayısal simülasyonları test etme veya doğrulama konusunda oldukça önemlidir. Donanım arızalarının oluşturacağı yasal ve sorumluluk maliyetleri bir şirket, çevre veya toplum için çok yüksek seviyededir. Bu hesaplama dayalı tasarımlardan bazılarında ilişkin sağlamlık veya güvenlik kriterlerinin test edilemeyecek kadar yüksek risk taşıyan sistemler olduğu göz önüne alındığında, donanım hatalarından kaynaklanan hususlar çok daha kritik hale gelmektedir. Örneğin, test edilen bir nükleer santral için tasarlanmış bire bir ölçekli bir koruma binasının, yüksek bir ofis binasından yayılan yangının veya kara taşımacılığı kazasına karışan nükleer silahın hasarı durumunda karşılaşılabilecek muhtemel sonuçlar, bu kapsamda değerlendirilebilir.

Sağlama, bilinen çözümlerle karşılaştırılarak bir hesaplama modelinin matematiksel bir mantık çerçevesinde yorumlanması sonucunda elde edilen çözümün doğruluk derecesinin değerlendirilmesidir. Doğrulama ise bir hesaplama ile gerçekleşen simülasyonun deneysel verilerle karşılaştırılarak kesinliğinin değerlendirilmesidir. Dolayısıyla, sağlama işleminde, simülasyonun gerçek dünya (gerçek veriler) ile doğrudan ilişkili olup olmaması bir sorun değildir. Ancak doğrulamada ise hesaplama ile gerçek dünya, yani deneysel veriler arasındaki ilişki mutlaka tanımlanmalıdır. Başka bir deyişle, sağlama öncelikle matematiksel bir sorunun çözümü için gerekli iken, doğrulama ise öncelikle bir fizik sorununa çözüm bulmak için yapılır. Günümüzde hesaplamalı simülasyon kullanıcıları ve geliştiricileri, “modelleme ve simülasyona olan güven algısı, eleştirel olarak nasıl değerlendirilmelidir?” şeklinde kritik bir soruyla karşı karşıyadır. Hesaplamalı simülasyonlara ait sağlamaların yapılarak doğrulandığı aşamalar, söz konusu güven ortamının ölçüklendirilebilir şekilde oluşması açısından kayda değerdir.

#### **4. Sonuç**

Bu derleme çalışmanın amacı, hesaplamalı akışkanlar dinamiğinin hangi alanlarda kullanılabileceğine ışık tutmak ve bu teknolojinin önemli basamaklarına denge denklemleri sayesinde değinerek, akademide ve sektörlerde yaygın bir şekilde kullanılan ticari HAD bilgisayar yazılımları hakkında bilgi vermektir. Geometri, ağ oluşturma, model çeşitleri gibi bir HAD modelini ortaya çıkartmada önem arz eden elemanlar ve adımlar detaylıca tartışılmıştır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, bu konuda Türkçe kaynak konusunda eksiklikler olduğu görülmüştür. HAD modellerinin kesinliklerini arttırmak için bir dizi çalışma yapılması gerektiği de ayrıca önerilmektedir. HAD, yeni tasarımların veya proseslerin performansını, üretim ve uygulama aşamalarından önce yüksek doğrulukta tahmin eden oldukça etkili bir teknolojidir. Dolayısıyla, HAD ile modelleme birçok şirketin mühendislik tasarımının ve analiz işlemlerinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiş ve gelecektir (Schaldach ve

ark., 2000). Simülasyonlardan alınan her sonucun, kullanıcı dostu arayüzler ve son teknolojinin sunduğu görselleştirme teknikleriyle birleştirildiği HAD, endüstrinin birçok alanında güçlü ve yaygın bir çözüm odağına dönüşmektedir (Xia ve Sun, 2002). HAD'ın özellikle, havacılık, mimari, gıda, kimya, otomotiv, biyomedikal ve iklimlendirme alanlarındaki üstün başarısı, gelecekteki yeni uygulamalarına referans olacak niteliktedir. Zaman tasarrufu sağlayarak, yüksek katma değerli ürünlerin açığa çıkmasına olanak sağlaması, HAD'ın birincil avantajları olarak gösterilmektedir.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

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

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

### **Kaynakça**

- Ali MH., Mehdi SN., Naik MT. Comparative analysis of low velocity vertical axis wind turbine NACA blades at different attacking angles in CFD. *Materials Today: Proceedings 2021*; in press.
- Azmir J., Hou Q., Yu, A. CFD-DEM simulation of drying of food grains with particle shrinkage. *Powder Technology*, 2019; 343: 792–802.
- Badas MG., Salvadori L., Garau M., Querzoli G., Ferrari S. Urban areas parameterisation for CFD simulation and cities air quality analysis. *International Journal of Environment and Pollution* 2019; 66(1-3): 5-18.
- Bilen K., Tokgoz N., Solmaz İ., Balta T. Thermo-hydraulic performance of tube with decaying swirl flow generators. *Applied Thermal Engineering* 2022; 200: 117643.
- Cengel Y., Cimbala J. EBOOK: Fluid mechanics fundamentals and applications (SI units). McGraw Hill; 2013.
- Chakraborty S., Ghosh S. A CFD study on the structural parameters of NACA 2412 airfoil based air-wing using different composite materials. *Materials Today: Proceedings 2022*; 60: 894–901.
- Chilka AG., Ranade, VV. CFD modelling of almond drying in a tray dryer. *Canadian Journal of Chemical Engineering* 2019; 97(2): 560–572.
- Cilliers J. Optimising small hydrocyclone design using 3D printing and CFD simulations. *Chemical Engineering Journal* 2018; 350: 653–659.
- Doering CR., Gibbon JD. Applied analysis of the Navier-Stokes equations. Cambridge University Press; 1995.
- Dutta R., Spence B., Wei X., Dhapare S., Hindle M., Longest P. CFD guided optimization of nose-to-lung aerosol delivery in adults: Effects of inhalation waveforms and synchronized aerosol delivery. *Pharmaceutical Research* 2020; 37(10): 1–18.



- Fluent I. *Fluent 14.5 user guide*. Fluent Inc, Lebanon NH-03766. 2002.
- Guo CF., Zhang M., Bhandari BA. Comparative study between syringe-based and screw-based 3D food printers by computational simulation. *Computers and Electronics in Agriculture* 2019; 162: 397–404.
- Guo C., Zhang M., Devahastin S. 3D extrusion-based printability evaluation of selected cereal grains by computational fluid dynamic simulation. *Journal of Food Engineering* 2020; 286: 110113.
- Gurusamy P., Thirupathiraja S., Raj SHK., Kumar JL. Experimental investigation and CFD analysis of inlet manifold in Internal combustion engine. *Materials Today: Proceedings* 2021; 37: 840–843.
- Hadavi M., Pasdarsahri H. Impacts of urban buildings on microclimate and cooling systems efficiency: Coupled CFD and BES simulations. *Sustainable Cities and Society* 2021; 67: 102740.
- Hassanzadeh R., Tokgoz N. Analysis of heat and fluid flow between parallel plates by inserting triangular cross-section rods in the cross-stream plane. *Applied Thermal Engineering* 2019; 160: 113981.
- Inthavong K., Singh N., Wong E., Tu J. *Clinical and biomedical engineering in the human nose: A Computational Fluid Dynamics Approach*. Springer Nature; 2020.
- Jiang J., Li C., Hu Y., Li C., He J., Leng X., et al. A novel CFD-based computed index of microcirculatory resistance (IMR) derived from coronary angiography to assess coronary microcirculation. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 2022; 106897.
- Jurado X., Reiminger N., Vazquez J., Wemmert C. On the minimal wind directions required to assess mean annual air pollution concentration based on CFD results. *Sustainable Cities and Society* 2021; 71: 102920.
- Karakas ES., Tokgöz N., Watanabe H., Aureli M., Evrensel CA.. Comparison of transport equation-based cavitation models and application to industrial pumps with inducers. *Journal of Fluids Engineering* 2022; 144(1): 011201.
- Kumar A. Analysis of heat transfer and fluid flow in different shaped roughness elements on the absorber plate solar air heater duct. *Energy Procedia* 2014; 57: 2102–2111.
- Lemus-Mondaca RA., Vega-Gálvez A., Moraga NO. Computational simulation and developments applied to food thermal processing. *Food Engineering Reviews* 2011; 3(3): 121–135.
- Lespinaud AR., Badin EE., Santos MV., Mascheroni RH. Computational fluid dynamics analysis on natural convective heating of bottled liquid food during pasteurization: Effect of container orientation. *Journal of Food Process Engineering* 2019; 42(3): e12995.
- Li J., Deng Y., Wang Y., Su C., Liu X. CFD-Based research on control strategy of the opening of Active Grille Shutter on automobile. *Case Studies in Thermal Engineering* 2018; 12: 390–395.
- Li Z., Deng G., Queutey P., Bouscasse B., Ducrozet G., Gentaz L., et al. Comparison of wave modeling methods in CFD solvers for ocean engineering applications. *Ocean Engineering* 2019; 188: 106237.

- Malekjani N., Jafari SM. Simulation of food drying processes by Computational Fluid Dynamics (CFD); recent advances and approaches. *Trends in Food Science & Technology* 2018; 78: 206–223.
- Martínez-Ferrer PJ., Qian L., Ma Z., Causon DM., Mingham CG. Improved numerical wave generation for modelling ocean and coastal engineering problems. *Ocean Engineering* 2018; 152: 257–272.
- Mirzaei PA. CFD modeling of micro and urban climates: Problems to be solved in the new decade. *Sustainable Cities and Society* 2021; 69: 102839.
- Norton T., Sun DW. CFD: An innovative and effective design tool for the food industry. In: *Food engineering interfaces*. Springer; 2010. p. 45–68.
- Norton T., Tiwari B., Sun DW. Computational fluid dynamics in the design and analysis of thermal processes: a review of recent advances. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 2013; 53(3): 251–275.
- Oberkampf WL., Trucano TG. Verification and validation in computational fluid dynamics. *Progress in Aerospace Sciences* 2002; 38(3): 209–272.
- Ouyang T., Mo X., Lu Y., Wang J. CFD-vibration coupled model for predicting cavitation in gear transmissions. *International Journal of Mechanical Sciences* 2022; 225: 107377.
- Oyinloye TM., Yoon WB. Application of computational fluid dynamics (CFD) simulation for the effective design of food 3D printing (A review). *Processes* 2021; 9(11): 1867.
- Oyinloye TM., Yoon WB. Stability of 3D printing using a mixture of pea protein and alginate: Precision and application of additive layer manufacturing simulation approach for stress distribution. *Journal of Food Engineering* 2021; 288: 110127.
- Prakash R., Ravindra MR. Cold thermal energy storage for milk chilling: A numerical and experimental study. *Journal of Food Engineering* 2023; 337: 111223.
- Sadaq SI., Mehdi SN., Mehdi SD, Yasear S. Analysis of NACA 0020 aerofoil profile rotor blade using CFD approach. *Materials Today: Proceedings* 2022; 64(1): 147-160.
- Sagaut P., Terracol M., Deck S. Multiscale and multiresolution approaches in turbulence-LES, DES and Hybrid RANS/LES Methods: Applications and Guidelines. World Scientific 2013; 448 p.
- Schaldach G., Berger L., Razilov I., Berndt H. Computer simulation for fundamental studies and optimisation of ICP spray chambers. ISAS (Institute of Spectrochemistry and Applied Spectroscopy) Current Research Reports, Berlin, Germany. 2000.
- Shinde S., Mukhopadhyay S., Mukhopadhyay S. Investigation of flow in an idealized curved artery: Comparative study using CFD and FSI with Newtonian and Non-newtonian fluids. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology* 2022; 22(02): 2250010.
- Smale NJ., Moureh J., Cortella G. A review of numerical models of airflow in refrigerated food applications. *International Journal of Refrigeration* 2006; 29(6): 911–930.

- Tokgoz N., Aksoy MM., Sahin B. Investigation of flow characteristics and heat transfer enhancement of corrugated duct geometries. *Applied Thermal Engineering* 2017; 118: 518–530.
- Tokgoz N., Alıç E., Kaşka Ö., Aksoy MM. The numerical study of heat transfer enhancement using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-water nanofluid in corrugated duct application. *Journal of Thermal Engineering* 2018; 4(3): 1984–1997.
- Tokgoz N. Experimental and numerical investigation of flow structure in a cylindrical corrugated channel. *International Journal of Mechanical Sciences* 2019; 157: 787–801.
- Uddin MJ., Yousuf MSI. Numerical simulation of CFD and fluid-structure-interaction (FSI) of steady flow in a stenotic vessel. *Open Journal of Modelling and Simulation* 2022; 10(3): 255–266.
- Xia B., Sun D-W. Applications of computational fluid dynamics (CFD) in the food industry: A review. *Computers and Electronics in Agriculture* 2002; 34(1–3): 5–24.
- Yang F., Guo C., Zhang M., Bhandari B., Liu Y. Improving 3D printing process of lemon juice gel based on fluid flow numerical simulation. *LWT-Food Science and Technology* 2019; 102: 89–99.
- Yue G., Zhang H., Zhao C., Luo Z. *Proceedings of the 20<sup>th</sup> International Conference on Fluidized Bed Combustion*. Springer Science & Business Media; 2010.
- Yusof SNA., Asako Y., Sidik NAC., Mohamed SB., Japar WMAA. A short review on rans turbulence models. *CFD Letters* 2020; 12(11): 83–96.
- Zhang H., Xia B., Kong F., Li G., Cao P. Experimental investigation of cavitation characteristics for a high-speed inducer with a great flow rate. *Advances in Mechanical Engineering* 2022; 14(3): 16878132221087510.